

EINSATZ VON FASEROPTISCHEN SENSOREN IM BEREICH DER ÖBB-INFRASTRUKTUR (ÖBB – FOS)

Für Vermessungsaufgaben und Überwachungsmessungen der ÖBB wurde das Anwendungspotential von faseroptischen Sensoren (FOS) auf Basis Lichtwellenleiter (LWL) evaluiert, standardisiert und in einer Testinstallation verifiziert. Des Weiteren wurde die bestehende LWL-Infrastruktur der ÖBB auf Einsatzmöglichkeiten der FOS untersucht.

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Die Untersuchung der Anwendungspotentiale verbunden mit einer tiefgehenden Literaturstudie hat die Sensibilität innerhalb und außerhalb der ÖBB – Infrastruktur AG gestärkt und die Wege der FOS-Technik in die Zukunft aufgezeigt.

Für den Initiator ÖBB – Infrastruktur wurde im Laufe der Projektdauer eine große Bandbreite an Einsatzgebieten ersichtlich. Zum heutigen Zeitpunkt sind eine Reihe von praktischen Anwendungen im Echtzeitbetrieb (z.B.: Pram, Bhf. Liezen, Liezen – Weißenbach) realisiert.

Durch diese erfolgreiche Umsetzung entstand und entsteht immer mehr Bedarf an der Einbindung der bestehenden LWL – Infrastruktur. Die Verwendung der LWL – Infrastruktur für FOS – Projekte wurde in geeigneter Weise an den Vorstand ÖBB – Infrastruktur übermittelt. Durch die parallel entstandenen Praxisanwendungen (Dr. Döller Vermessung ZT-GmbH) erfolgte zudem eine durchdringende Kenntnis der FOS-Technologie „auf der Strecke“.

Facts:

Laufzeit: 06/2013-09/2015

Forschungskonsortium:

- Dr. Döller Vermessung ZT GmbH
- TU Graz, Institut für Ingenieur-geodäsie und Messsysteme
- Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH
- FCT Fibre Cable Technology GmbH

Abschließend darf das aktuellste Projekt Liezen veranschaulicht werden:



Abbildung 1 und Abbildung 2: Setzungsbeobachtungen mit FOS in Liezen.

Kurzzusammenfassung

Problem

Die Anwendungsmöglichkeiten der FOS – Technologien im Bahnbereich wachsen ständig. Um eine einheitliche Vorgangsweise bei ÖBB – Infra zu erarbeiten, braucht es einen klaren Masterplan zur effizienten Nutzung vorhandener Ressourcen.

Gewählte Methodik

Durch die intensive Zusammenarbeit zwischen Bahnbetreiber, Wissenschaft und den beteiligten Unternehmen wurde eine geeignete – zeitnah realisierbare – Anwendungsmatrix erstellt. Die Genauigkeitspotentiale wurden teilweise einer Laborprüfung unterzogen. Die standardisierte Nutzung der bestehenden, bahnnahe LWL - Infrastruktur wurde evaluiert.

Ergebnisse

Das Potential von FOS – Systemen in der Sensortechnik an Infrastrukturen wurde eindrucksvoll aufgezeigt und die Basis für eine standardisierte Anwendung dieser Technologien gelegt. Es konnte im Laufe der Projektzeitschiene aufgezeigt werden, dass die ÖBB – Infrastruktur im Vergleich mit anderen Bahninfrastrukturbetrieben im Bereich FBG – Technologien federführend ist.

Die Möglichkeiten der Anbindung an bestehender LWL – Einrichtungen wurde detailliert erläutert und soll als Basis für eine nunmehr folgende Standardisierung dienen.

Schlussfolgerungen

Faseroptische Sensoranwendungen sind inzwischen fester Bestandteil der modernen Ingenieurgeodäsie geworden. In Verbindung mit LWL – Infrastrukturen an Bahnlinien ergibt sich ein für viele Problemstellungen optimales Messsystem.

English Abstract

Fibre optical sensing applications are essential components of the modern engineering geodesy. With the existing fibre optic infrastructure along railway lines, a measuring system for many issues is given.

Impressum:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

DI Dr. Johann Horvatits,
Abt. IV/ST 2 Technik und
Verkehrssicherheit
johann.horvatits@bmvit.gv.at,

DI (FH) Andreas Blust,
Abt. III/14 Mobilitäts- und
Verkehrstechnologien
andreas.blust@bmvit.gv.at,
www.bmvit.gv.at

ÖBB-Infrastruktur AG

Ing. Wolfgang Zottl, ISM;
Leitung Forschung & Entwicklung
wolfgang.zottl@oebb.at,
www.oebb.at

ASFINAG

DI Eva Hackl,
Manager International Relations
und Innovation
eva.hackl@asfinag.at,

DI (FH) René Moser, Leiter Strategie,
Internationales und Innovation
rene.moser@asfinag.at,
www.asfinag.at

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH

DI Dr. Christian Pecharda,
Programmleitung Mobilität
Sensengasse 1, 1090 Wien
christian.pecharda@ffg.at,
www.ffg.at

Oktober, 2015

Einsatz von faseroptischen Sensoren im Bereich der ÖBB-Infrastruktur ÖBB - FOS

Endbericht

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung 2012
(VIF2012)

Oktober 2015



INHALTSVERZEICHNIS

1. ZIELE UND ERGEBNISSE.....	3
2. ARBEITSPAKETE UND MEILENSTEINE	4
2.1. Übersichtstabellen.....	4
2.2. Beschreibungen der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten.....	6
AP2: Evaluierung faseroptischer Messprinzipien und deren	6
AP3: Evaluierung der Verlegearten bei ÖBB Infrastruktur.....	8
AP4: Design eines Standards zur Anbindung der Sensorik an das ÖBB-LWL-Datennetz.....	11
AP5: Test und Systemkalibrierung der ausgewählten Sensortechniken	16
AP6: Untersuchung der Anwendungspotentiale	21
AP7: Durchführung von Feldtests.....	22
AP8: Datenanalyse und Dateninterpretation	23
3. PROJEKTTEAM UND KOOPERATION	28
4. WIRTSCHAFTLICHE UND WISSENSCHAFTLICHE VERWERTUNG	28
Sicherheitsrelevante Aspekte.....	28
FOS – Systeme an Bahnanlagen.....	29
Zusammenfassung FFG-Projekt - Schlussbericht.....	30

1. ZIELE UND ERGEBNISSE

Das Ziel war, eine Nutzung des bestehenden LWL-Netzes der ÖBB für fortgeschrittene FOS-Anwendungen möglich zu machen, den Nutzen für die ÖBB darzustellen und die nötigen Investitionen qualitativ und quantitativ zu beschreiben.

Ein vorrangiges Ergebnis war eine repräsentative Anwendungsmatrix von FOS-Anwendungen im Bahnwesen.

Es wird eine Anwendungsmatrix entwickelt, welche übersichtlich aufzeigt welche FOS Technologie für welche Anwendung der ÖBB Infrastruktur einsetzbar ist. Diese bietet der ÖBB eine Entscheidungshilfe zur zielgerichteten Auswahl der optimalen Sensortechnologie für unterschiedliche Aufgabenstellungen.

Im Zuge des Forschungsvorhabens soll unter anderem die bestehende ÖBB – Infrastruktur in Hinblick auf Einsatzmöglichkeiten für ingenieurgeodätische FOS – Anwendungen untersucht und evaluiert werden.

Ziel ist, die Verlegearten und die Möglichkeiten der standardisierten Anbindung in das bestehende LWL – Netz aufzuzeigen und das diesbezügliche Potential dazulegen.

Durch die FOS Laboruntersuchungen werden in diesem Projekt Temperatur- und Dehnungskennlinien ausgewählter faseroptischer Messsysteme bestimmt. Damit sind erstmals auch objektiv die erreichbare Präzision und Genauigkeit und eventuelle FOS-Probleme (z.B. Hysteresen) bekannt.

Anhand einer Testinstallation wurde die Einsetzbarkeit von FOS im Bereich der ÖBB Infrastruktur evaluiert. Mit der Testinstallation wurde die Einsetzbarkeit von FOS in einer realen Eisenbahninfrastruktur, in Hinblick auf Haltbarkeit, Genauigkeit, Installationsaufwand getestet.

Aufgrund der linienförmigen Arbeitsweise von FOS bieten sich diese besonders für eine großräumige Messung der ebenfalls linienförmigen Eiseninfrastruktur an. Ziel ist die Erstellung eines Konzeptes für die Errichtung von FOS – Knoten / Messzentren für einen großräumigen Einsatz von FOS in der ÖBB Infrastruktur.

Als zusätzliche Ergebnisse des Projekts wurden
Standards für die Gestaltung von Sensoren für besondere Einsatzbedingungen
Ausgewählte Applikationsrichtlinien und Vorschläge für standardisierte Steckverbindungen
geschaffen.

2. ARBEITSPAKETE UND MEILENSTEINE

2.1. Übersichtstabellen

➤ Erläuterung:

Die Tabellen sind analog zum Finanzierungsansuchen aufgebaut

Basistermin: Termin laut Finanzierungsansuchen bzw. laut Vertrag gültigem Projektplan

Akt. Planung: Termin laut zum Zeitpunkt der Berichtslegung gültiger Planung.

Tabelle 1: Arbeitspakete

AP Nr.	Arbeitspaket Bezeichnung	Fertigstellungsgrad	Basistermi		Aktuell		Erreichte Ergebnisse / Abweichungen
			An f.	Ende	An f.	Ende	
1	Projektleitung	100%	06/13	05/15	06/13	06/15	Die Arbeiten wurden im Zeitplan und innerhalb des vereinbarten Budgets abgeschlossen.
2	Evaluierung faseroptischer Messprinzipien und deren Anwendungen	100%	06/13	11/13	09/13	02/14	Eine geeignete Darstellung für faseroptische Messprinzipie und Sensoraufbau für die bahnrlevanten Aufgaben wurden gefunden.
3	Evaluierung der Verlegearten bei ÖBB-Infrastruktur	100%	08/13	11/13	09/13	06/14	Die bestehenden Verlegearten der LWL – Verkabelung in der ÖBB – Infrastruktur.
4	Design eines Standards zur Anbindung der Sensorik an das ÖBB-LWL-Datenetz	100%	10/13	05/15	10/13	02/15	Standard für den Anschluss der faseroptischen Sensorik entwickelt der im gesamten LWL – Datenetz der ÖBB eingesetzt werden kann.
5	Test und Systemkalibrierung der ausgewählten Sensortechniken	100%	10/13	05/14	01/14	09/14	Erreichbare Genauigkeit und Präzision von ausgewählten faseroptischen Sensoren Beurteilt.
6	Untersuchung der Anwendungspotentiale	100%	08/13	03/14	01/14	10/14	Anwendungsmatrix (aus Arbeitspaket 2) auf zeitnahe Realisierungsmöglichkeiten überprüft.

