

Fiber Optic Sensing for Railways – Ready to use?!

Fibre Optic Sensing for railways – Ready to use?!

Andy Lämmerhirt | Max Schubert | Bernd Drapp | Rene Zeilinger

Fiber Optic Sensing (faseroptische Sensorik, FOS) unterstützt die datengetriebenen Services durch kontinuierliche Informationsgenerierung entlang einer umfangreichen Infrastruktur wie kein anderer Sensor. Bereits praktisch realisierte Projekte unterstreichen die Reife des Produkts in einer Vielzahl von Anwendungsbereichen. Die Zeit ist reif für die geplante, langfristige Systemintegration, um rechtzeitig die Effekte für Kapazitätssteigerung und Effizienzgewinn im Betrieb nutzen zu können.

1 Das FOS-Prinzip

FOS nutzt eine Standard-Glasfaser, wie sie im Telekommunikationsbereich verwendet wird, als sensitives Element. Die grundlegende Architektur eines FOS-Systems besteht aus der Glasfaser, einem sogenannten optischen Interrogator – ein kompaktes System, das eine Laserlichtquelle, verschiedene optische Bauteile sowie eine optoelektronische Detektoreinheit umfasst – und der Schnittstelle zur anwendungsbezogenen Software.

Die Interrogatorbox erzeugt Laserpulse und koppelt sie in die Glasfaser ein. Entlang der Glasfaser unterliegen die Laserpulse aufgrund der Wechselwirkung mit der Glasmatrix verschiedenen Streuprozessen [2, 3, 4]. Ein Teil des Laserlichtes wird dabei wieder zurück in Richtung des Interrogators gestreut. Die Streuprozesse innerhalb der Glasfaser sind dabei von der Temperatur oder den Vibrationen der Glasfaser abhängig. Je nach Art der Auswertung reagiert die Glasfaser dementsprechend auf diese Temperaturänderungen oder Vibrationen. Wird neben der Intensität des rückgestreuten Lichtes auch die Laufzeit des Laserpulses ausgewertet, so lassen sich daraus die Intensität und der Ort des Streuprozesses präzise ermitteln (Bild 1). Der Laserpuls in der Glasfaser verwandelt somit, je nach Art der Auswertung, die Glasfaser in eine fortlaufende Kette von Thermometern oder Mikrofonen.

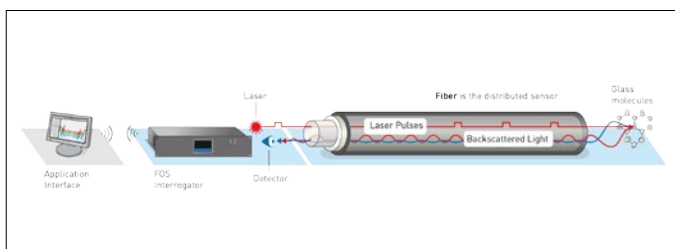


Bild 1: Schematischer Aufbau eines FOS-Systems mit Glasfaser als sensitives Element

Fig. 1: The schematic structure of a FOS system with glass fibre as the sensitive element

Fibre Optic Sensing (FOS) supports data-driven services by means of continuous information generation along an extensive infrastructure like no other sensor. The projects that have already been realised underline the maturity of the product in a wide range of application areas. The time is ripe for a planned, long-term system integration in order to enable the effects to be used for capacity increases and efficiency gains in rail operations.

1 The FOS principle

FOS uses a standard optical fibre as a sensitive element, in the same way it is used in telecommunications. The basic architecture of a FOS system consists of an optical fibre, a so-called optical interrogator (a compact system that includes a laser light source, various optical components and an optoelectronic detector unit) and the interface to the application-related software.

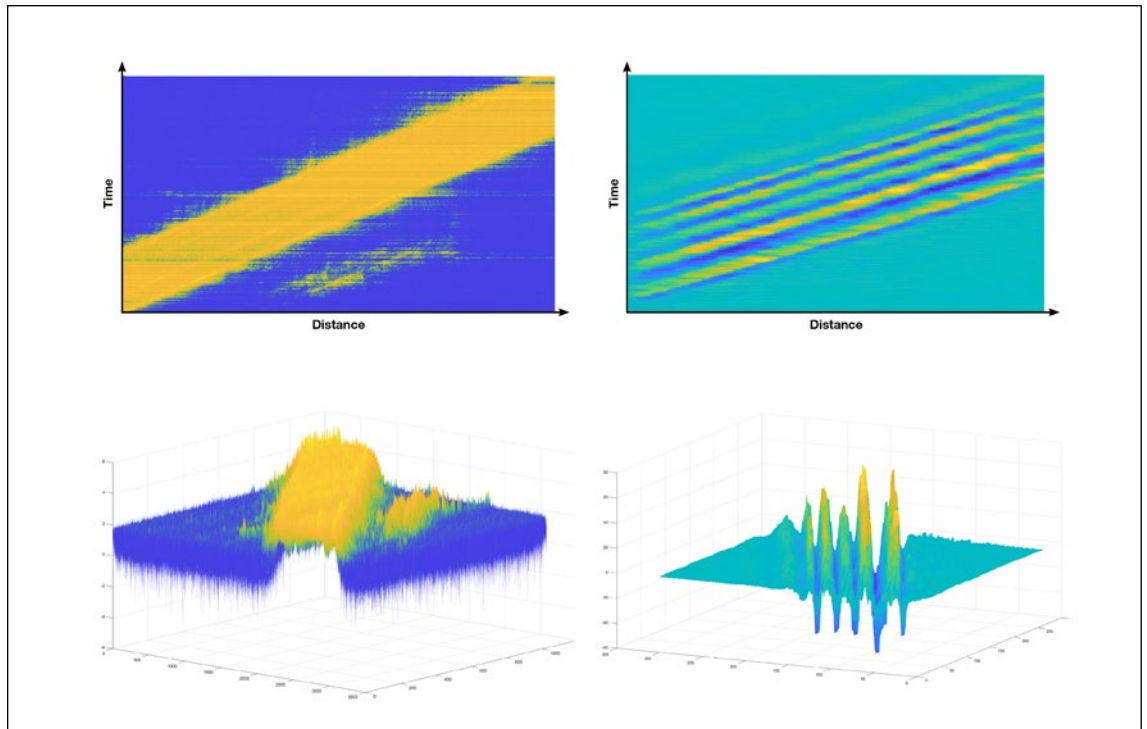
The interrogator box generates laser pulses and couples them in the glass fibre. The laser pulses are subjected to various scattering processes along the glass fibre due to their interaction with the glass matrix [2, 3, 4]. Part of the laser light is scattered back towards the interrogator. The scattering processes within the glass fibre depend on the glass fibre's temperature or its vibrations. The glass fibre reacts to either temperature changes or vibrations depending on the type of evaluation. If the propagation time of the laser pulse is evaluated in addition to the intensity of the backscattered light, this can be used to precisely determine the intensity and location of the scattering process (fig. 1). The laser pulse in the glass fibre therefore transforms the glass fibre into a continuous chain of either thermometers or microphones, depending on the type of evaluation. An 80 km glass fibre thus becomes a chain of over 8000 microphones connected in series. This means that any acoustic events along the fibre can be detected, localised and classified according to their frequencies and intensity patterns [5]. If the fibre optic cable runs along a railway track, the vibrations that occur when a train passes over the track propagate into the ground, reach the sensor cable and influence the backscatter behaviour there. FOS technology makes this change measurable and the train can be located on the track at any time and at any place and thus continuously tracked as it moves along the track.

