

## Lichtwellenleitersensorik im Eisenbahnwesen Anwendung, Forschung und Entwicklung

21. Oktober 2020

DI Kaus Leitner eröffnet die Tagung, nach Darstellung der erforderlichen COVID19-Maßnahmen und des Procedere für die Videoteilnehmer starten die Vorträge:

### **Dr. Bernd Drapp: Sensorfusion energieautarker Punkt Sensoren mit DAS Systemen entlang der Sensorfaser**

Er erläutert zunächst die physikalischen Grundlagen wie der akustische Sensor als Echtzeitmessung funktioniert: Einerseits als Messung über die Amplitude, wobei die Vibration des Zuges über DAS, d.h. über die Faser übertragen wird wie eine 70km lange Mikrofonkette. Grundlage ist die Messung der Rayleigh-Streuung eines LASER Pulses, wobei die Änderung der Amplitude gemessen wird. Fadingeffekte erschweren jedoch die Auswertung. Andererseits kann die Messung auch über die Phasendifferenzen erfolgen, das Delta ergibt eine lineare Funktion, die besser ausgewertet werden kann, die. Apparatur dafür ist jedoch aufwendiger.

In der Praxis kann die FOS (Fibre Optic Sensing) mit verschiedenen ortsfesten Punktsensoren entlang einer Strecke vielerlei Informationen erfassen und übertragen: Das vorgestellte Spectrailconcept misst mehrere Komponente, z.B.: Temperatur, Bewegungen, Eis/Schnee Detektion, Schwellen Verschiebung etc., zusätzliche Erweiterungen sind möglich. Die Energieversorgung erfolgt autark via Hochleistungs-Solarzelle, die Datenübertragung an den DAS-Monitor benötigt allerdings relativ viel Energie, sodass eine Optimierung nötig war. Aus der Vielzahl akustischer Signale ist das Herausfiltern nötig und möglich, weil ein codiertes 32 Bit Signal verwendet wird. Die Position des jeweiligen DAS Sensors kann nach anfänglichem Mapping via Dauer des LASER Pulses bestimmt werden.

### **Mag. Renee Zeilinger: FOS im Bahnbereich – Track more with less**

Zunächst stellte er die Neugründung Frauscher Sonsonic vor. Der wesentliche Innovationsschritt war 2018 die Entwicklung einer neuen DAS-Sensoren Generation die für die Phasendifferenz- Messung geeignet war. Gemeinsam mit Sintela erfolgt die Gründung von Sonsonic , sodass Hardware und Software für bahnspezifische Anwendungen in einer Hand liegen. Die Messung des Rad-Schiene Kontakts mit dem quantitativen DAS-Interrogator überwacht Daten auf 80 km Strecke mit geeigneten Algorithmen, die für eine entsprechende Handlungsanleitung nötig sind: höhere Kapazitäten für mehr Mobilität, Kostenreduktion bei Wartung und Instandhaltung, weitere Erhöhung der Sicherheit und verbesserte Pünktlichkeit im Mobilitätsnetzwerk.

Dafür ist ein Zugmanagement nötig: Stichwort Moving Block, d.h. Sicherheitsabstand, Bremsweg, und ein dynamischer Block. Sicherheitsrelevant ist die Kenntnis der max. Ungenauigkeit der Zugposition, derzeit wird ETCS L3 Odometrie verwendet, das wegen des wg. Schlupfs im Rad-Schiene-Kontakt relativ ungenau ist und daher den maximalen Sicherheitsabstand auf Kosten der Kapazität erhöht. Die Anforderungen an die Zugortung sind Kenntnis der Genauigkeit und Zugvollständigkeit. FOS ist zeitsynchronisiert via GPS o.ä., beträgt bei einer Auflösung von 2 kHz +/-0.1 sec.