7	Durchführung von Feldtests	100%	10/13	03/15	03/14	05/15	Die Ergebnisse aus den Arbeitspaketen 2 - 6 wurden im Feldtest auf ihre Praxistauglichkeit geprüft.
8	Datenanalyse und Dateninterpretation	100%	06/14	05/15	08/14	05/15	Die Messdaten der ÖBB wurden so zur Verfügung gestellt, dass der Zustand des gemessenen Objekts, eindeutig erkennbar ist.

Tabelle 2: Meilensteine

Meilenstein	Meilenstein Bezeichnung	Basis-termin	Akt. Planun	Meilenste in	Anmerkungen zu Abweichungen
1	Vorschlag für ein oder mehrere Messprinzipien zum Einsatz bei ÖBB – Infrastruktur	11/13	02/14	02/14	ÖBB - intern
2	Übersicht der Verlegearten hinsichtlich Nutzungskapazität	11/13	06/14	06/14	ÖBB – intern
3	Verbindungsstandard ÖBB-Netz zu FO_Sensorik	05/15	05/15	05/15	
4	Kalibrierungstool für Sensorsysteme	05/14	02/15	02/15	Umbau Prüflabor TU Graz
5	Realisierungsszenarien für die Anwendungsmatrix	03/14	10/14	10/14	ÖBB – intern
6	Installation neuer FOS-Anwendungen	12/14	12/14	12/14	
7	Aussagekräftige Messdaten	05/15	05/15	05/15	

2.2. Beschreibungen der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten

AP2: Evaluierung faseroptischer Messprinzipien und deren Anwendungen

Das Arbeitspaket 2 des ÖBB-Projektes der Verkehrsinfrastrukturforschung beinhaltet eine Evaluierung bereits eingesetzter faseroptischer Messprinzipien im Bereich der Bahn für ingenieurgeodätische Anwendungen. Dabei sind Spezialanwendungen wie Triebwagen oder Wagons von der Untersuchung ausgenommen. Als Ziel dieses Arbeitspaketes wurde eine Anwendungsmatrix, eine graphische Darstellung der Sensorpositionen auf vordefinierten Skizzen und eine fach einschlägige Literaturliste vordefiniert. Dabei waren alle am Projekt beteiligten Partner bzw. Organisationen in dieses Arbeitspaket miteingebunden. Es wurden alle geforderten Aufgaben erfüllt. Als Ergebnis entstand eine dreiteilige Übersicht über den derzeit aktuellen Stand der Technik, bestehend aus:

- Anwendungsmatrix

Excel-Matrix für Objekte, Anwendungen und Systeme

↓

Eindeutige Literaturschlüssel

1. Ordnung	2. Ordnung	Anwendung	Punktsensoren			Quasi Verteilte Sensoren	Verteilte Sensoren			OTDR
			Michelson Interferometer	Mach Zehnder Interferometer	Fabry Perot Interferometer	Fibre Bragg Gratings	Raman Backscattering	Rayleigh Backscattering	Brillouin Backscattering	
Brücken	Deck Übergänge (Tragwerk)	Längenänderung	Werner/Lienhart2003	Inaudi1997	Furrow2000	Dr. Doeller			Bastianini	Braunstein2005
		Dehnungen	Danielelnaudi2011			Dr. Doeller			BrankoGisic	
		Rissbildung	Danielelnaudi2011		Fuerstenau2000	Dr. Doeller				Braunstein2005
		Vibration			Fuerstenau2000	Tennysen2001				Osmosa
		Weigh in Motion			Zhu2003	Dr. Doeller	Posenato		Gisic	Osmosa2012
	Temperatur									
	Spannelemente Pfeiler Pylon	Längenänderung	Vurpillot1997	Danielelnaudi1999		Jun2009				
		Dehnungen								
		Rissbildung								
		Vibration								
		Weigh in Motion								
	Temperatur	Vurpillot1997	Danielelnaudi1999							
	Fahrbahnaufbau	Längenänderung								
		Dehnungen								
		Rissbildung								
Vibration										
Weigh in Motion						Pimentel2007				
Temperatur										

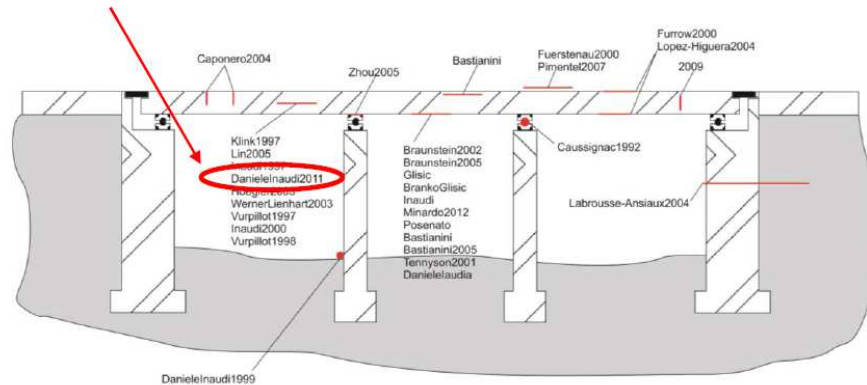
- interaktive Literaturliste

TU Graz /IGMS Institute of Engineering Geodesy and Measurement Systems
 Type to search... clear Matching entries: 134/134 settings

Key	Author	Title	Year	Journals/Proceedings	Keywords	Where Found	DOI/URL
XiaoyiBao2012	Bao, X. and Chen, L.	Recent Progress in Distributed Fiber Optic Sensors	2012	sensors	overview	sensors	URL
Barbosa2009	Barbosa, C.B., Ferreira, L.A., Araujo, F.M., Gonçalves, L., Gama, C.D., Maia, R., Silva, A. and Freitas, V.	Fiber Bragg grating system for continuous large scale monitoring of convergence in Rosio Tunnel	2009	20th International Conference on Optical Fibre Sensors, pp. 7513-5	fbg, tunnel	SPIE	URL
Bastiani2005	Bastiani, F., Cali, N. and Mann, A.	Recent advancements and Relevant applications of a 'Smart-FRP' material for structural health monitoring featuring Brillouin fiber optic distributed strain sensing	2005		brillouin, bridge	TIB Technische Informationsbibliothek	URL
Bastiani	Bastiani, F., Mattia, F., Rizzo, A., Galati, N. and Mann, A.	Overview of Recent Bridge Monitoring Applications using Distributed Brillouin Fiber Optic Sensors			brillouin, bridge, deformation, temperature, crack	University of Mann	URL
Bergmeister2001	Bergmeister, K. and Santa, U.	Global monitoring concepts for bridges	2001		fbg, solo, bridge	SPIE	URL
Braunstein2002	Braunstein, J., Ruchala, J. and Hübner, B.	SMART STRUCTURES: FIBER-OPTIC DEFORMATION AND DISPLACEMENT MONITORING	2002		osmos, bridge	IABMAS Paper	URL
Braunstein2005	Braunstein, J., Yang, C. and Hübner, B.	Structural analysis in real time using continuous monitoring	2005	17th International Conference on Optical Fibre Sensors, pp. 1072-1075	weight in motion, bridge extensometer	SPIE	URL
Brunner2005	Brunner, F.	Bridge Monitoring: external and internal sensing issues	2005		sofs, bridge	TU-Graz	URL
Brunner2007	Brunner, F.K., Woschitz, H. and Macheneit, K.	MONITORING OF DEEP-SEATED MASS MOVEMENTS	2007		sofs, landslides	TU-Graz	URL
Brunner2009	Brunner and Woschitz	Langzeitige eingebettete Strain-Rosette zum Monitoring eines Rutschhanges	2009		sofs, landslides	TU-Graz	URL
Caponero2004	Caponero, M.A., Colonna, D., Guapp	Use of FBG sensors for bridge structural monitoring and traffic control	2004	Second European Workshop on Optical Fibre Sensors, pp.	fbg, bridge, traffic, weight in	SPIE	URL

- Anwendungsskizzen

Eindeutige Literaturschlüssel



		Datum	Name	Bemerkung
Bearb.		06.11.2013	Klug F.	
Gepr.				
Norm				
IGMS				
Zeichnungsnummer				Blatt 1-7
Zust./Änderung	Datum	Name	Ungültig	Erw. 1.2 / Erw. 4.2

Weiters wurde auch eine Länderstatistik erstellt. Die Durchführung und Ergebnisse sind in einem Technischen Bericht zusammengefasst [TU Graz_OEBB_FOS_AP2_180214.pdf]. Dieser Bericht wurde nach Fertigstellung an alle Projektpartner verteilt.

AP3: Evaluierung der Verlegearten bei ÖBB Infrastruktur

Die ÖBB Lichtwellenleiterverkabelung ist auf allen Hauptstrecken vorhanden. Dieses Kabelnetz umfasst 8.167 Kabelkilometer mit insgesamt 258.485 Faserkilometern.

Das Lichtwellleiternetz ist nur zum Teil für ÖBB-Übertragungsdienste ausgelastet und bietet daher die Möglichkeit neue Sensorapplikationen zu versorgen.

Die Infrastruktur der Lichtwellleiterverkabelung lässt sich im Wesentlichen auf 3 Arten unterteilen:

- 1) LWL-Kabel im Kabeltrog: Hierbei wird entlang der Bahntrasse ein Beton- oder Blechkabeltrog geführt.