1.1 The measuring principle used in FOS

One of the most important milestones for the application of FOS in the railway industry was the development of the measurement technology from a so-called qualitative to a quanti-

Bild 2: Quantitative Systeme mit Phasenmessung (rechts) vs. qualitative Systeme ohne Phasenmessung (links)

Fig. 2: Quantitative systems with phase measurement (right) vs. qualitative systems without phase measurement (left)



Eine Glasfaser von 80 km wird so zu einer Kette von über 8000 hintereinander geschalteten Mikrofonen. So können akustische Ereignisse entlang der Glasfaser detektiert, lokalisiert und anhand ihrer Frequenzen und Intensitätsmuster klassifiziert werden [5]. Verläuft das Glasfaserkabel entlang einer Bahnstrecke, pflanzen sich die Vibrationen, die bei der Überfahrt eines Zugs über das Gleis entstehen, ins Erdreich fort, erreichen das Sensorkabel und beeinflussen dort das Rückstreuverhalten. Mit der FOS-Technologie wird diese Veränderung messbar, und der Zug kann entlang der Strecke zu jedem Zeitpunkt und an jedem Ort lokalisiert und damit entlang der Strecke kontinuierlich verfolgt werden.

1.1 Messprinzip FOS

Einer der wichtigsten Meilensteine für die Anwendung von FOS in der Eisenbahnindustrie war die Weiterentwicklung der Messtechnik, von einer sogenannten qualitativen zur quantitativen Messung. Zu Beginn des Einsatzes dieser Technologie im Bahnbereich konnte man zwar eine Veränderung des rückgestreuten Signals detektieren, eine Messung der Amplitude war jedoch nicht möglich. Dies konnte durch eine Veränderung der Messmethode in Zusammenspiel mit einer leistungsstärkeren Hardware zur initialen Signalauswertung erreicht werden. Bild 2 macht den eklatanten Unterschied zwischen den beiden Methoden sichtbar. Es handelt sich hierbei um die Aufnahme desselben Zuges. In der linken Hälfte, der qualitativen Messmethode, sieht man im Waterfall-Diagramm (obere Zeile) zwar den Zug vorbeifahren (gelbes Band), aber ohne genauere Muster der Achsenpaare wie bei der qualitativen Methode (rechte Hälfte). Links strebt die Amplitude zu einem nicht interpretierbaren Wert, wobei rechts Vibrationsberge und -täler erkennbar sind.

Der Einsatz der neuen Messmethode in Kombination mit der verbesserten Signalauswertung und das damit verbesserte Signal-zu-Rausch-Verhältnis ermöglicht nun auch den Einsatz neuer mathematischer Verfahren wie neuronaler Netze zur zuverlässigen Signalauswertung. Ein neuronales Netz ist in der Lage, für jeden Zeitschritt und jeden Ort auszugeben, ob ein Zug vorbeif

tative measurement. When this technology began to be used in the railway sector, it was possible to detect a change in the backscattered signal, but the amplitude could not be measured. This was achieved by changing the measurement method in conjunction with more powerful hardware for the initial signal evaluation. Fig. 2 shows the striking difference between the two methods. This is a recording of the same train. The left-hand side using the qualitative measurement method depicts the passing train (the yellow band) in a waterfall diagram (the upper line), but without the more precise pattern of the axis pairs shown by the qualitative method (the right-hand side). The amplitude on the left tends towards an uninterpretable value, while vibration peaks and valleys are visible on the right.

The use of the new measurement method in combination with the improved signal evaluation and the resulting improved signal-to-noise ratio now also enables the use of new mathematical methods such as neural networks for reliable sig-

