

## ZuKunFT

Vom Faseroptischen Monitoring zur präzisen Zustandserfassung von Kunstbauten

|                                     |                                                                                                          |                        |            |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------|
| <b>Programm / Ausschreibung</b>     | MW 24/26, Mobilitätssystem, Mobilitätswende 2024/2 - Mobilitätssystem                                    | <b>Status</b>          | laufend    |
| <b>Projektstart</b>                 | 01.11.2025                                                                                               | <b>Projektende</b>     | 31.10.2028 |
| <b>Zeitraum</b>                     | 2025 - 2028                                                                                              | <b>Projektlaufzeit</b> | 36 Monate  |
| <b>Barwert der Projektförderung</b> | € 648.400                                                                                                |                        |            |
| <b>Keywords</b>                     | Faseroptisches Langzeitmonitoring; Zustandserfassung; Langzeitstabilität; DFOS; viskoses Sensorverhalten |                        |            |

### Projektbeschreibung

Brücken und Tunnel sind wichtige Elemente der Schienen- und Straßennetze. Regelmäßige Inspektionen dienen der Planung von Instandhaltungsmaßnahmen, die sowohl für den Erhalt der Verkehrssicherheit, als auch für den Erhalt des Bauwerks selbst notwendig sind. In den letzten 20 Jahren hat sich ergänzend zur Bauwerksinspektion das Monitoring mit unterschiedlichen Messsystemen etabliert. Als besonders effizient hat sich die Methode der verteilten Dehnungsmessung mit Hilfe von Lichtwellenleitern, kurz DFOS, herauskristallisiert. Mit diesem System können über lange Strecken mit nur einem Sensorkabel die Verformungen und Risse entlang dieses Kabels hochauflösend und genau gemessen werden. Die Schwachstellen des Systems liegen in der noch nicht gegebenen Langzeitstabilität, die aber für ein sinnvolles Bauwerksmonitoring unbedingt erforderlich ist. Letztendlich brauchen Entscheidungsträger der Straßen- und Bahnbetreiber absolut verlässliche Informationen über den Zustand ihrer Kunstbauten.

Um dies zu gewährleisten, wird im Projekt ZuKunFT das Ziel verfolgt, alle zeit-, temperatur- und feuchteabhängigen Einflüsse auf Messergebnisse von faseroptischen Monitoring Systemen zu erforschen und Methoden zu entwickeln, um mit diesen Ergebnissen zu realen Bauwerksverformungen zu gelangen.

Dafür werden neue experimentelle Wege eingeschlagen mit denen alle bis dato vernachlässigten Einflüsse systematisch, separat und hochpräzise im Labor ermittelt werden. Die dabei gewonnenen Ergebnisse repräsentieren das viskose und temperatur-, manchmal auch feuchteabhängige Verbundverhalten zwischen dem Lichtwellenleiter aus Glas und dem Bauwerk. Mit diesen fundamentalen Labor-Daten lassen sich theoretische Modelle erstellen, die in der Ingenieursoftware für mechanische Bauwerksberechnungen angewendet werden können. Dies erlaubt erstmalig, die Sensorkabel auch im Berechnungsmodell des Bauwerks „einzubauen“ und auf diesem Weg sowohl die Dehnungen im Sensor als auch die aufgrund des viskosen Verhaltens davon abweichenden Dehnungen im Bauwerk an derselben Stelle auslesen zu können.