Dazu gibt es eine Regeleinbaulage:

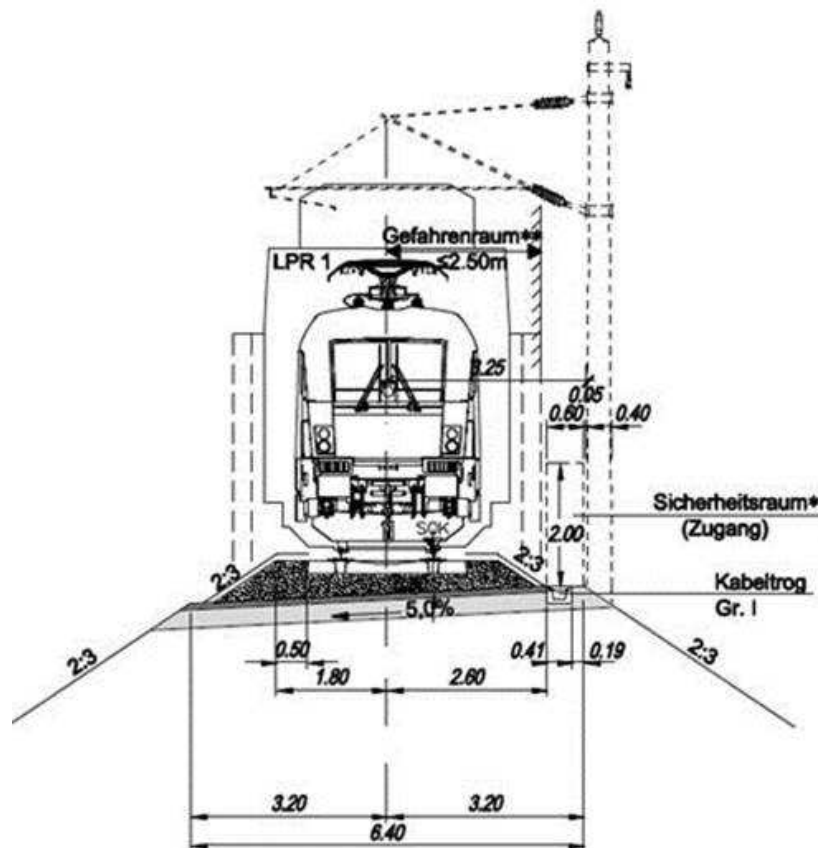




Abbildung 1 + Abbildung 2: Regeleinbaulage LWL-Kabel im Kabeltrochsen

Im Kabeltrochsen werden dann die Lichtwellenleiterkabel entweder direkt verlegt, in einem 50mm-LWL-Rohr geführt, oder es werden Minikabel in einem Minirohrsystem („Speed-pipe“) eingeblasen.

- 2) Lufthängekabel: Bei dieser Kabelverlegeart werden die Lichtwellenleiterkabel auf den Fahrleitungsmasten aufgehängt und geführt. Diese Verlegeart kommt vor allem dann zum Einsatz wenn die topografische Situation es nicht zulässt, dass ein Kabeltrochsen eingebaut werden kann. Das Lufthängekabel muss vornehmlich in Bezug auf Zug höhere Anforderungen erfüllen, weil es neben dem Eigengewicht auch zusätzlichen Belastungen z.B.: Eis und Wind standhalten muss.



Abbildung 3: Verlegeart Lufthängekabel

- 3) Schienenfußkabel: Bei dieser Verlegeart wird das Lichtwellenleiterkabel mit einer speziellen Klemme direkt am Schienenfuß montiert. Diese Verlegeart kommt meist bei Strecken ohne Kabeltrug bzw. bei nichtelektrifizierten Strecken zum Einsatz.



Abbildung 4: Verlegeart Schienenfußkabel

Diese Art der Verlegung eines Lichtwellenleiterkabels hat den Nachteil, dass bei Gleisbauarbeiten (z.B. Stopfen) auf das Kabel besonders Rücksicht genommen werden muss, oder das Kabel für diese Arbeiten vom Gleis entfernt und später wieder installiert werden muss.

Alle Verlegearten haben die Gemeinsamkeit, dass im Abstand von einigen hundert Metern Kabelüberlängen im Bereich der Bahntrasse als Kabelreserven abgelegt sind. Diese Reserven sind entweder in der Erde vergraben, oder auf geeigneten Vorrichtungen (z.B. Kabelspeicher) aufgespult. Aus diesem Grunde muss bei der Planung und beim Betrieb des Netzes für Sensorapplikationen Rücksicht genommen werden, weil Entfernungen die in Bahnkilometern angegeben werden **nicht** den Kabelkilometern entsprechen. Die ÖBB-Lichtwellenleiterdokumentation gibt aber genaue Auskunft über die Örtlichkeit und Länge dieser Kabelreserven.

AP4: Design eines Standards zur Anbindung der Sensorik an das ÖBB-LWL-Datennetz

Ziel:

Es soll ein kundenspezifischer Standard für den Anschluss der faseroptischen Sensorik entwickelt werden, der im gesamten LWL-Datennetz der ÖBB eingesetzt werden kann.

Ausgangssituation:

Stecker: ÖBB setzt im bestehenden LWL-Datennetz vor allem Stecker der Type E2000HRL ein.

Dieser Steckertyp ist seit ca. 15 Jahren auf dem Markt und wird ausschließlich von den Firmen Huber & Suhner, Reichle de Masari und Diamond (alle aus der Schweiz) hergestellt. Diese Unternehmen sind auch die Patentinhaber dieses Steckertyps.

Faser: Das LWL-Datennetz der ÖBB besteht zum überwiegenden Teil aus Lichtwellenleitern mit Singlemodefasern G652D.

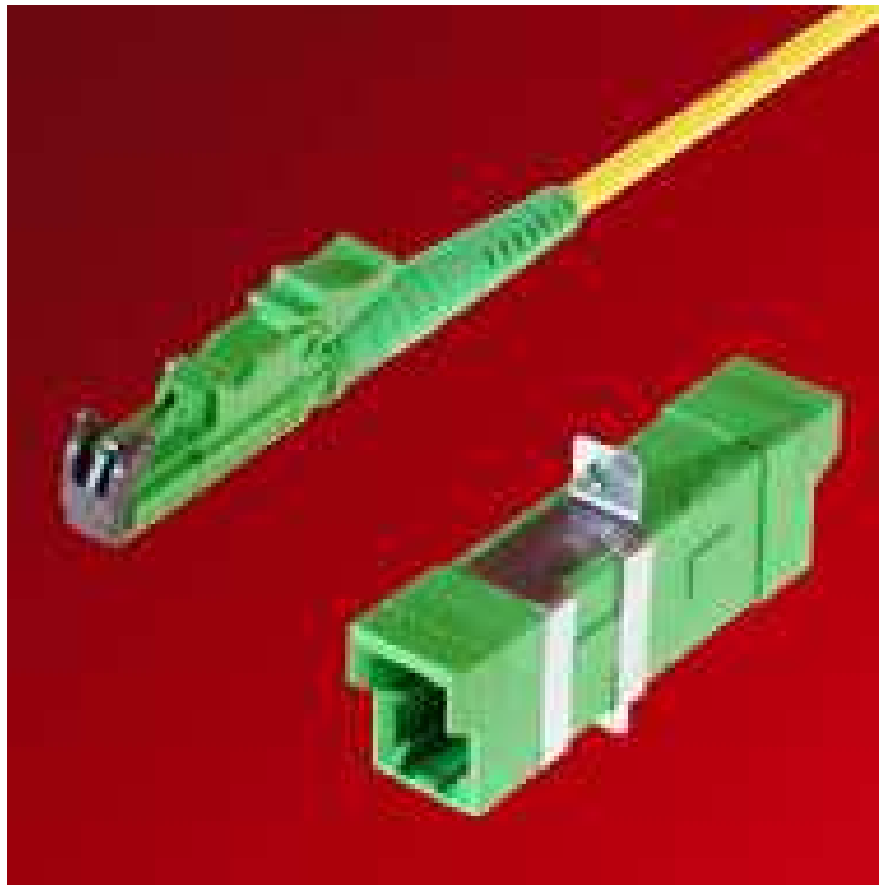


Abbildung 5: E2000HRL-Stecker und E2000HRL-Kupplung

Untersuchung alternativer Steckertypen:

Folgende Steckertypen haben sich international durchgesetzt:

1. FC/PC
2. FC/APC
3. SC/PC
4. SC/APC
5. E2000
6. E2000HRL
7. LC/PC
8. LC/APC



Abbildung 6: Beispiel verschiedener Lichtwellenleiter-Steckertypen

Prinzipiell unterscheidet man bei den genannten Steckertypen zwischen Geradeschliff- (/PC) und 9° Schrägschliffoberflächen (/APC bzw. HRL für höhere Rückflussdämpfung, > 60 dB). Bei den Steckertypen 1-6 handelt es sich um Stecker mit Keramikferrulen mit einem Durchmesser von 2,5 mm. Bei den Steckertypen 7 und 8 ist der Durchmesser der Ferrulen 1,25 mm (dieser Steckertyp ist äußerst filigran und daher für den Einsatz im Sensorikbereich eher nicht geeignet)

Die ÖBB setzt in deren Lichtwellenleiternetz fast ausschließlich E2000HRL Stecker ein.

Vergleich der Steckertypen:

Folgende Vorteile zeichnen der Steckertyp E2000HRL gegenüber den anderen Steckertypen aus:

- Automatisch schließende Lichtschutzkappe
- Kodierung mit färbigen Entriegelungshebel am Stecker und färbigen Kodiererring an der Kupplung möglich
- Entriegelungshebel abnehmbar, Stecker ist dadurch gegen unbeabsichtigtes Abstecken gesichert
- Push-Pull System daher definierter Steckvorgang

Anforderung zur Anwendung im Sensorikbereich

1. Hohe Langzeitstabilität der optischen Werte (Dämpfung und Rückflusdämpfung) über einen großen Temperaturbereich
2. Hohe Langzeitstabilität der optischen Werte bei Vibrationen
3. Kompatibilität zum bereits verwendeten Steckerdesign (Footprint der Kupplungen) daher problemloser Einbau in ÖBB zertifizierte Gehäuse
4. Möglichkeit der Kodierung um ein irrtümliches Verbinden von „Sensorfasern“ und „Datenfasern“ möglichst zu verhindern
5. Zusätzliches Schutzgehäuse für direkten Outdoorbetrieb

ad.1 und ad.2: Langzeitstabilität

Die Punkte 1. und 2. wurden bei diversen Tests bei Systemintegratoren bereits überprüft und bestätigt.

ad.3: Kompatibilität

Aufgrund der bisherigen Verwendung von E2000HRL-Steckern ist auch beim Einsatz im Sensorikbereich der Gebrauch dieses Steckertyps naheliegend.

ad.4: Kodierbarkeit

Der Steckertyp E2000HRL ist mit speziellen farbigen Entriegelungshebeln und Kodierringen eindeutig kodierbar. Dies ist bei keinem anderen Steckersystem in dieser (einfachen) Art möglich. Durch den Einsatz dieser Kodierung kann aus jedem „Standard“-LWL-Verbindungskabel bzw. jeder „Standard“-Kupplung ein Sensorkabel bzw. eine Sensorkupplung gemacht werden. Damit besteht bei der Beschaffung, Zertifizierung und Lagerhaltung kein zusätzlicher Aufwand.

Diesbezüglich wurde mit der Fachabteilung bei ÖBB Rücksprache gehalten: die Möglichkeit der farblichen und mechanischen Kodierung wird bereits eingesetzt. Dabei wird die Farbe „weiß“ für alle Standardanwendungen eingesetzt. Die Farbe „gelb“ wird für Verbindungen die für die Sicherheitstechnik eingesetzt werden, verwendet. Die Farbe violett wird für Verbindungen von Dritten (Fasern werden vermietet) verwendet.