InnoTrans 2022
Halle 4.1, Stand 500

WENZEL
ELECTRONIC SYSTEMS

comPAD: use it with gestures – as simple as your smartphone



comPAD-S Dispatcher



RailPAD / comPAD-M Dispatcher

www.wenzel-elektronik.de



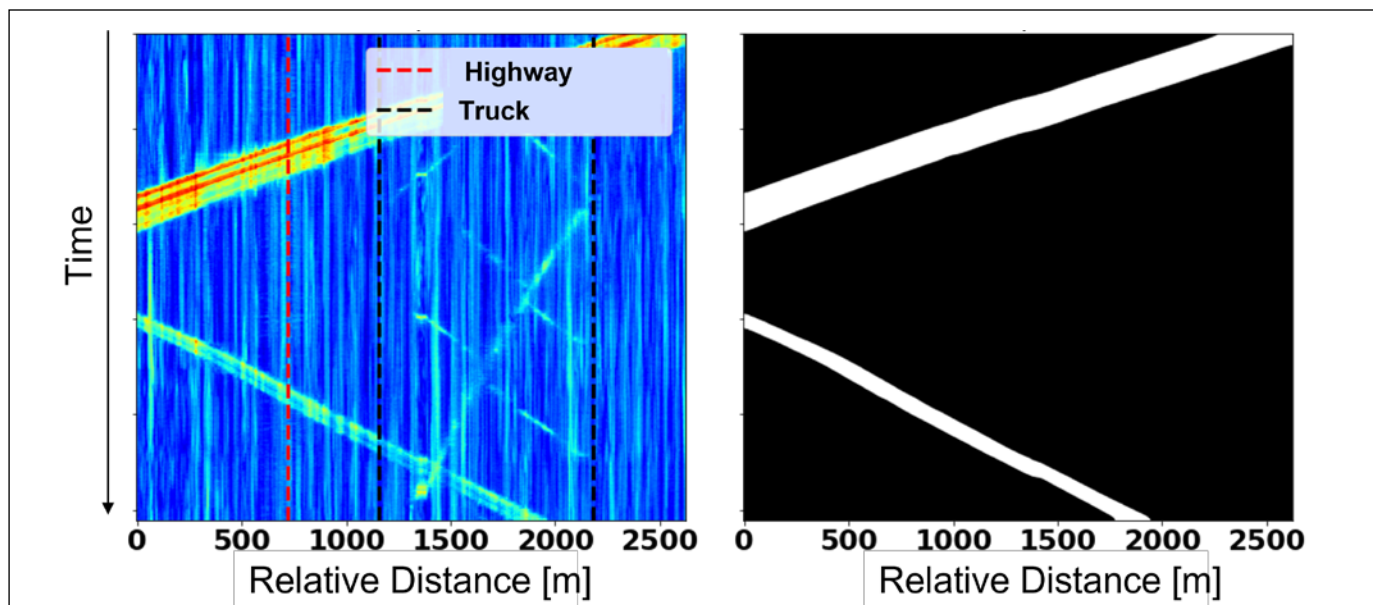


Bild 3: Signatur von Zügen und Umweltgeräuschen (links) und des neuronalen Netzes (rechts)

Fig. 3: The signatures of trains and environmental sounds (left) and the neural network (right)

fährt oder nicht (vgl. Bild 3). Dadurch wird es auch möglich, bisher kritische Messsituationen wie die akustische Signalüberlagerung durch Umgebungsgeräusche, z. B. durch Fahrzeuge oder bei Zugkreuzungen, zu beherrschen.

Zusätzlich können über dieses Ausgabeformat auch implizit Anfang und Ende aller Züge pro Zeitschritt ausgelesen werden. Damit steht heute ein hochwertiger Stand für eine Vielzahl an Anwendungsbereichen zur Verfügung. So können und konnten bereits verschiedene bahnspezifische Anwendungen in vollem Umfang realisiert werden. Zahlreiche laufende Untersuchungen und Entwicklungen zielen weiterhin auf Verbesserungen der Messmethode sowie der dazugehörigen Hardware. Ziel sind noch höhere Wertebereiche der Amplituden, eine höhere räumliche Auflösung mit verbesserter Überhöhung des Signals über dem Hintergrund und beides bei hoher Zuverlässigkeit. Es ist zu erwarten, dass sich die Rechenleistung und der Formfaktor in den nächsten Jahren genauso rasant weiterentwickeln werden und somit FOS noch leistungsfähiger und attraktiver machen.

1.2 Abgleich von Kabel- und Streckenverlauf

In der Regel kommen für FOS im Bahnbereich bestehende Glasfaserkabel zur Anwendung, die für Zwecke der Kommunikation parallel zum Gleis verlegt sind. Diese Praxis führt zu wesentlichen Kostenersparnissen bei der Installation, da keine neuen Kabel verlegt werden müssen. Allerdings ergeben sich daraus auch spezifische Anforderungen. So werden entlang vorhandener Glasfaserkabel oft Spulen hinterlegt. Diese dienen meist als Reserven, die sicherstellen, dass beispielsweise Reparaturen am Kabel einfach und rasch durchgeführt werden können. Bei der Detektion von Zügen mittels FOS führten diese Spulen jedoch zu Differenzen zwischen der im Kabel gemessenen, optischen Distanz und der tatsächlichen Distanz, die ein Zug zurückgelegt hat. Ausgangspunkt ist in beiden Fällen die Sendeeinheit, über die die Glasfaser mit Laserimpulsen beschickt wird.

Zur Lösung dieser Unregelmäßigkeiten wurden entsprechende Stellen vorerst manuell identifiziert und gefiltert. Ziel war die Entwicklung einer Logik, um diesen Arbeitsschritt zu automatisieren. Dazu wurde unter Verwendung Künstlicher Intelligenz (KI)

evaluiert. Ein neuronales Netzwerk ist in der Lage, für jeden Zeitschritt und jeden Ort einen Output zu liefern, ob ein Zug vorbeifährt oder nicht (vgl. Bild 3). Dies macht es auch möglich, zuvor kritische Messsituationen wie die akustische Signalüberlagerung durch Umgebungsgeräusche oder bei Zugkreuzungen zu beherrschen.

Zusätzlich kann über dieses Ausgabeformat auch implizit das Anfangs- und Ende jedes Zuges pro Zeitschritt ausgelesen werden. Damit steht heute ein hochwertiger Stand für eine Vielzahl an Anwendungsbereichen zur Verfügung. So können und konnten bereits verschiedene bahnspezifische Anwendungen in vollem Umfang realisiert werden. Zahlreiche laufende Untersuchungen und Entwicklungen zielen weiterhin auf Verbesserungen der Messmethode sowie der dazugehörigen Hardware. Ziel sind noch höhere Wertebereiche der Amplituden, eine höhere räumliche Auflösung mit verbesserter Überhöhung des Signals über dem Hintergrund und beides bei hoher Zuverlässigkeit. Es ist zu erwarten, dass sich die Rechenleistung und der Formfaktor in den nächsten Jahren genauso rasant weiterentwickeln werden und somit FOS noch leistungsfähiger und attraktiver machen.