Die räumliche Genauigkeit bei Referenz via GPS ist maximal +/-10 m und ermöglicht so einen relativ kleinen Sicherheitsraum. Die Verfügbarkeit wird durch die Topografie und die Verlegung der Kabel bestimmt. Das DAS erkennt nur fahrende Züge > 2 kmh, die Gleiszuordnung auf 100 m beträgt 98%, bei 2 Gleisen, das Verhalten bei mehreren Gleisen ist noch zu erforschen. Weichen sind erkennbar. Die Zugvollständigkeit kann durch das Muster des Achsensatz erkannt werden. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit stellt sich die Frage, ob zugseitige (Odometrie und Streckenmarkierung) wie derzeit

bei der TSI CCS vorgeschrieben oder Infrastrukturseitige Lösungen (FOS, 80 km abdeckbar, Glasfaser liegt schon im Gleis, Echtzeitsystem) bevorzugt werden. Anwendungen für die Zugortung gibt es viele: sicherheitsrelevant sind z.B.: Eisenbahnkreuzungen, Rottenwarnsysteme, Flankenschutz, Gleisfreimeldung..., nicht sicherheitsrelevant sind z.B.: Fahrerassistenzsysteme wie Green Driving, Anfahren gegen Halt Fahrdienstleiter -Assistenzsysteme, Bahnsteigdurchsagen...

### **Andy Lämmerhirt, Max Schubert: DAS für dispositive Zugortung, Zugängen Bestimmung, Reisende Warnung und -information.**

Lämmerhirt stellt Beispiele für die Anwendung bei der DB vor. Es gibt viele Versuchsanordnungen für Zugortung z.B.: in Fulda auf der Schnellfahrstrecke. Die Versuchsanordnungen für die Zugortung wird benutzt für Fahrempfehlungen, Reisendeninformationen und -warnungen, Beobachtung der Zugintegrität, Gleisfreimeldung und als Dispohilfe. Es wurden mehrere Messkampagnen mit diversen Analyseverfahren durchgeführt: Trainview, Railview, und die Durchfahrt von Drehgestell Gruppen (Bogie-cluster). Alle 3 erwiesen sich, je nach Anwendungsfall, berechtigt. Die gewonnenen Erfahrungen bei der Geschwindigkeitsmessung zeigen bei Geschwindigkeiten unter 160 km/h 99% und über 160 km/h 99,5% Genauigkeit.

In einem weiteren Forschungsvorhaben wird der Zugintegritätsnachweis gleichzeitig mit dem Zustand des Oberbaus untersucht. Eine Verbesserung der Algorithmen kann auch Zugangsanzeigen, Wagenstandsanzeigen und allgemeine Informationen für Reisende ebenso wie eine automatisierte Reisendenwarnung ermöglichen. Zugintegritätsnachweise ermöglichen auch Disponentenentscheidungen, Fahrempfehlungen für angepasste Geschwindigkeiten oder Überholvorgänge. Im Anschluss stellt **Max Schubert** die Vereinigung FOS4R vor, dessen Zweck die Einführung von FOS-Systemen für Mehrfachanwendungen im operativen Betrieb ist, um Sicherheit, Zugintegrität, Ressourcenschonung zu erhöhen und Zulassungsprobleme zu lösen. Derzeit wird viel Grundlagenforschung betrieben, vieles läuft parallel, daher ist Koordination, Konsolidierung der Anforderungen und Professionalisierung nötig. Er verweist auf Gemeinschaftsprojekte, z.B.: Steinschlagdetektion in Japan, oder Fahrdraht mit integriertem Lichtwellenleiter (Japan).

### **DI Manfred Stättner: Zugzustandbestimmung mit DAS im Kontext des Projektes Green light II**

Er berichtet, dass derzeit bei den ÖBB 1240 Fahrzeuge mit Energiezählerbox inkl. integrierten GNSS Empfänger ausgestattet sind, der ein Korrektursignal (TEPOS) verarbeiten kann. Dies kann mit der Leittechnik verbunden werden, sodass Sensorik im Fahrzeug und in der Infrastruktur kombiniert werden kann. Versuchsstrecken dafür waren der Wienerwaldtunnel, Wels-Passau und Grein.