Der Einsatz einer zusätzlichen Farbe für Sensorapplikationen ist daher möglich und wird von der Fachabteilung unterstützt.

ad.5: Schutzgehäuse

Es sind für den SC-Stecker zusätzliche Gehäuse erhältlich, diese sollten auch für den E2000HRL Steckertyp einsetzbar sein.

Bisherige Erfahrungen aller angeführten Steckertypen

In den untersuchten bzw. eingesetzten FOS-Messgeräten werden alle am Beginn genannten Steckertypen von den verschiedenen Herstellern der FOS-Messgeräte verwendet. Es gibt dazu keinen nationalen oder internationalen Standard und auch keine Empfehlungen. Die Steckertypen selbst sind genormt. Bei einzelnen Herstellern besteht die Möglichkeit bei Bestellung eines Messsystems einen gewünschten Steckertyp einbauen zu lassen.

Zusammenfassung Stecksysteme

Aus momentaner Sicht scheint der Steckertyp E2000HRL für den Einsatz im Bereich LWL-Sensorik am besten geeignet. Dieser Steckertyp erfüllt beinahe alle Anforderungen und ist gleichzeitig auch der zugelassene Standardstecker im LWL-Netz der ÖBB.

Ergänzend muss noch erwähnt werden, dass auch Lichtwellenleiterstecker (Linsenstecker) aus dem Militärbereich mit ähnlichen Eigenschaften erhältlich sind. Der Einsatz dieser Steckertypen wurde mit der ÖBB Fachabteilung bereits besprochen. Der Einsatz ist denkbar und soll in zukünftigen Projekten geprüft werden. Die Prüfung wird von der Fachabteilung begleitet, die weitere Zulassung erfolgt durch die Fachabteilung.

Fasern und Kabel

Das ÖBB-LWL-Netz besteht fast ausschließlich aus Kabeln mit Singlemodefasern. Diese Fasern sind Singlemodefasern des Typs G652D.

Die bis jetzt untersuchten FOS-Messsysteme arbeiten beinahe ausschließlich mit Singlemodefasern dieses Typs. Es ist somit ein problemloses Verbinden der FOS-Sensorsysteme mit dem vorhandenen LWL-Netzwerk möglich.

Bei manchen FOS-Messsystemen müssen kleinere Anpassungen im Netz durchgeführt werden, so benötigen manche FOS-Messsysteme steckerfreie, also gespleißte, Anschlussleitungen um Reflexionen auf der Leitung zu minimieren. Diese Anpassung ist in der Regel ohne großen Aufwand zu realisieren.

Der Einsatz spezieller LWL-Sensorkabel wurde mit der Fachabteilung besprochen. Für zukünftige Projekte werden Spezialkabel in Absprache mit der Fachabteilung getestet. Eine endgültige Zulassung erfolgt wieder durch die Fachabteilung.

Zusammenfassung Stecker und Kabel

Die untersuchten FOS-Messsysteme und Applikationen sind ohne Einschränkungen im bestehen LWL-Netz der ÖBB anwendbar.

Im praktischen Einsatz sind kleinere Anpassungen im Lichtwellenleiternetz notwendig, die aber mit geringem Aufwand realisierbar sind und den technischen Spezifikationen der ÖBB nicht widersprechen.

AP5: Test und Systemkalibrierung der ausgewählten Sensortechniken

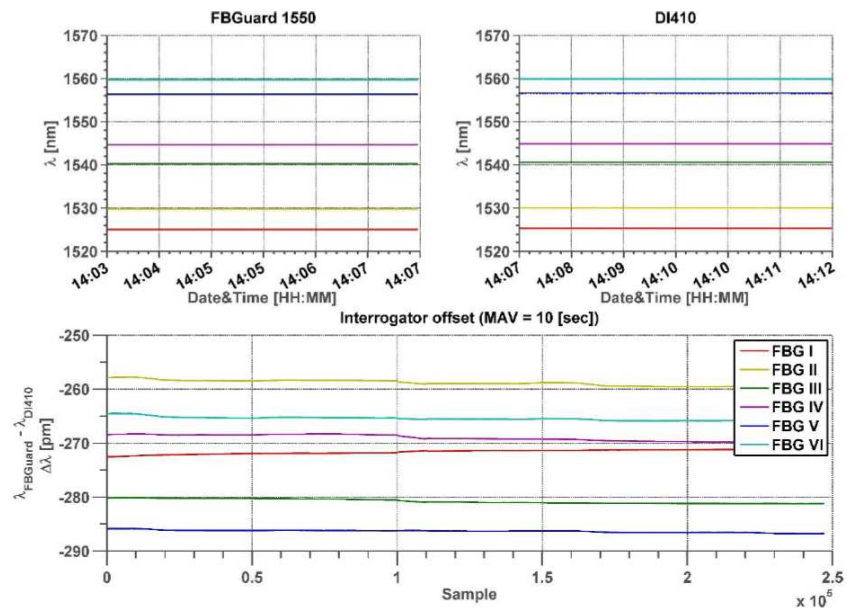
Das Arbeitspaket 5 des Projektes beinhaltet die Systemkalibrierung und die Beurteilung der ausgewählten faseroptischen Sensoren. Dabei werden die systemspezifischen Parameter wie Genauigkeit und Präzision bestimmt. Weiters werden die Dehn- und Temperaturkennlinien der ausgewählten Sensoren ermittelt.

Mit Mitte August 2014 wurden dem Institut (IGMS) der TU-Graz, drei Sensoren der Firma Safibra zur Überprüfung bereitgestellt. Im Zuge der Systemkalibrierung wurden folgende Messungen durchgeführt:

- Datenerfassung mit der Kalibrieranlage des IGMS
- Temperaturversuche im Klimaschrank des IGMS
- Vergleichsmessungen verschiedener Instrumentenhersteller (Safibra, HBM)

Im Zuge der Auswertung der erfassten Daten wurde ein Kalibrierbericht erstellt [TUGraz_OEBB_FOS_AP5_Sensorkalibrierung.pdf]. Der Bericht enthält eine grundlegende Sensor- und Interrogatorbeschreibung sowie die vollständige Dokumentation der durchgeführten Versuche sowie eine ausführliche Beschreibung der Datenauswertung. In diesem Bericht wurden folgende Ergebnisse veröffentlicht:

- Geräteoffsets



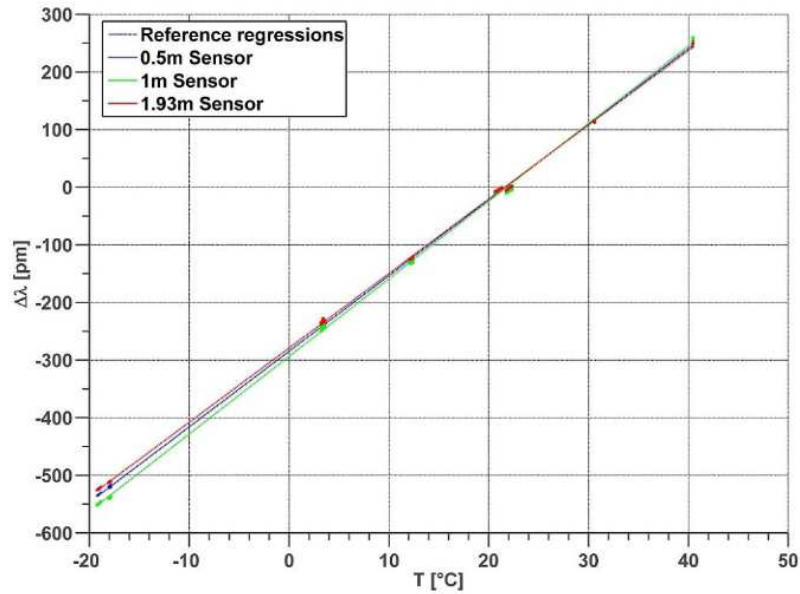
- Temperaturkoeffizienten

Sensor	Nach Formel 1) & 2)		Nach Formel 4) & 2)	
	Koeffizient k _T	σ _{kT}	Koeffizient k _T	σ _{kT}
	[pm/K]	[pm/K]	[]	[]
I	13.25	2.3e-3	8.62e-6	1,5e-9
II	13.60	2.9e-3	8.80e-6	1,9e-9
III	13.02	2.0e-3	8.55e-6	1,3e-9

- Berechnungsalgorithmus für die Temperatur

$$\Delta\lambda_T = \frac{(\lambda_{Gemessen} - \lambda_{0,T})}{\lambda_{0,T}}$$

- Vergleiche zwischen Referenztemperaturänderungen und faseroptisch gemessenen Temperaturänderungen



- Strainkoeffizienten (individuell geschätzte Koeffizienten)