1.2 The alignment of the cable and the track layout

As a rule, FOS applications in the railway industry use existing fibre optic cables, which are laid in parallel to the track for communication purposes. This practice leads to significant cost savings during installation, as no new cables need be laid. However, it also results in specific requirements. For example, coils are often placed along the existing fibre optic cables. These usually serve as reserves to ensure that, for example, repairs to the cable can be carried out easily and quickly. However, these coils have led to differences between the optical distance measured in the cable and the actual distance covered by a train during train detection using FOS. In both cases, the starting point is the transmitter unit used to feed the optical fibre with laser pulses.

In order to solve these irregularities, the corresponding sites were first identified and filtered manually. The goal was to develop a logic in order to automate this work step. An algorithm using artificial intelligence (AI) that independently identifies, classifies and filters the patterns occurring at the corresponding

ein Algorithmus entworfen, der an entsprechenden Stellen auftretende Muster selbstständig identifiziert, klassifiziert und filtert (Bild 4). Dadurch wird nicht nur die Exaktheit der Messung weiter gesteigert, sondern auch die Kalibrierungsphase während der Installation wesentlich verkürzt. Neben solchen Spulen stellten auch Abschnitte, in denen der Verlauf des Kabels gänzlich von jenem des Gleises abweicht, eine besondere Herausforderung dar. Zu deren Lösung wurden sogenannte „Geo-Referencing“-Punkte definiert. Dazu wurde die optische Distanz zwischen der Sendeeinheit und definierten Punkten entlang der Faser gemessen. Parallel wurde auch die entsprechende Distanz erhoben, die ein Zug beim Erreichen eines dieser Messpunkte in der Glasfaser tatsächlich am Gleis zurückgelegt hat. Damit konnte an bestimmten Punkten ein Abgleich zwischen der gemessenen und der realen Distanz erfolgen.

Ziel der darauffolgenden Entwicklung war es, die hierfür manuell durchzuführenden Messprozesse zu automatisieren und von der Bestimmung der Zugposition an bestimmten Punkten hin zu einer präzisen und kontinuierlichen Positionserfassung zu gelangen. Dazu wurde eine weitere Logik entwickelt, die einen automatischen und lückenlosen Abgleich zwischen der gemessenen und der am Gleis zurückgelegten Distanz ermöglicht. Die dafür benötigten Daten werden bei ausgewählten Zugfahrten ermittelt. Durch die maschinelle Auswertung können beliebig viele Punkte entlang des Gleises und der Glasfaser berücksichtigt werden, was die Genauigkeit des Systems signifikant erhöht.

1.3 Skalierbarkeit für den Roll-out

In Bezug auf die effiziente Informationsgewinnung aus den umfassenden Rohdaten, die bei der Gleis- und Zugüberwachung mittel FOS entstehen, hat sich der Einsatz intelligenter Algorithmen ebenfalls bewährt. Diese werden heute von führenden Unternehmen mittels neuester Erkenntnisse in den Bereichen Machine Learning, Deep Learning und Supervised Learning trainiert und laufend weiterentwickelt. In der praktischen Anwendung faseroptischer Sensorsysteme stellten sich bald Herausforderungen ein, die sich durch den Einsatz in unterschiedlichen Einsatzgebieten rund um den Globus ergeben. Diverse Einflussfaktoren, die der Algorithmus automatisiert erkennen und filtern muss, um die gewünschten Daten zu interpretieren, variieren je nach Einsatzgebiet der Installation sehr stark. In der Vergangenheit war es daher nötig, entweder unterschiedliche Algorithmen für unterschiedliche Installationen zu erstellen oder diese für jede Installation an die Gegebenheiten anzupassen. Neue Ansätze im Bereich der KI erlauben es Algorithmen zu erstellen, welche mit dieser Variabilität der Signale umgehen können. Dadurch sind diese Lösungen skalierbar und können ohne Installationsaufwand ausgerollt werden. Von einer Verbesserung dieser Algorithmen profitiert jeder Anwender, ohne dass Anpassungen an seine Installation wieder erstellt werden müssen. Diese effiziente Ausrollung der Algorithmen ist Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Einführung FOS-basierter Lösungen.

1.4 Ausblick: Zugvollständigkeit

Schon heute steht fest: Die Genauigkeit des Messsystems geht so weit, dass die Lösungen von Sensonic und AP Sensing auch die Anforderungen an eine zuverlässige und im Zusammenspiel mit geeigneten operativen Regeln und Sensorfusion sichere Detektion der Zugvollständigkeit erfüllt. Bild 5 zeigt die Überfahrt eines Zuges am Beispiel eines Sensonic-FOS-Systems. Es sind sowohl die Detektion der einzelnen Räder über einen Achs-

points was designed for this purpose (fig. 4). This not only further increases the accuracy of the measurements, but also significantly shortens the calibration phase during installation. In addition to such coils, sections where the course of the cable deviates completely from that of the track also posed a particular challenge. So-called “geo-referencing” points were defined in order to solve this. The optical distance between the transmitting unit and the points defined along the fibre was measured for this purpose. At the same time, the corresponding distance that a train had actually travelled along the track when it reached one of these measuring points in the optical fibre was also recorded. This made it possible to compare the measured distance with the real distance at certain points.

The aim of the subsequent development was to automate the measurement processes that had to be carried out manually for this purpose and to move from determining the train's position at specific points to precise and continuous positional detection. Another logic that enables an automatic and seamless comparison between the measured distance and the distance covered on the track has been developed for this purpose. The data required for this has been acquired during selected train journeys. The machine evaluation enables any number of points along the track and the optical fibre to be considered, which significantly increases the system accuracy.