In Grein wurde Livemonitoring Zugposition parallel mit Steinschlag-Detektion erforscht und auf der Strecke Wels-Passau wurden 1071 Züge verfolgt, 2 Auswertesoftwaren miteinander verglichen und in den Green light Gateway integriert. Ergebnis: Green light profitiert von DAS. FOS kann Zugintegrität an festen Punkten feststellen, die Feststellung der Zuglänge allein reicht aber nicht, nur die Achszahl ist ausreichend, braucht es daher kontinuierliche Messung? Im Wienerwaldtunnel erwies sich das eingebaute Masse-Feder-System massiver Störfaktor für die DAS-Messungen, das zumindest ein Nachweis für das gute Funktionieren des Masse-Feder-Systems war. In einer weiteren Versuchsanordnung wurden GNSS/IMU, Odometrie, LiDAR, Video- Odometrie, DIS, DOS miteinander verglichen, wobei der Datenvergleich aufgrund des Aufwandes noch nicht abgeschlossen wurde. In den Zuglaufcheckpoints sollten möglichst alle Systeme eingebaut werden, denn grundsätzlich sind alle Systeme brauchbar. Es gibt immer wieder den Fall, dass ein System nicht funktioniert (Abstand, Kabel nicht entlang der Strecke), jedenfalls ist eine möglichst genaue Geo-Kartierung notwendig. Verbesserte Sensorik führt zu besserer Auslastung des Netzes und rechtfertigt den Kostenaufwand auch für die Instandhaltung. Im Endeffekt ist es eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, aber parallele Funktionalitäten sind förderlich. Informations-Unterstützungssysteme sind hilfreich. Das Ziel ist es

jedoch, ein möglich gleiches SiL4 Niveau zu erreichen, aber SiL4 ist teuer, daher wird der Sicherheitsnachweis noch dauern.

### **DI Dr. Ivan Vidovic FOS im Infrastruktur-Monitoring des Eisenbahnfahrwegs:**

Zur Erfassung des Fahrwegzustandes werden bei Infrastrukturbetreibern viele Messsysteme eingesetzt, neben Gleismesswagen auch Punktsensoren an sensiblen Anlagen. Alle Systeme haben ihre Vor- und Nachteile, haben unterschiedliche Zahlen von Sensoren im Gleis, haben aber unmittelbaren Einfluss auf die Verfügbarkeit der Infrastruktur. Die vorgestellten Untersuchungen beziehen sich auf die Detektion des Fahrwegzustandes mittels DAS. Außerdem wurde untersucht, ob sich Instandhaltungsarbeiten wie z.B.: das Stopfen detektieren und im Detail bewerten lassen.

Pilotprojekt: FibreOptic Sensing mit der TU Graz & SBB

FOS ist kein Ersatz für vorhandene und etablierte Messsysteme. Es werden hierfür bereits installierte und verlegte Lichtwellenleiter und keine Änderungen bzw. Verbesserungen des Lichtwellenleiters vorgenommen. Es gibt somit keinen Einfluss auf den operativen Betrieb: Die Zugfolgezeiten wurden nicht geändert. Das große Ziel besteht hierin, dass die Anlagedaten und FOS verknüpft werden.

Die Pilotstrecke befand sich zwischen Bern & Münsingen & zwischen Münsingen & Spiez. Das Distributed Acoustic Sensing spiegelt die Reaktion des Fahrwegs auf die Belastung wider. Kurzweilige Fehler sind in höheren Frequenzbereichen deutlich erkennbar. Man kann die Signale zwischen weißen Stellen im Schwellenbereich & fortgeschrittenen Schlotterverschleiß anhand der „guten und schlechten“ Signale unterscheiden. Die Weiche ist dabei ein sehr kritisches Element. Es gibt in diesen Bereich zahlreiche Defekte (im Signalmuster erkennbar).

Für ein Pilotprojekt hat diese Studie sehr gut funktioniert, trotz den Einschränkungen.

Zusammenfassend lässt sich sagen:

DAS bietet für Betreiber von Eisenbahninfrastrukturen ein breites Anwendungsspektrum. Eine kontinuierliche & holistische Überwachung des Eisenbahnfahrwegs ist möglich. Die Verwendung bereits installierter Lichtwellenleiter ist nötig und möglich. Es bedarf keiner zusätzlichen streckenseitigen Installationen. Detektion & Identifikation von Einzelfehlern ist möglich. Zu lösen gilt es dabei aber noch die optimale Lage und Position des Lichtwellenleiters (Sensors) und die ungeheure Datenmenge. Diese Datenmenge spiegelt sich auch in der Ortsauflösung wider: Welche Bereiche sind notwendig ohne Unmassen an Daten zu produzieren?