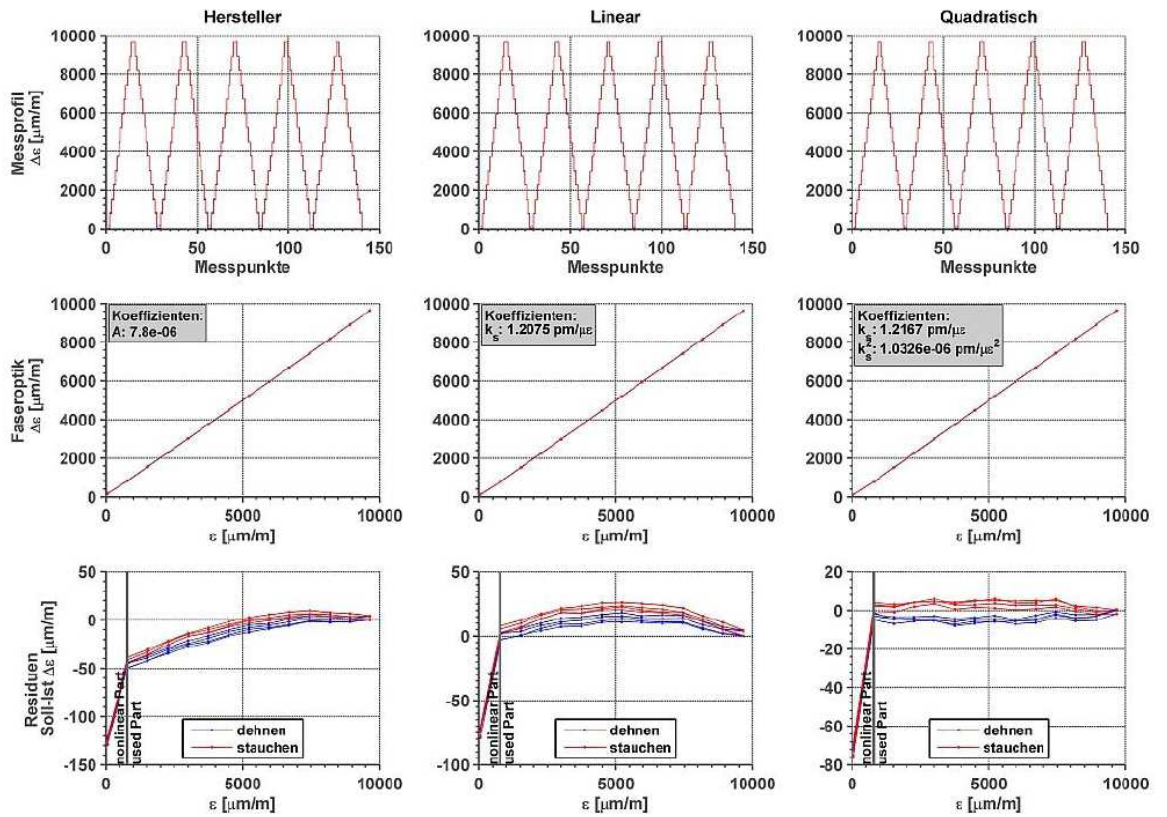
Sensor	Lineare Korrekturfkt.	σ	Quadratische Korrekturfkt.		σ		Kalibrierbereich*	
	k_{ϵ}		$k_{\epsilon,1}$	$k_{\epsilon,2}$	σ	σ		
	[pm/ $\mu\epsilon$]	[pm/ $\mu\epsilon$]	[pm/ $\mu\epsilon$]	[pm/ $\mu\epsilon^2$]	[pm/ $\mu\epsilon$]	[pm/ $\mu\epsilon^2$]	[mm]	[mm]
I	1.2094	$2.59 \cdot 10^{-4}$	1.2205	$1.14 \cdot 10^{-6}$	$1.66 \cdot 10^{-4}$	$1.65 \cdot 10^{-8}$	0.047	4.889
II	1.2075	$2.78 \cdot 10^{-4}$	1.2167	$1.03 \cdot 10^{-6}$	$1.64 \cdot 10^{-4}$	$1.78 \cdot 10^{-8}$	0.783	9.955
III	1.2143	$1.63 \cdot 10^{-4}$	1.2247	$1.11 \cdot 10^{-6}$	$0.59 \cdot 10^{-4}$	$0.61 \cdot 10^{-8}$	0.043	18.902

- Berechnungsalgorithmus für die Dehnungsänderung

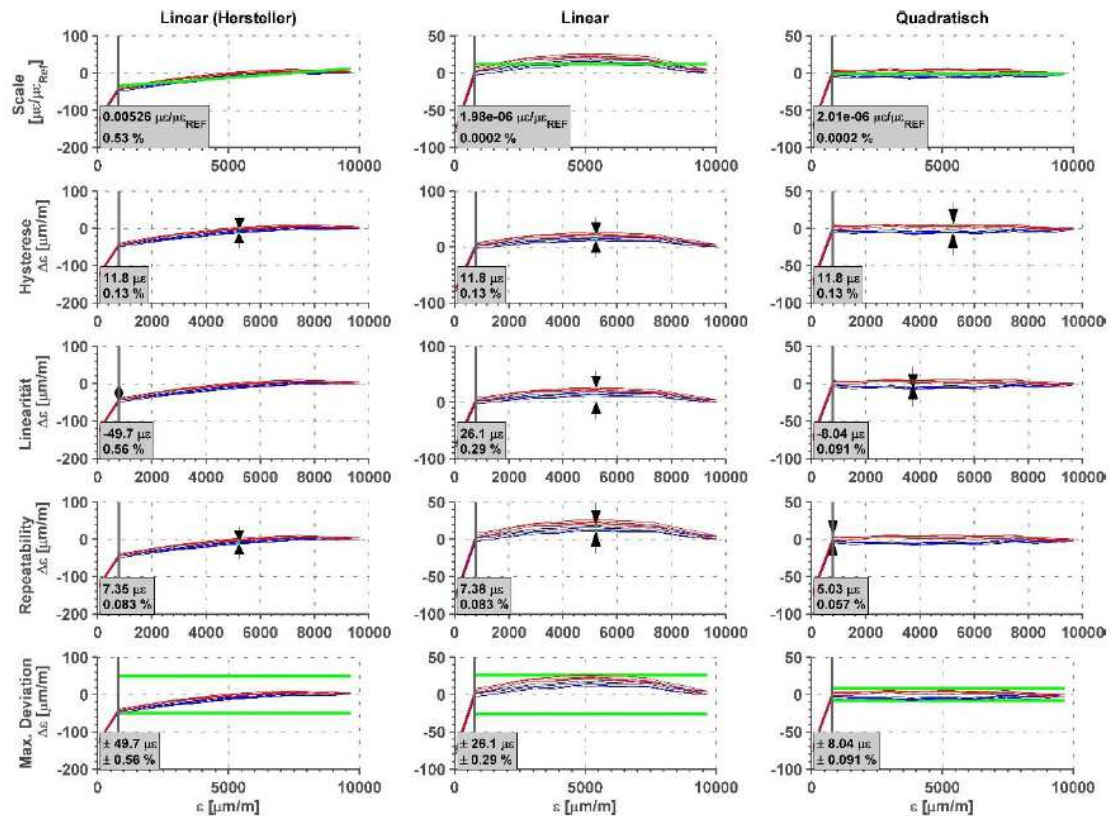
$$(\lambda_{act} - \lambda_{0,inst}) = \Delta\lambda_S = k_{\epsilon,1} * (\Delta\epsilon) + k_{\epsilon,2} * (\Delta\epsilon)^2$$

$$\Delta\epsilon = \frac{-\left(k_{\epsilon,1} - \sqrt{(k_{\epsilon,1})^2 + 4 * k_{\epsilon,2} * (\lambda_{act} - \lambda_{0,inst})}\right)}{(2 * k_{\epsilon,2})}$$

- Vergleiche zwischen Referenzdehnungsänderungen, faseroptisch ermittelten Dehnungsänderungen und Koeffizientenvergleiche zwischen Hersteller-, Linearen- und Quadratischen Koeffizienten.



- Kenngrößen für verschiedene Koeffizienten:
 - Restmaßstab
 - Hysterese
 - Linearität
 - Wiederholgenauigkeit
 - Maximale Abweichungen



Auf Basis dieser Ergebnisse konnte eine Beurteilung für das faseroptische Messsystem ermittelt werden. Die Ergebnisse aus den Versuchen wurden Übersichtlich aufbereitet und interpretiert. Der Bericht wurde an alle Projektpartner verteilt.

AP6: Untersuchung der Anwendungspotentiale

Aus der Anwendungsmatrix die im AP2 erstellt wurde, ist ersichtlich, dass es für alle 5 Objekte, die zur Untersuchung definiert wurden, Publikationen verfügbar sind. In der Anwendungsmatrix wurde keine Beurteilung über das Anwendungspotential dieser publizierten Systeme vorgenommen, dies soll hier im AP6 vorgenommen werden.

Für eine sinnvolle Anwendung von FOS-Systemen im Bereich der ÖBB, ist es wichtig, dass die generierten Daten und Informationen in einem wirtschaftlich vertretbaren Verhältnis zum Aufwand stehen.

Diese Anforderung wird nicht von allen in AP2 aufgelisteten Fallbeispielen erfüllt.

Folgende Anforderungen müssen erfüllt sein:

- Das zur Anwendung kommende System kann das im Bereich der ÖBB installierte Lichtwellenleiternetz nutzen, es ist keine Installation eines zusätzlichen LWL-Netzes notwendig.
- Das Messsystem ist in der Anwendung an den Objekten so ausgeführt, dass durch die Nutzung des Systems weder der Betrieb noch die Wartung der Objekte maßgeblich gestört wird.
- Die generierten Daten müssen in einem Datenformat verfügbar sein, die im bestehenden Datennetz transportierbar sind, dabei sind auch speziell die zu erwartenden Datenmengen zu berücksichtigen.
- Die verwendeten Sensoren sind so ausgeführt, dass der Serviceaufwand derart gering ist, dass eine Wartung in den teilweise sehr kurzen Wartungsfenstern durchgeführt werden kann.

Aus den angeführten Anforderungen ergeben sich in Bezug auf die Anwendungsmatrix einige Messsysteme die sich für Messungen an den definierten Objekten bevorzugt anbieten:

- Quasi verteilte Sensoren an Objekten (Bahnhöfe, Brücken, Tunnel, Stützmauern, Rutschhänge, Dämme) mittels Verwendung von Fiber Bragg Gratings
- Verteilte Sensorik zur Verwendung am Fahrweg durch den Einsatz von Acoustic Sensing und OTDR

AP7: Durchführung von Feldtests

Im Zuge des AP7 „Durchführung von Feldtests“ wurden an der ÖBB- Brücke Großhaslau zusätzliche Faseroptische Sensoren installiert. Es handelt sich hierbei um 2 Ketten (siehe Abbildung) die aus einem FBG basierten Dehnungssensor (Basiswellenlänge 1540nm) und einem FBG basierenden Temperaturkompensationssensor (Basiswellenlänge 1530nm) bestanden.

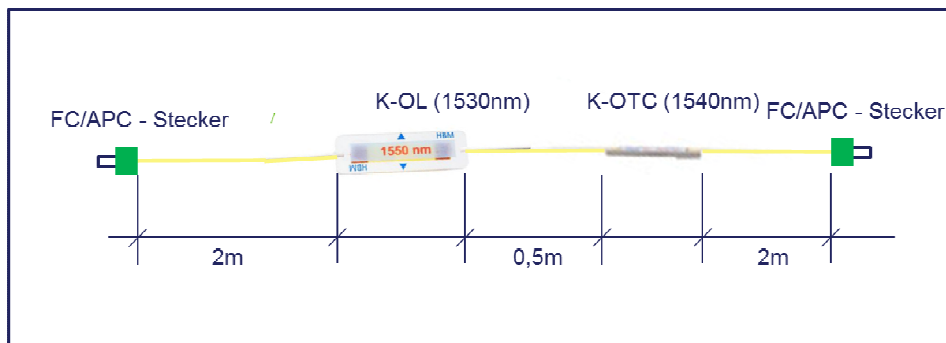


Abbildung 7: FBG-Kette HBM

Die gemessenen Daten wurden in der Messzentrale (Fiber Optic Sensor Center) im Bahnhof Groß Globnitz aufgezeichnet. Dieser ehemalige Bahnhof dient als Datacenter für verschiedene FOS-Anwendungen an der Bahnlinie Schwarzenau-Martinsberg (Betreiber Dr. Döllner ZT GmbH).