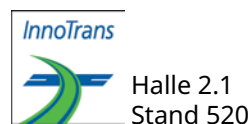


PSItraffic Train Management
Fundament für den
digitalen Schienenverkehr



Foto: A. Reetz-Graudenz

www.psitrans.de/innotrans



Software für die Mobilität von morgen

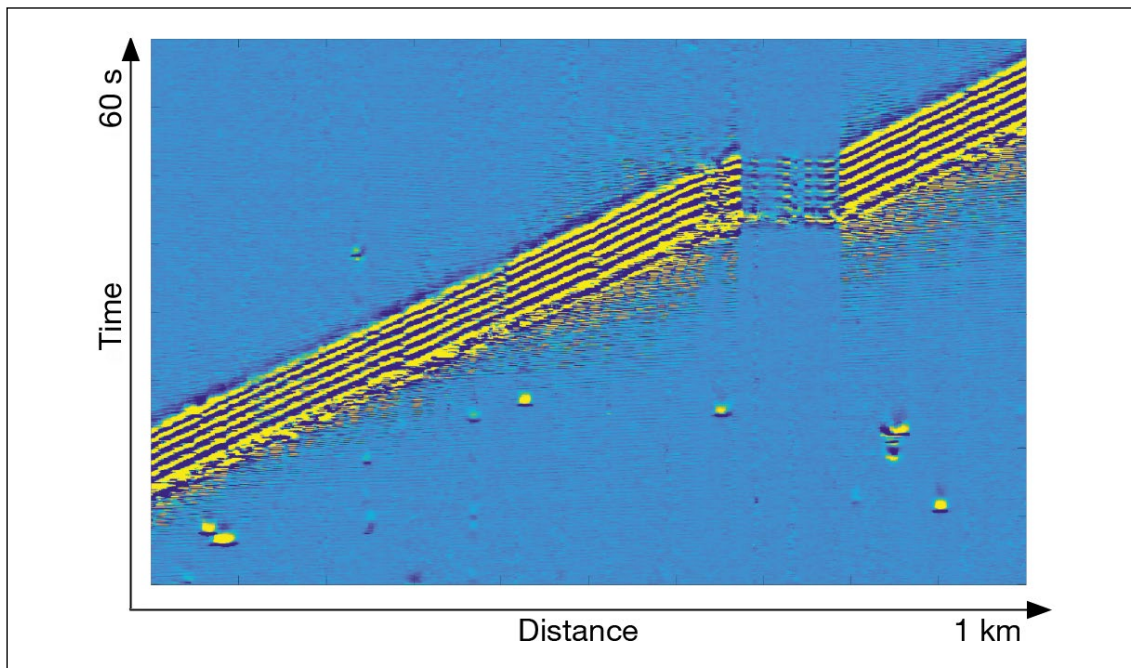


Bild 4: Spulen äußern sich als „Zeitsprung“ und werden algorithmisch gefiltert.

Fig. 4: Coils express themselves as a "time jump" and are filtered algorithmically.

zähler als auch der Energieinhalt der Vibrationen über das FOS-System zu sehen. In der Überlagerung zeigt sich eine hohe Korrelation zwischen den beiden Detektionsergebnissen. Die aktuell eingesetzte FOS-Sensorgeneration liefert bei einer überwiegenden Mehrheit der etablierten Installationen entsprechende Ergebnisse und übererfüllt die Anforderungen an eine sichere Information über die Zugvollständigkeit bei weitem, da dafür eine Bestätigung in Abständen von 100–200 m in der Regel ausreichend ist. Dass sichere Zugortung möglich ist, wurde auch im Bericht des Bundesamts für Materialforschung (BAM) unabhängig bestätigt [5].

2 Aktuelle Projekte

Seit 2014 wird bei der DB Netz AG aktiv der Einsatz faseroptischer Sensorsysteme erforscht. Die bisherigen Erkenntnisse unterstreichen, dass durch FOS zahlreiche Funktionalitäten in nur einem System vereint werden können. Derzeit lassen sich mit „Effizienter Bahnbetrieb“, „Security“ und „Smart Maintenance“ drei Anwendungsgebiete für FOS identifizieren. Vor allem die Fähigkeit, als kontinuierliches Ortungssystem präzise Positionsdaten bereitzustellen, ermöglicht eine Vielzahl von Anwendungen. Eine solche ist z. B. der Einsatz als Reisendenwarnsystem, bei dem die Reisenden am Bahnsteig rechtzeitig vor durchfahrenden Zügen gewarnt werden. Durch die Einführung einer automatischen Reisendenwarnung durch FOS ist neben Kosteneinsparungen gegenüber bisherigen Ansagetechniken auch eine Erhöhung der Qualität der Ansagezeitpunkte zu erwarten. Um die betriebliche Nutzbarkeit für diesen Anwendungsfall abschätzen zu können, wurde im Jahr 2021 zusammen mit DB Station & Service, DB Systel, FOS-Herstellern und der DB Netz ein Proof of Concept (PoC) auf einem Teilstück der Strecke Berlin–Dresden durchgeführt. Auf einer durch DB Systel neu entwickelten IT-Plattform wurden zunächst die aktuellen Zugstanzdaten der FOS-Hersteller mit DB-internen Daten zusammengeführt, sodass im Anschluss eine Prognose des Ankunftszeitpunkts des Zuges am betreffenden Bahnsteig erstellt werden konnte. Diese Berechnungen werden dabei kontinuierlich durchgeführt, und bei Erreichen des vorgegebenen Grenzwerts wird eine entsprechende Warnung ausgege-

1.3 Scalability for a rollout

The use of intelligent algorithms has also proven its worth with regard to the efficient extraction of information from the comprehensive raw data generated by FOS track and train monitoring. Nowadays, they are being trained by leading companies using the latest findings in the fields of machine learning, deep learning and supervised learning and are constantly being further developed. Challenges soon arose in the practical application of the fibre-optic sensor systems used in various fields of application around the globe. The various influencing factors that the algorithms must automatically recognise and filter in order to interpret the desired data vary greatly depending on the installation's area of application. In the past, it was therefore necessary to either create different algorithms for different installations or adapt them to the circumstances in each installation. New approaches in the field of AI have made it possible to create algorithms that can deal with this signal variability. As such, these solutions have become scalable and can be rolled out without any installation costs. Every user benefits from an improvement in these algorithms without having to re-adjust them to their installation. This efficient algorithm rollout is a basic prerequisite for the successful introduction of FOS-based solutions.