### **DI Dr. Michael Brauner Erfahrungen mit DAS im Streckenmonitoring in den Bereichen Geotechnik und Naturgefahrenmanagement**

Seit 2015 wird an der zeitkritischen Detektion von Gefährdungen durch Steinschlag oder Baumschlag gearbeitet, weil diese Gefahren gerade auf Gebirgsstrecken eine Herausforderung darstellen. Es gibt Naturprozesse, die unabhängig von Zugfahrten sind. Vor allem in Gebirgsstrecken, durch inhomogene Kabellagen und bei Eisenbahnkreuzungen gibt es besondere Gefahrenzonen. Hierfür soll eine Detektionsstrategie helfen, wie z.B. beim Steinschlag. Blockgrößen, die eine Gefahr darstellen (ab ca. 30 cm Größe / 1,4 kJ). Es sollte nicht öfters ein falsch-positive Alarm als 1x pro Woche vorkommen, ansonsten gibt es Probleme mit der Streckenbereitschaft. Eine automatische Erkennung von Signaturen anhand des Diagramms wäre daher sinnvoll.

Das verwendete Gerät zur Messung ist HELIOS. Im Rahmen des Feldlabors wurde die Optimierung des Sensors, Kabelart und Kabelposition durchgeführt. 2013 wurde dieses Projekt begonnen, 2014 im Testbetrieb im Gesäuse über 5 Monate gelaufen und 2014 wurden weiterführende Tests (wie z.B. Erdbebenmessungen) am Erzberg durchgeführt.

Die Signatur hat etwas mit der Größe des Steins bzw. mit der Aufprallintensität zu tun und der Stelle des Aufpralls auf den Gleisen. Es gibt 3 Signaturen: Erdrutsch, Steinschlag und unbekannt (= kleiner als ein Steinschlag). Von 25 falsch-positiven Fehlermeldungen konnte man auf 5 Fehlermeldungen pro Woche reduziert werden.

Das Warnsystem an der Donauuferbahn befindet sich derzeit in der Kalibrierungsphase. 2021 sollte dieses System dann operativ eingesetzt werden. Diese wurden 2019 etabliert. Die bisherigen Ereignisse waren dabei Stein- bzw. Blockschlag, Rutschungen und Lawinen. Eine Baumschlagdetektion ist möglich, jedoch nur bei größeren Bäumen. Bei kleineren Bäumen ist es aktuell noch nicht in einem sinnvollen Detektionsbereich möglich.

Es müssen noch andere Umweltparameter besser berücksichtigt werden, um die Messredundanz zu verringern.

#### **Prof. Dr. Werner Lienhart, Sensorik im Tunnelbau**

Tunnelbau wird schon lange konventionell überwacht. FOS kann eine innovative und kostengünstige Lösung sein, da entlang des Tunnels Lichtwellenleiter liegen, es gibt somit 1000e Messstellen, hohe Ortsauflösung und Präzision. Anfangs ist eine Kalibrierung notwendig. Probeversuche erfolgten bei Neubaustrecken im Koralmtunnel, im Semmeringtunnel und der Tunnelkette Granitztal, nachträglich in Bestandstunnels Tauern und Plabutsch. Die Kalibrieranlage war im IGMS Messlabor aufgebaut, abwechselnde Dehnung und Stauchung des Kabels ergaben eine lineare Kennlinie. Im Semmeringtunnel wurden die Kabel entlang der Bewehrungsmatten eingespritzt, die dynamische Messung der Deformation erfolgte unmittelbar nach Aufbringen des Spritzbetons. In der Sohle war auch die Sohlehebung messbar, bald erfolgte eine Stabilisierung je nach Bauabschnitt, der Vergleich mit geodätischen Messungen war trotz des Rauschens geodätischer Messungen analog. FOS kann zur vollautomatischen Auswertung, Reporting und Alarmierung verwendet werden. Im Semmeringtunnel existiert ein Zwischenangriff, über einen 1 km langen Zugangstunnel und zwei Schächten, die geodätisch kaum messbar sind. Die FOS Messung erfolgte von den Kavernen aus. Bei kontinuierlichem Vortrieb können Smart- Tübbinge als Monitoren dienen, wobei der ganze Tübbing abgedeckt wird und die Belastungen vertikal, horizontal, sowie Rissentstehung gemessen werden. Im vertikalen Belastungstest werden Dehnungsspitzen sichtbar, die eine Rissbildung anzeigen (auch möglich bei Brücken), verifiziert mit einer Kamera. Die Messung kann sofort nach Installation der Smart Tübbinge beginnen und über Jahrzehnte als Langzeitüberwachung dienen. Genaue Messungen gehen über Distanzen von 2 km, weniger genaue über bis zu 40 km, die Dauer einer Messung beträgt 5 Sekunden. FOS eignet sich auch zur Messung von Tübbingtypen, sieht die Deformation der Tübbinge in Korrelation zwischen innerer und äußerer Schale. Ein weiterer jedoch schwieriger Anwendungsbereich sind Setzungen, die nur unter Randbedingungen erfassbar sind, z.B.: Gleissetzung 0,8 mm.