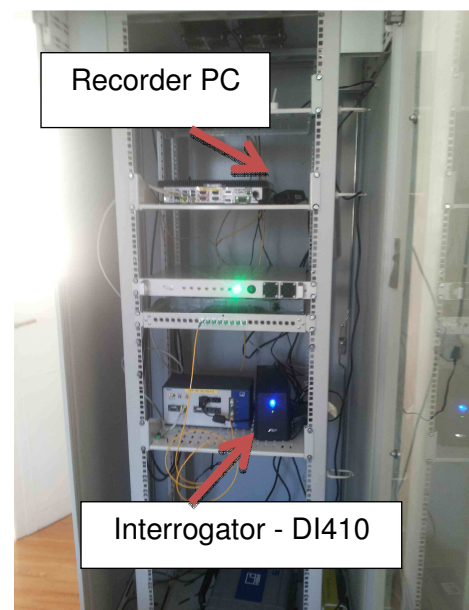


Abbildung 8: Feldversuche in Großhaslau, FBG-Sensorik(links), Messzentrale (links)

Weitere Details sind im Kurzbericht OEBB_FOS_AP7_Kurzbericht_HBM (siehe Beilage) dokumentiert.

AP8: Datenanalyse und Dateninterpretation

Die Auswertung der in AP7 aufgezeichneten Messungen erfolgte mit dem HBM Programm Glyphworks (<http://www.ncode.com/en/products/ncode-glyphworks>)

Im ersten Schritt wird in Glyphworks ein Auswerteflow erstellt. Dies erfolgt in einem graphischen User Interface (GUI). In der nächsten Abbildung ist ein solcher Auswerteflow zu sehen. In solch einem Prozess sind auch die gewünschten Ausgaben definiert. Dies können Plots aber auch zusätzlich Datenfiles sein.

Rohdaten Import

Definition Auswerteflow

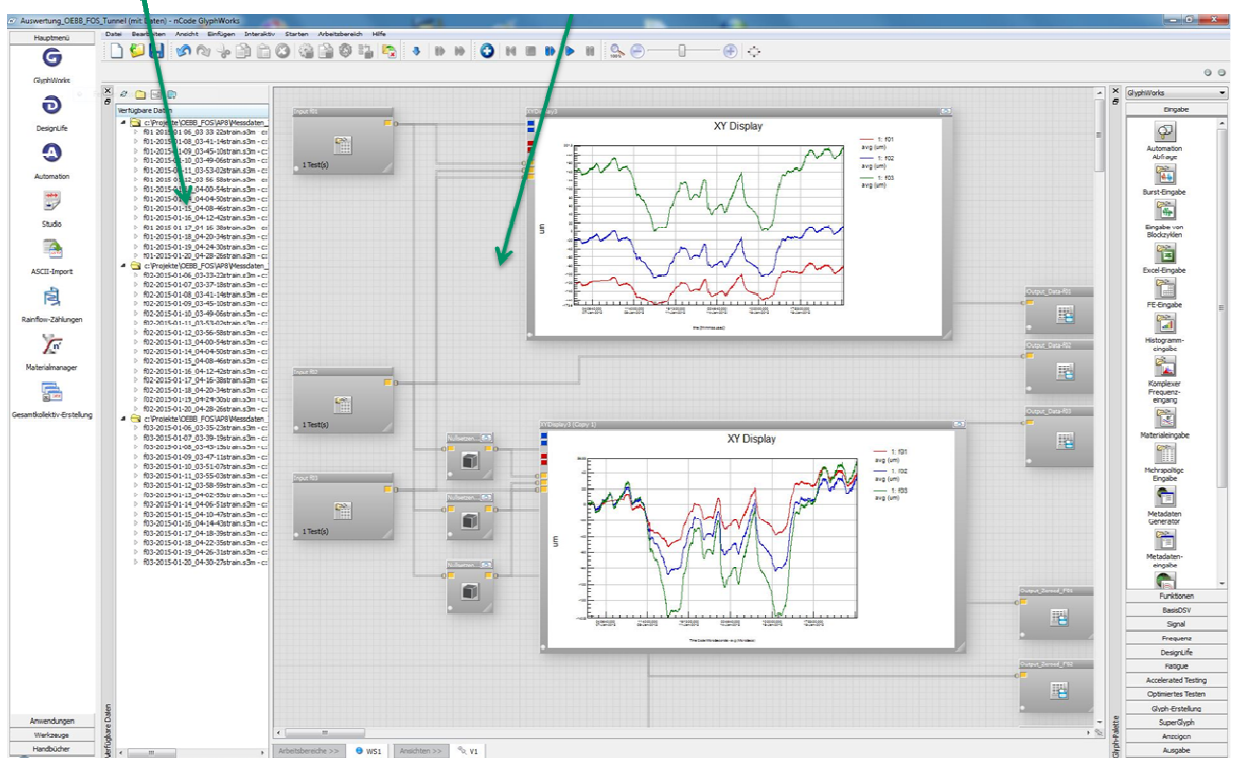


Abbildung 9: Auswerteflow in Glyphworks

Wenn der Auswerteprozess fertiggestellt ist wird er mit Rohdaten gefüttert. Die Auswertungen erfolgen quasi auf Knopfdruck.

Der große Vorteil von Glyphworks ist, dass einmal erstellte Auswerteflows wieder verwendet werden können und subsequente Auswertungen sehr rasch erstellt werden können.

Ergebnisse Auswertung

- Feldmessung AP7 Langzeit

Im Folgenden ist das mögliche Ergebnis der Auswertung einer Langzeitmessung. Die einzelnen Überfahrten auf der Brücke sind im Zoom zu erkennen. Bei den niederfrequenten periodischen Schwingungen scheint es sich um einen Einfluss der Bauwerksbewegung zu handeln.

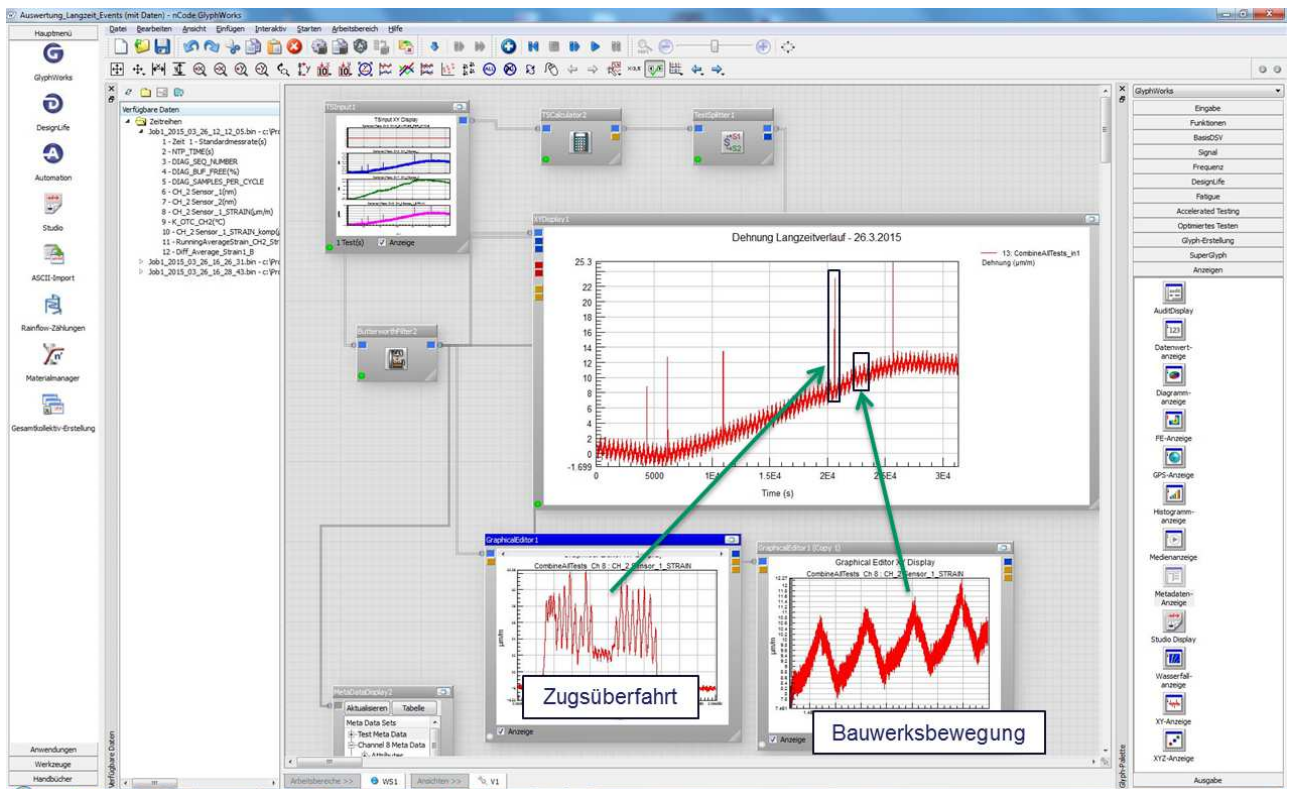


Abbildung 10: Auswertung Langzeitverlauf

- Feldmessung Events/Kollektiv

Zugsüberfahrten können auch als Einzelevent und anschließend zu Kollektiven zusammengefasst werden. In den beiden folgenden Abbildungen ist diese Auswertung dargestellt. Glyphworks bietet eine bereits vorinstallierte Auswertung als Rainflowdiagramm an.