1.4 Outlook: train integrity

It is already clear today that the accuracy of the measurement system has come so far that the solutions from Sensonic and AP Sensing also meet the requirements for the reliable and, when interacting with suitable operating rules and sensor fusion, safe detection of train integrity. Fig. 5 shows the passage of a train using a Sensonic FOS system as an example. Both the detection of the individual wheels via an axle counter and the energy content of the vibrations via the FOS system can be seen. The superposition shows a high correlation between the two detection results. The currently used FOS sensor generation delivers corresponding results in a vast majority of established installations and by far exceeds the requirements for reliable information about train integrity, as confirmation at intervals of 100–200 metres is

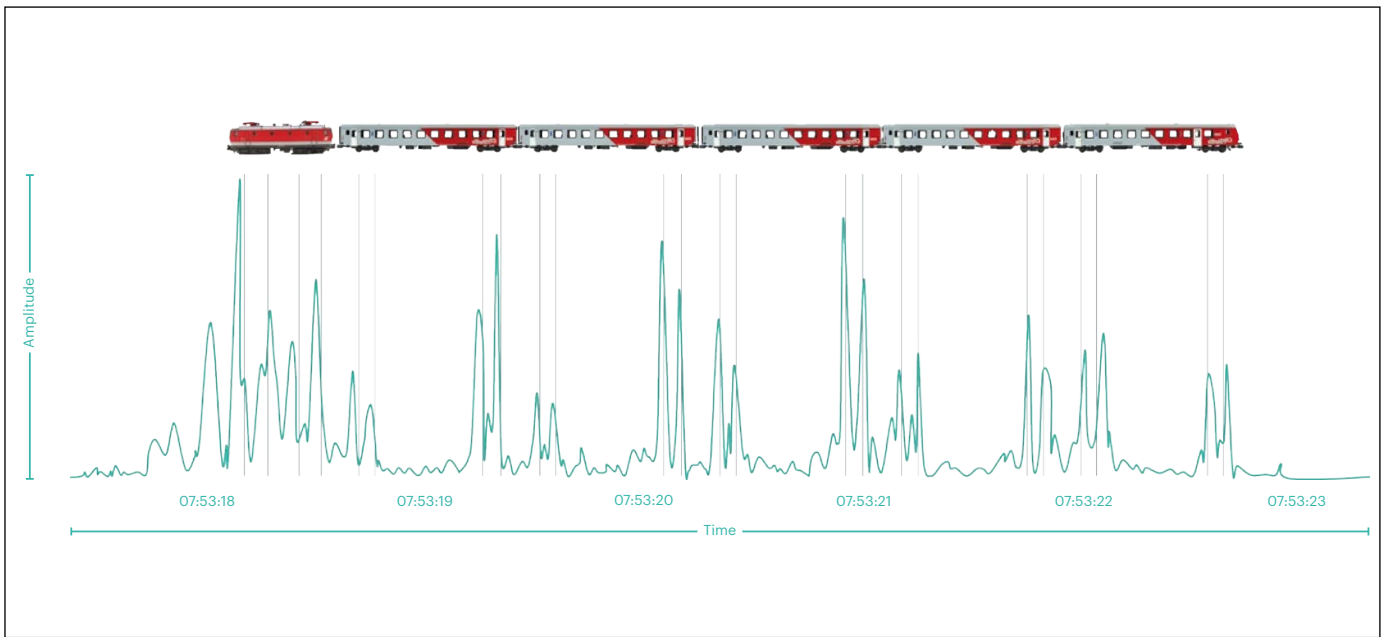


Bild 5: Direkte Messvergleiche mit Achszählern haben ergeben, dass die Sensitivität von FOS den Anforderungen der Zugvollständigkeitsdetektion genügt.

Fig. 5: Direct measurement comparisons with axle counters have shown that the sensitivity of FOS meets the requirements of train integrity detection.

ben. Im Rahmen dieses PoC konnte bereits eine Prognosegenauigkeit von 90 % erreicht und Verbesserungspotenziale konnten identifiziert werden, sodass aktuell davon auszugehen ist, dass im Endzustand eine Prognosegenauigkeit von mindestens 97 % erreicht werden kann.

3 Status der Forschungsprojekte

Parallel zu praktischen Realisierungs- und Pilotprojekten werden Forschungsprojekte betrieben, die Ansätze und Lösungen für sicherheitsrelevante Anwendungsgebiete erarbeiten.

usually sufficient for this. The fact that reliable train detection is possible has also been independently confirmed in a report from the Federal Office for Materials Research (BAM) [5].

2 Current projects

DB Netz AG has been actively researching the use of fibre optic sensor systems since 2014. The findings to date underline the fact that FOS can combine numerous functionalities in just one system. Currently, three areas of FOS application can be identified, namely “Efficient Railway Operations”, “Security” and



On track beyond tomorrow.

Your partner for life.

Get in touch with our experts at InnoTrans and find out more about our solutions and services!

innotrans.frauscher.com

HALL 27
STAND 270



Die Projekte FOSSIL 4.0 (Faseroptische Sensorik für sicherheitsrelevante (Safety Integrity Level) Bahnanwendungen) in Deutschland und Greenlight II in Österreich nutzen jeweils die FOS-Technologie für eine zuverlässige Detektion der Zugposition, Zuggeschwindigkeit und Zuglänge. Ein gemeinsames Teilziel der beiden Projekte ist der sichere Nachweis einer räumlich und zeitlich kontinuierlichen Zugintegrität. Beide Projekte werden in enger Kooperation mit den jeweiligen Infrastrukturbetreibern, der DB Netz und der ÖBB durchgeführt.

FOSSIL hat sich die Erschließung, Nutzbarmachung und Veredlung bahnbetrieblich sicherer FOS-Daten für die Steigerung der Kapazität des vorhandenen deutschen Bahnnetzes zum Ziel gesetzt. Hierzu werden echtzeitnahe Algorithmen entwickelt, welche die FOS-Daten zur räumlich kontinuierlichen Information über die Integrität (Vollständigkeit) qualifizieren. Im Rahmen von FOSSIL wurden die Algorithmen für eine robuste Zugverfolgung in Echtzeit weiter verbessert. Störgeräusche nahe der Strecke, wie sie durch Lastverkehr oder Industrieanlagen verursacht werden, haben keinerlei Einfluss auf die Zugerkenung. Bislang kritische Stellen, wie sie durch die akustische Signalüberlagerung bei Zugkreuzungen und Zugüberholungen entstehen, konnten durch eine spezielle Logik eliminiert werden und haben mittlerweile keinen Einfluss mehr auf die robuste Zugverfolgung. Der Vergleichstest mit einem bildgebenden Verfahren hat gezeigt, dass im Vergleichszeitraum alle Zugfahrten sicher und ortsrichtig erkannt wurden (Bild 6).