Da Temperatur, Feuchte und vor allem die Zeit nicht nur das Last-Verformungsverhalten von Sensorkabeln und ihrer Verklebung, sondern auch die optischen Eigenschaften des Messgeräts (Interrogator) beeinflussen, muss der dadurch

entstehende Messfehler, eine sogenannte Signaldrift, kompensiert werden. Die dafür notwendigen physikalischen Grundlagen werden wieder im Labor gewonnen, indem unter unterschiedlichen, aber klar definierten Umgebungsbedingungen DFOS-Messungen mit unterschiedlichen Interrogatoren durchgeführt werden. So werden klimaabhängige Kalibrierfaktoren gewonnen, die bei Messungen im Feld entsprechend des aktuellen Klimas anzuwenden sind. Da davon auszugehen ist, dass im Langzeitmonitoring, also im Laufe von mehreren Jahrzehnten, auch das Messgerät zu tauschen sein wird, muss ein daraus resultierender Signalshift, der sich aus Abweichungen in der Wellenlänge des Laserlichts ergeben kann, ebenfalls kompensiert werden. Dafür wird im Projekt ein Konzept eines Kalibriertests direkt am Bauwerk ausgearbeitet. Es erlaubt, den unbedingt notwendigen optischen Fußabdruck jedes Sensors, unabhängig vom eingesetzten Interrogator „objektiv“ ermitteln zu können.

Alle Erkenntnisse und Tools werden bereits im Rahmen des Projekts an Brücken- und Tunnelbauwerken in Kombination mit den zugehörigen Bauwerksmodellen validiert und in Form eines Leitfadens für Bauwerksmonitoring mit DFOS aufbereitet.

## **Abstract**

Bridges and tunnels are important elements of rail and road networks. Periodical inspections are essential for planning maintenance measures that are necessary for both traffic safety and the preservation of the building. Over the past 20 years, monitoring systems have been established in addition to structural inspections. The method of distributed fiber optic strain measurement, known as DFOS, has proven to be particularly efficient. This system allows for high-resolution and accurate measurement of deformations and cracks along a single sensor cable over long distances. The weak point of the system is the currently insufficient long-term stability. Owners of road and rail infrastructure can never make their decisions without getting absolutely reliable information about the condition of their structures from the monitoring system.

To ensure this, the project ZuKunFT aims at investigating all impacts due to time, temperature, and moisture on the measuring results of fiber optic monitoring systems and will finally develop methods for transforming long term measurements to highly accurate actual structural deformations. New experimental approaches are being taken to systematically, separately, and precisely determine all previously neglected influences in the laboratory. The results obtained represent the viscous and temperature- as well as moisture-dependent bonding behaviour between the glass fiber and the structure. These fundamental laboratory data allow for finding theoretical models that can be applied in engineering software for mechanical structural calculations. This allows for the first time to integrate the sensor cables directly into the structural calculation model. Finally, the engineer is being enabled to read out both the strains in the sensor and the strains in the structure at the same location. The difference between these strains happens due to the viscous behaviour, which has been neglected yet.

Temperature, moisture, and especially time (long-term) affect not only the load-deformation behaviour of sensor cables and their bonding but also the optical properties of the measuring device (interrogator). This ends in a certain measurement error, known as signal drift, which has to be compensated for. The physical fundamentals needed for that will again be obtained in the laboratory by doing DFOS measurements with different interrogators under various but clearly defined environmental conditions. This will yield climate-dependent calibration factors that afterwards should be applied to field measurements according to the current climate. One has to expect that in long-term monitoring, over several decades, the measuring device will also need to be replaced. Thus, any signal shift resulting from a replacement of interrogator must also be compensated for. The project will develop an innovative concept for a calibration test directly on the structure for this

purpose. It aims at determining the optical footprint of each sensor, ensuring that its magnitude does not depend on which interrogator is used.

All project findings and new tools will already be validated in the context of the project on bridge and tunnel structures in combination with their associated structural models under real conditions. The project will present a guideline for structural monitoring with DFOS, ensuring a quick transfer to practical application.

### **Projektkoordinator**

- Technische Universität Graz Labor für Konstruktiven Ingenieurbau (LKI)

### **Projektpartner**

- ACI Monitoring GmbH
- Geoconsult ZT GmbH
- NBG Tube GmbH
- Technische Universität Graz Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme
- VCE Vienna Consulting Engineers ZT GmbH