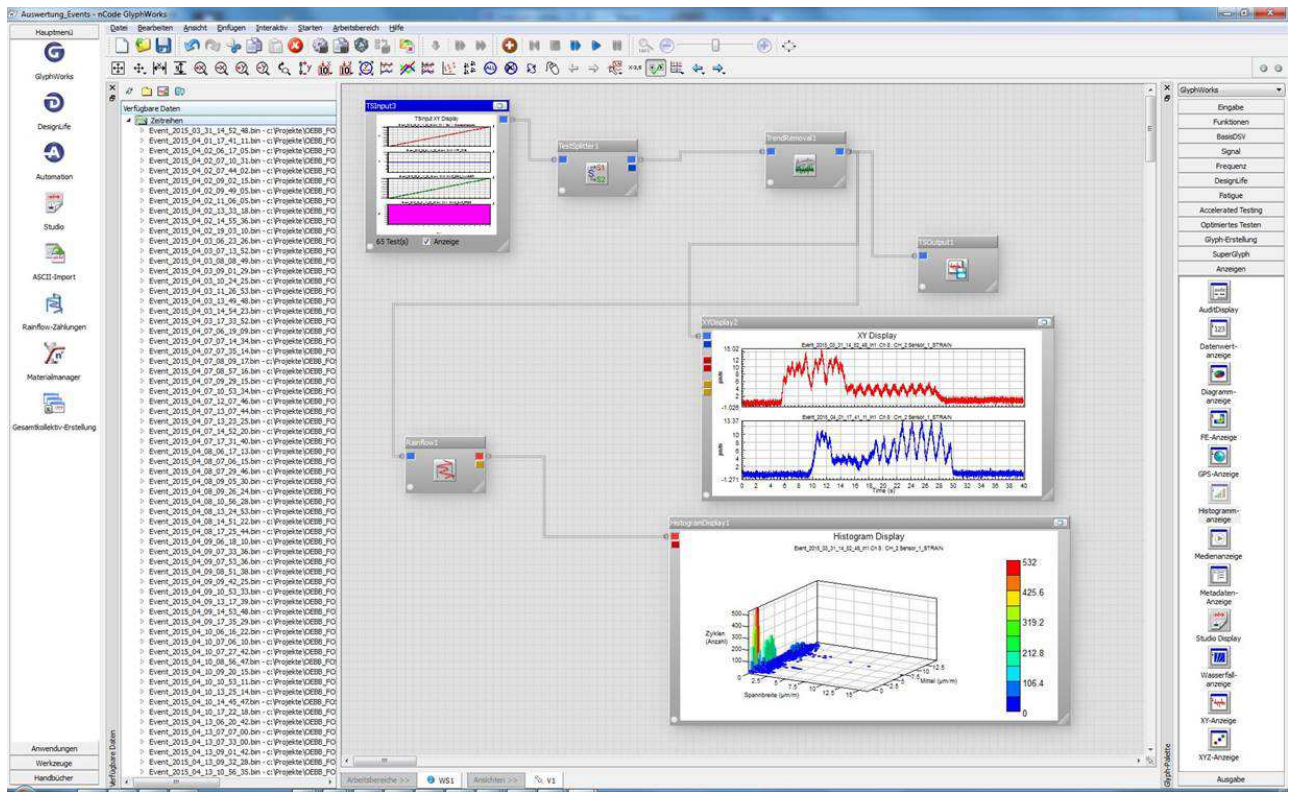


Abbildung 11: Auswertung Einzelereignisse

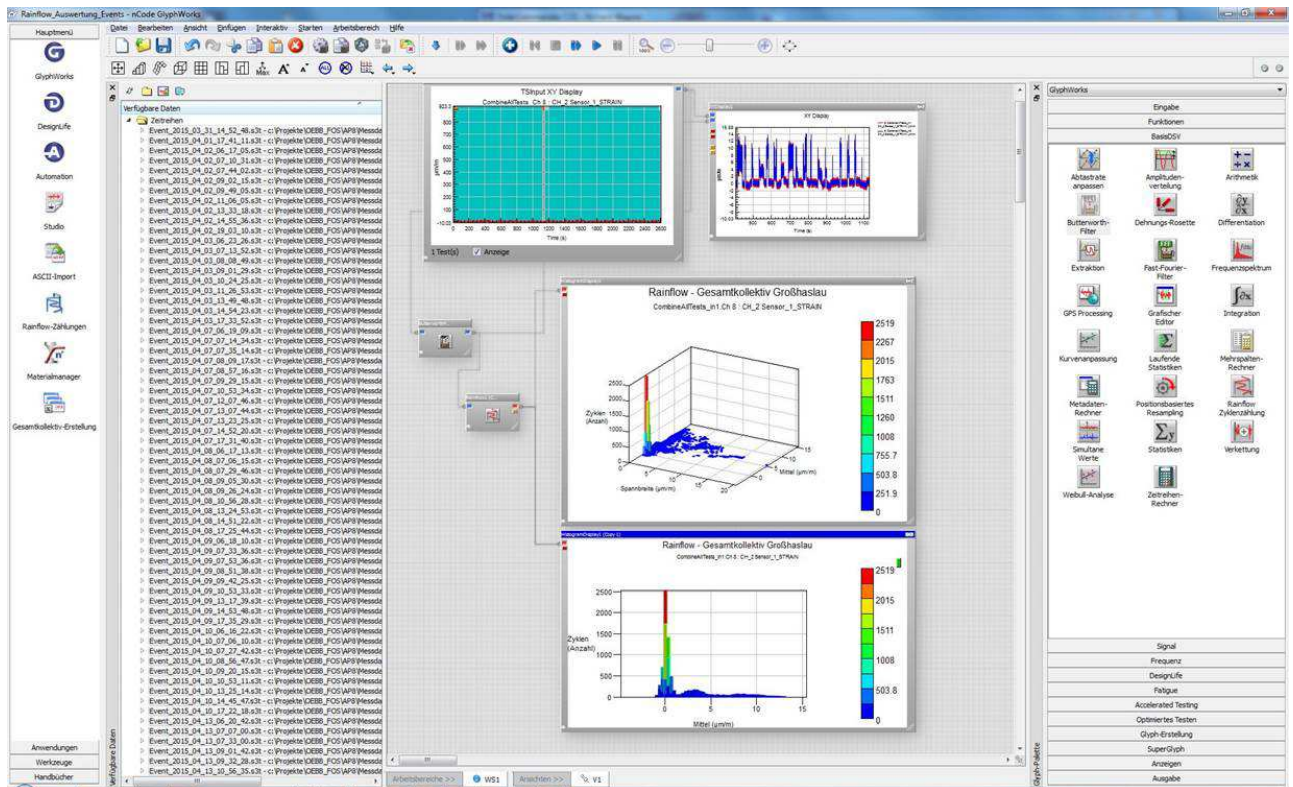


Abbildung 12: Auswertung Kollektiv

- Auswertung Daten Tunnel

Eine weitere Funktionalität von Glyphworks ist das automatisierte erstellen Reports.

Dies ist in folgendem Auswerteflow an von der Firma FCT zur Verfügung gestellten Daten aus einem Tunnelprojekt exemplarisch vorgeführt.

Der generierte Report (OEBS_FOS_Beispiels_Export_TunnelDaten.doc) liegt diesem Endbericht als Anlage bei.

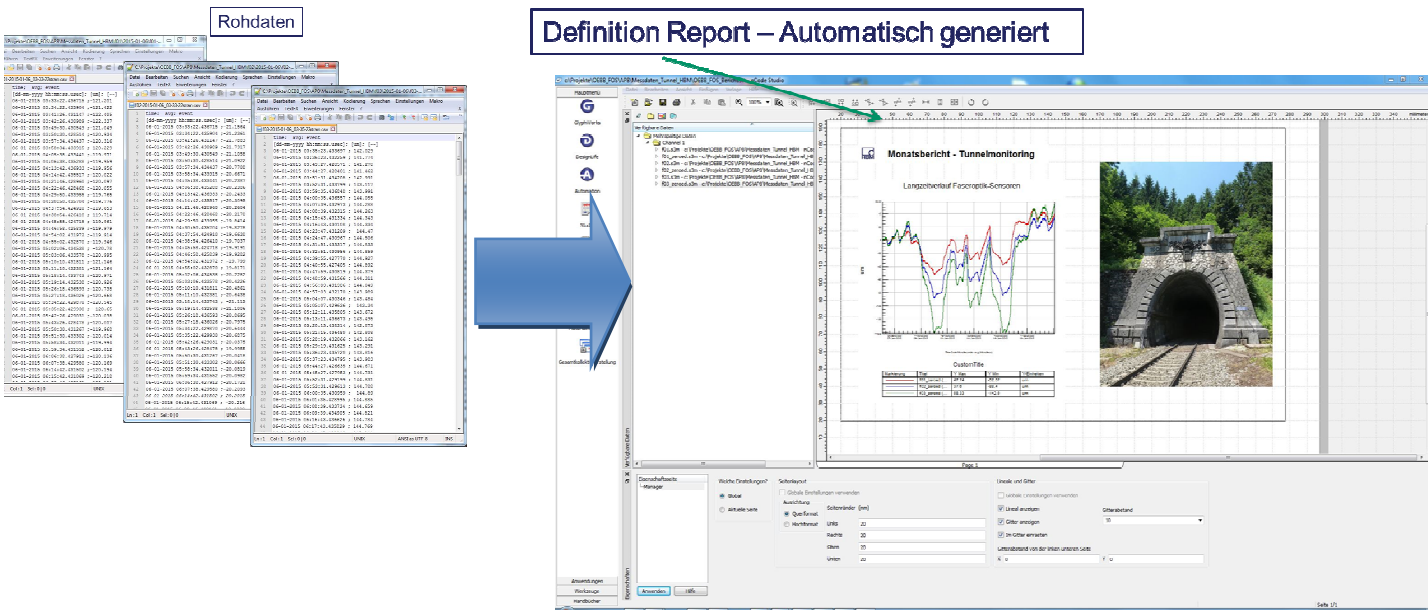


Abbildung 13: Automatisierte Reportgenerierung

Alarmierung:

Die Alarmierung ist in der Messzentrale mittels der Software Catman realisiert worden. Der Datenakquisitionsprozess kann auf einen variabel Einstellbaren Grenzwert überwacht werden. Im Fall einer Überschreitung kommt es dann zu einer definierten Aktion wie z.B. das Aussenden einer Email. (Siehe Abbildung 14). Die Empfängerliste kann nach Bedarf parametrisiert werden. Neben Grenzwertüberschreitungen ist auch eine allgemeinere Form von Überwachung möglich. Die Übermittlung von kritischen Zustandsänderungen des Messsystems wie z.B. Strom oder Sensorausfall.