Um eine FOS basierte Gleisfreimeldung und Zugintegritätsprüfung zu realisieren, soll das FOS-System in eine DSTW/ETCS-Landschaft integrierbar sein. Dazu wurden die Schnittstellen und Datenübergaben zu den Umsystemen zu ERTMS definiert. Darüber hinaus wurden im Rahmen von FOSSIL ausführliche Gefährdungs- und Risikoanalysen durchgeführt.

Ein großer österreichischer Infrastrukturbetreiber hat es sich in einem spannenden Projekt zum Ziel gemacht, verschiedene Sensorsysteme mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen sowie Safety-Integrity-Level (SIL)-Einstufungen zusammenzuführen. Über mehrere Jahre hinweg wird daran gearbeitet durch diese Sensorfusion einen Nachweis gleicher Sicherheit im Bereich Zugpositionierung zu erreichen. Ziel ist eine SIL4-Zertifizierung des Gesamtsystems und dadurch der Übergang zu Moving-Block-Betrieb auf allen Hauptbahnen in Österreich.



Bild 6: Signalmodulation über die Zeit gemessen mit FOS bei der Zugdurchfahrt

Fig. 6: Signal modulation over time measured with FOS during train passage

“Smart Maintenance”. Above all, the ability to provide precise positional data as a continuous positioning system also enables a multitude of applications. One such application involves its use as a passenger notification system that notifies passengers on the platforms of incoming trains in good time.

The introduction of an automatic passenger notification system at platforms using FOS is expected to result in cost savings compared to previous announcement techniques, as well as the increased quality of announcement timing.

In order to be able to assess the operational feasibility of this use case, a proof of concept (PoC) was carried out on a section of the Berlin – Dresden line in 2021 together with DB Station & Service, DB Systel, FOS manufacturers and DB Netz. The current train location data from the FOS manufacturers was first merged with the DB internal data on an IT platform newly developed by DB Systel so that a forecast of the train’s arrival time at the relevant platform could then be performed. These calculations are carried out continuously and a corresponding notification is issued once the specified limit value has been reached. A forecast accuracy of 90 % was able to be achieved in this PoC and potential for improvement has been identified, so that a forecast accuracy of at least 97 % can currently be assumed to be achievable in the final state.

3 Research project status

Research projects are currently being conducted in parallel to the practical implementations and pilot projects in order to develop approaches and solutions for safety-relevant areas of application.

The FOSSIL 4.0 project in Germany and Greenlight II project in Austria are both using FOS technology for the reliable detection of train position, train speed and train length. A common sub-goal of both projects involves the reliable detection of spatially and temporally continuous train integrity. Both projects are being realised in close cooperation with the respective infrastructure operators, DB Netze and ÖBB. FOSSIL (Faseroptische Sensorik für sicherheitsrelevante (Safety Integrity Level) Bahnanwendungen) has set itself the goal of developing, utilising and refining safe FOS data for railway operations in order to increase the capacity of the existing German railway network. Algorithms that use the FOS data for spatially continuous qualified information about train integrity and are suitable for real-time are currently being developed. The algorithms for robust train tracking in real time have been further improved within the framework of FOSSIL. Noise near the track, such as that caused by heavy traffic or industrial plants, has no influence on the train detection. Previously critical points, such as those caused by any acoustic signal overlap at train crossings and train overtaking points, have been able to be eliminated using a special logic and now have no influence on the robust train tracking. A comparative test with an imaging procedure has showed that all the train movements were detected reliably and correctly in the comparison period (fig. 6).

In order to realise a FOS-based track vacancy detection and train integrity check, the FOS system should be integrable into a DSTW/ETCS landscape. The interfaces and data transfers to the surrounding systems have been defined for ERTMS for this purpose. In addition, detailed hazard and risk analyses have also been carried out as part of FOSSIL.

In an exciting project, a large Austrian infrastructure operator has set itself the goal of combining different sensor systems with

FOS spielt in diesem Projekt eine maßgebliche Rolle. Speziell in Bereichen wie Tunneln, urbanen Umgebungen sowie Bereichen schlechten Empfangs wird erwartet, dass eine genaue Positionierung nur durch FOS gewährleistet werden kann.

Dieses Leuchtturmprojekt greift auf eine Teststrecke zurück, die über knapp 100 km alle erdenklichen Szenarios bedient. Dazu zählen Tunnel, mehrgleisige Abschnitte und urbane sowie freie Umgebungen, welche im Mischverkehr befahren werden. FOS hat schon in einer Vorstudie gute Ergebnisse geliefert und Messzüge in einem schwingungsgedämpften Tunnel detektiert.

Jedoch sind die Herausforderungen in diesem Projekt groß. Dies gilt besonders für die Schnittstellen zwischen den unterschiedlichen Sensorsystemen. Hier muss auf eine gemeinsame Grundlage in Position und Zeit zurückgegriffen werden. FOS kann hier als einziges streckenseitiges System seine Vorteile als stationärer Sensor ausspielen und zu einer deutlichen Reduktion der Komplexität beitragen.