#### **Wolfgang Lahner Brandschutz im Zentrum am Berg und Kabeltemperaturüberwachung im Hbf. Linz mit DTS**

Intelligente Temperaturüberwachung oder Branddetektion im Tunnel ist ein höchst sensibles Thema. Bei einem offenem Brand und einer Lebensdauer des FOS über 30 Jahre ist eine schnelle Alarmauslösung durch Überschreiten des absoluten Maximums oder eines adaptiven Maximums oder des entsprechenden Temperaturgradienten notwendig um rechtzeitig agieren zu können.

Eine Installation am Hauptbahnhof Linz diente zur Kabeltemperaturüberwachung, weil ein Kabelbrandereignis in der Vergangenheit größeren wirtschaftlichen Schaden verursacht hatte. In den Kabelschächten herrscht ziemlich konstante Temperatur, das ermöglicht es Alarmschwellwerte scharf zu setzen. Die Kalibrierung des FOS erfolgte durch Langzeitdaten. Im Zentrum am Berg der

MUL kann Tunnelforschung (Bahn und Straße) in der Praxis im Maßstab 1:1 betrieben werden. Eine Versuchsanordnung mit FOS existiert durchgängig.

### **DI Klaus Leitner Forschungsprojekt Kurzschluß-Lokalisierung im 15kV Oberleitungsnetz der ÖBB mit DAS**

Das Problem eines Kurzschlusses um Oberleitungsnetz ist die Lokalisierung. Kurzschlüsse sind relativ häufig: ca. 4000 p.a., davon mehr im Sommer verursacht durch Vögel, Bewuchs, Fehlhandlungen, Verschmutzung, Witterung mit Auswirkungen wie Verspätungen, und Zeitverlust bei der Suche nach dem Schaden. Ziel der Forschung ist daher die Eingrenzung für die Instandhaltungsteams am besten durch insitu Information der Leitstelle. Für Untersuchung werden der Einfluss von Knall, Druckwelle und Stromkräften auf das DAS geprüft, wobei Energieinhalt und Länge und Dauer des Kurzschlusses, Aufbau der Oberleitungs-Anlage, Umgebungsgeräusche, Distanz vom Mast und Beschaffenheit der Infrastruktur Einflussfaktoren auf die Messung sind. Feldversuche wurden auf der Strecke Wels-Passau in der Nähe eines Unterwerks und an der GZU St. Pölten durchgeführt. Im Wasserfalldiagramm war der Knall des Kurzschlusses bei tiefen Tönen gut erkennbar, die Genauigkeit lag bei 40 m, sodass der betroffene Mast gut bestimmbar ist. Höhere Kurzschlussenergie verbessert die Messbarkeit, sodass Messergebnisse trotz Zugvorbeifahrt vorliegen. Auch durch die Stromkräfte hervorgerufene Schwingungen und Vibrationen sind via DAS messbar. Bei den Versuchen an der GZU, (Pummersdorfer Tunnel mit Stromschiene, Einschnitte, einspurige und mehrspurige Strecke) waren die Messungen viel schwieriger und die Signale viel schwächer, weil der Oberbau aus einer bituminösen Tragschicht, Trögen und Gummigranulatplatten aufgebaut ist, wobei letztere das Signal stark dämpft, da der Lichtwellenleiter auf der Gummigranulatplatte liegt. Auch das Masse-Feder-System im Tunnel dämpft das Signal so stark, dass das Kabel außerhalb verlegt werden muss. Zur Kalibrierung wurden übrigens Pranger-Schüsse verwendet, deren Signal dem Kurzschluss-Knall entspricht.