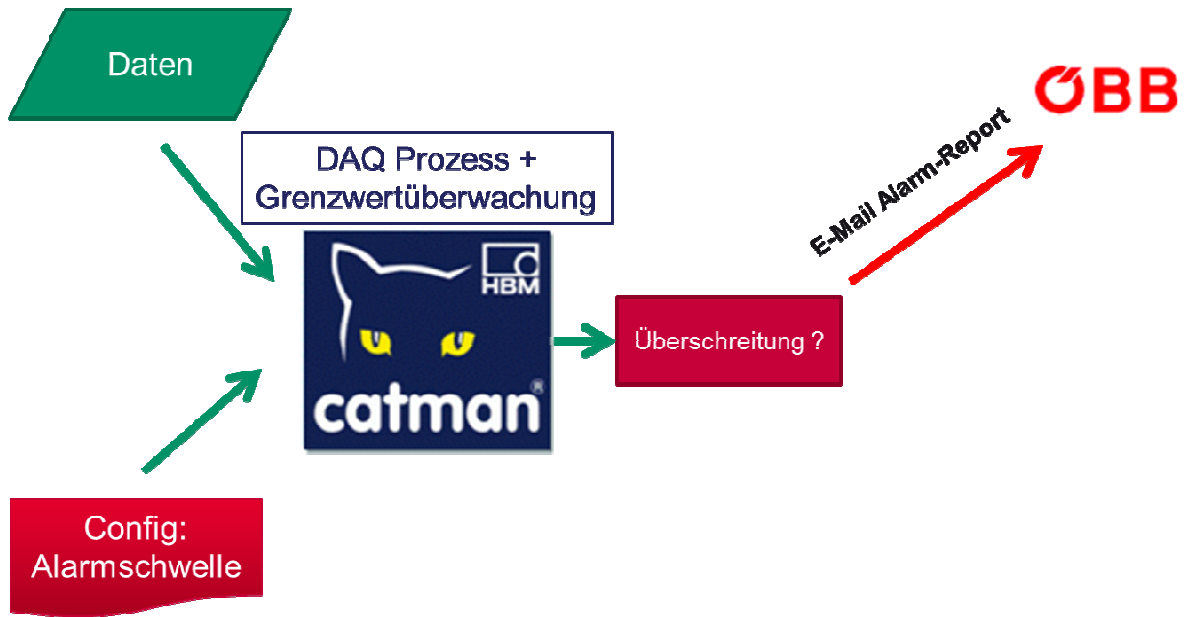


Abbildung 14: Alarmierung Softwareübersicht

In Abbildung 15 ist ein Beispiel für eine solche Email zu sehen. Es ist zudem möglich der Email eine Grafikdatei anzuhängen. Dadurch ist es für einen Operator sehr schnell verifizierbar was die Ursache für die Auslösung des Alarms war. Weiters ist auch eine Alarmierung per SMS möglich.

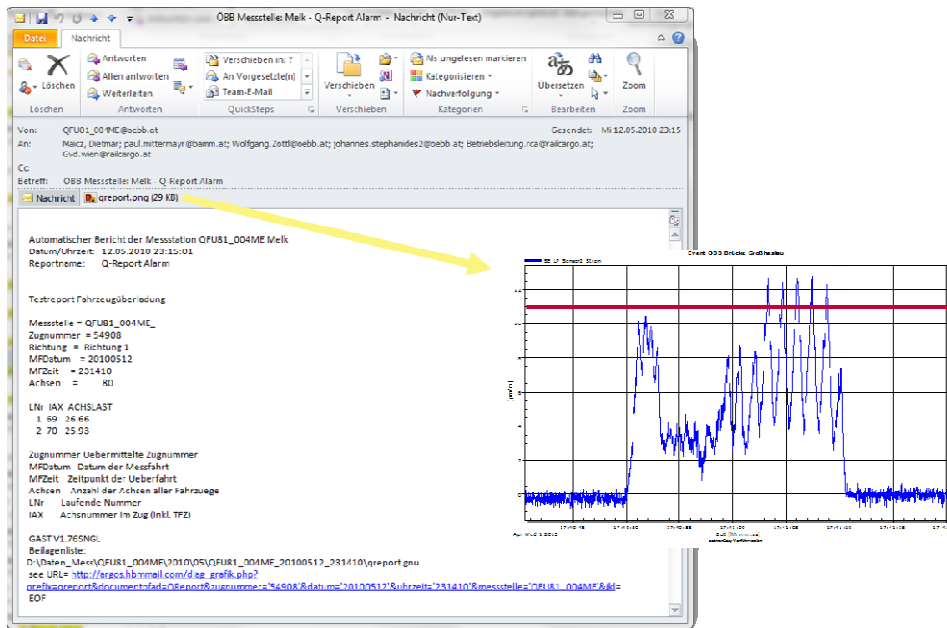


Abbildung 15: Beispiel Alarm E-Mail

3. PROJEKTTEAM UND KOOPERATION

Dr. Döller Vermessung ZT GmbH:

FCT:

TU-Graz:

HBM:

Die Abläufe der Projektarbeit wurden in den regelmäßigen Sitzungen besprochen und weitere Schritte geplant.

4. WIRTSCHAFTLICHE UND WISSENSCHAFTLICHE VERWERTUNG

Die Weiterverwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Arbeit liegen vor allem in der systematisierten Literaturrecherche,

- der Analyse des Potentials des LWL-Netzes ÖBB
- dem Design eines universellen Adapters

und den daraus möglichen Anwendungen für ÖBB-Infrastrukturen.

Weiterführend ist eine detailliertere Analyse des LWL-Netzes ÖBB für FOS-Zwecke anzuraten. Die Nutzungsverhältnisse könnten standardisiert erfasst und so für weitere Anwenderkreise im Unternehmen verfügbar werden.

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.

FOS – Systeme an Bahnanlagen

Die Entwicklung der Faseroptischen Sensorik hat in den letzten Jahren in vielen messtechnischen Fachbereichen für die ÖBB neue Möglichkeiten geschaffen. Aufgrund der Unempfindlichkeit von FOS gegenüber elektromagnetischen Feldern und der Einbettbarkeit der Sensoren in Objekte, können Messbereiche erschlossen werden, welche geodätisch bisher nicht zugänglich waren. Nach dem sehr vereinfacht benannten Prinzip "no Power - no brain - on site" können mit Faseroptischer Messtechnik die physikalischen Größen wie Temperatur, Dehnungen, Deformationen, Schwingungszuständen u. v. A. m. über viele Kilometer zu einem Mess- und Auswertezentrum übertragen werden, ohne zusätzliche Energieversorgung oder Computer am Objekt installieren zu müssen. Die Verfügbarkeit der Messdaten ist rund um die Uhr im definierten Intervall gewährleistet.

Durch den Einsatz von FOS sollte ein Paradigmenwechsel bei ingenieurgeodätischen Arbeiten an Bahnanlagen möglich werden. Nach der Installation und Inbetriebnahme solcher Sensorsysteme soll hinkünftig außer bei Wartungsarbeiten kein Betreten der Bahnanlagen bzw. keine Betriebsunterbrechung notwendig sein. Die Kosten der laufenden Überwachungsaufgaben werden hinsichtlich der zugehörigen Betriebsausgaben des Bahnbetreibers erheblich sinken. Unter Berücksichtigung der vorhandenen LWL – Infrastrukturen wird ein riesiges Potential aufgezeigt.

Zusammenfassung FFG-Projekt - Schlussbericht

Der Projektverlauf hat die gewählte Themenstellung eindrucksvoll bestätigt.

Die Untersuchung der Anwendungspotentiale verbunden mit einer tiefgehenden Literaturstudie hat die Sensibilität innerhalb und außerhalb der ÖBB – Infrastruktur AG gestärkt und die Wege der FOS-Technik in die Zukunft aufgezeigt.

Die Zusammenarbeit zwischen einem Bahn-Infrastruktur Betreiber, einem wesentlichen Forschungslabor und FOS – Experten aus der Praxis hat sich der Aufgabe entsprechend bewährt.

Für den Initiator ÖBB – Infrastruktur wurde im Laufe der Projektdauer eine große Bandbreite an Einsatzgebieten ersichtlich. Zum heutigen Zeitpunkt sind eine Reihe von praktischen Anwendungen im Echtzeitbetrieb (z.B.: Pram, Bhf. Liezen, Liezen – Weißenbach) realisiert. Durch diese erfolgreiche Umsetzung entstand und entsteht immer mehr Bedarf an der Einbindung der bestehenden LWL – Infrastruktur. Sohin hat die Arbeit im Projekt auch eine dahingehende Meinungsbildung losgetreten. Das Arbeitspaket 4 (Design eines Standards zur Anbindung der Sensorik an das ÖBB-LWL-Datennetz) hat hier einen wesentlichen Beitrag zur Evaluierung der Verfügbarkeit und Kapazitäten im LWL – Bereich geleistet. Der Mehrnutzen einer bestehenden Investition ist somit evident.

Durch die parallel entstandenen Praxisanwendungen (Dr. Döller Vermessung ZT-GmbH) erfolgte zudem eine durchdringende Kenntnis der FOS-Technologie „auf der Strecke“.

Die Vermarktung der Studie ist somit schon begleitend erfolgt. Die Anzahl der Anfragen innerhalb des Unternehmens ÖBB-Infrastruktur steigt stetig.

Publikationen werden laufend erstellt:

- Vortrag bei der Intergeo in Stuttgart 16.09.2015 Titel: „Unique Concepts and Applications for Geodetic Monitoring with Fibreoptic Sensoric (FOS)“ – Dr. Döller Vermessung ZT GmbH
- Messkonzept FOS 2016 – 2040 Bosrucktunnel – Dr. Döller Vermessung ZT GmbH
- Liezen Bahnhof – Dr. Döller Vermessung ZT GmbH (in Arbeit)

Die Verwendung der LWL – Infrastruktur für FOS – Projekte wird in geeigneter Weise an den Vorstand ÖBB – Infrastruktur übermittelt.

Die Abarbeitung der Arbeitspakete war insgesamt sehr zukunftsweisend und hat zum richtigen Zeitpunkt stattgefunden.

Das Potential von FOS – Systemen in der Sensortechnik an Infrastrukturen wurde eindrucksvoll aufgezeigt und die Basis für eine standardisierte Anwendung dieser Technologien gelegt.

Es konnte im Laufe der Projektzeitschiene aufgezeigt werden, dass die ÖBB – Infrastruktur im Vergleich mit anderen Bahninfrastrukturbetrieben federführend ist.

Die Möglichkeiten der Anbindung an bestehender LWL – Einrichtungen wurde detailliert erläutert und soll als Basis für eine nunmehr folgende Standardisierung dienen.

Abschließend darf das aktuellste Projekt Liezen veranschaulicht werden.



Abbildung 16 und Abbildung 17: Setzungsbeobachtungen mit FOS in Liezen

Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
Radetzkystraße 2
A - 1030 Wien



ÖBB-Infrastruktur AG
Praterstern 3
A - 1020 Wien



Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs
Aktiengesellschaft
Rotenturmstraße 5-9
A - 1010 Wien



Für den Inhalt verantwortlich:

Dr. Döllner Vermessung ZT GmbH
Kremser Straße 52
3910 Zwettl



Programmmanagemen:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Bereich Thematische Programme
Sensengasse 1
A – 1090 Wien



Einsatz von faseroptischen Sensoren im Bereich der ÖBB-Infrastruktur ÖBB - FOS

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2012)

AutorInnen:

Dipl.-Ing. Dr. techn. Herbert DÖLLER

Dipl.-Ing. Ferdinand KLUG

Dipl.-Ing. Dr. techn., Univ.-Prof. Werner LIENHART

Ing. Günther NEUNTEUFEL

Dipl.-Ing. Verena RAUSCHER

Denise SCHMIDT

Mag. Richard WAGNER

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

Dr. Döllner Vermessung ZT GmbH

TU Graz, Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme

Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH

FCT Fibre Cable Technology GmbH