4 Systemintegration in Bestandssysteme und Neuentwicklungen

„Daten sind das neue Öl“ sagen Presse, Forschungseinrichtungen und Anwender unisono. Geht es nach der Menge der Daten, so ist ein FOS-System im Bahnbereich eine Cash-Cow. Durchschnittlich 4 Terabyte (TB) Daten liefert ein einziger Überwachungsabschnitt von ca. 80 km – pro Tag. Doch die Datenmenge allein bringt noch keinen Nutzen. Sie müssen strukturiert, indiziert und relevant sein. Der eigentliche Nutzen ergibt sich dann aus dem Anwendungsfall (Use Case), der in der Regel mehr als eine Datenquelle benötigt. Die zeitgerechte Reisendenwarnung benötigt zum Beispiel Informationen zum eingestellten Fahrweg, um die Geschwindigkeits- und Ortsinformationen des FOS-Systems in eine ETA (Estimated Time of Arrival) überführen zu können. Der eigentliche Nutzen ist dann die rechtzeitige Warnung der Reisenden am Bahnsteig. Dafür muss das System automatisiert auf die Ansage zugreifen können. Die Systemintegration an geeigneten Schnittstellen ist somit der entscheidende Faktor. FOS ist kein stand-alone-System, sondern ein Team-Player. Es befähigt Bestandssysteme und Neuentwicklungen durch die Anreicherung der Prozesse und Prozessdaten mit kontinuierlichen Informationen entlang des Gleises. Auch solche Anwendungen, die für sich allein funktionsfähig sind, wie beispielsweise Schienenbruchde-

a variety of advantages and disadvantages, as well as different Safety Integrity Level (SIL) classifications. Work is being done over the course of several years to acquire proof of equal safety in the area of train positioning by means of this sensor fusion. The goal is SIL4 certification of the entire system and thus a transition to Moving Block operations on all the main lines in Austria. FOS is playing a crucial role in this project. The expectation is that accurate positioning can only be ensured by means of FOS, especially in areas such as tunnels, urban environments and areas of poor reception.

This lighthouse project is making use of a test track that serves all conceivable scenarios over a distance of almost 100 km. This includes tunnels, multi-track sections and both urban and open environments that are used in mixed traffic. FOS has already provided good results in a preliminary study and detected the measurement trains in a vibration-damped tunnel.

However, the challenges in this project are great. This is especially true for the interfaces between the different sensor systems. Here, a common positional and temporal basis must be used. FOS is the only trackside system that can exploit its advantages as a stationary sensor and contribute to a significant reduction in complexity.

4 System integration into existing systems and new developments

“Data is the new oil” say the press, research institutions and users in unison. When it comes to the amount of data, a FOS system in the railway sector is a cash cow. On average, a single monitoring section of about 80 km delivers 4 terabytes (TB) of data - per day. But the amount of data alone does not bring any benefit. It must be structured, indexed and relevant. The actual benefit then comes from the use case, which usually requires more than one data source. A timely passenger announcement at the platform, for example, needs information on the set route in order to be able to convert the speed and location information from the FOS system into an ETA (estimated time of arrival). The real value then lies in the timely notification of the passengers on the platform. The system must be able to access the announcement automatically in order to achieve this. System integration at suitable interfaces is therefore the decisive factor. FOS is not a stand-alone system, but a team player. It em-



Drive digital rail forward. Gain a wide range of actionable expertise from a single source.

NEXTRAIL's leading teams of seasoned experts develop pioneering solutions for railway and infrastructure operators.

Visit us at InnoTrans in Berlin, 20 – 23 Sep. Hall CityCube A, Stand 270

Start digitizing now: [nextrail.com](https://www.nextrail.com)



tektion oder Flachstellendetektion, sind dann wirklich effizienzsteigernd, wenn sie in den Dateninformationsverbund integriert werden.

Für Bestandssysteme müssen hierfür häufig proprietäre Schnittstellen bedient werden. Ein Aufwand, der sich lohnt und durch die bahnunternehmeneigenen IT-Abteilungen effizient unterstützt werden kann. So kann für Tests zügig eine Erstimplementierung erfolgen und anschließend die vollständige Systemintegration übernommen werden.

Für Neuentwicklungen und zukünftige Systeme unterstützen die FOS-Systeme typische Schnittstellen, wie OPC-UA (Open Platform Communications – Unified Architecture). Im Greenlight-Projekt der ÖBB werden beispielsweise die FOS-Daten, neben vielen weiteren Informationen, über Standard-API in die Sensorkombination eingebunden, um höchstmögliche Präzision und Verfügbarkeit der Ortungsdaten zu erhalten.

Als System mit einer Vielzahl an Anwendungen stellt die Gewerkezuordnung häufig eine Herausforderung dar. Auch wenn das FOS-System Daten für das Oberbau-Monitoring liefert, ist es noch kein System des Oberbaus. Betrachtet man die Dienstleistung, die das FOS-System bietet, neutral, handelt es sich um ein IT-System, das unter Nutzung von Telekommunikationsinfrastruktur (Lichtwellenleiter, LWL) Dienstleistungen erbringt und dabei COTS (Commercial-off-the-Shelf)-Hardware für die Datenaufbereitung und Weiterleitung verwendet. Die Zuordnung als Telekommunikationssystem erscheint daher als logisch. Mit dieser Zuordnung ist auch weiterhin eine Datenlieferung an sicherheitsrelevante Anwendungen, wie beispielsweise Ortung und Zugintegrität, möglich. Andere Initiativen und Entwicklungen im Bahnbereich zeigen, dass nicht das System oder die Hardware entscheidend für die Klassifikation ist, sondern die Anwendung. Die darunterliegenden Systeme sollen möglichst austauschbar bleiben [1].

5 Was bringt FOS4R?

Die Faseroptische Sensorik zeichnet sich durch ihre Vielfältigkeit der Anwendungsgebiete aus. Der Nutzen erstreckt sich von Diagnostik von Ingenieurbauwerken über Oberbau-Monitoring hin zu Diagnostik und Analyse im Bahnverkehr für Infrastruktur und Fahrzeuge bis zu sicherheitsrelevanten Anwendungen der Leit- und Sicherungstechnik. Gerade dieser große Umfang stellt Anbieter und Nutzer gleichermaßen vor Herausforderungen, da die einfache Zuordnung zu Gewerken, Erstellung von Business Cases und User Stories zu einem komplexen Gebilde werden.

Der Verein Fibre Optic Sensing for Railways e.V. (FOS4R) bietet Nutzern, Anbietern und Forschung eine gemeinsame Plattform zum Wissensaustausch, strategischer Entwicklung, Projektgestaltung und Projektakquise. Darüber hinaus fördert der Verein die Standardisierung für die einfache Integration von FOS-Systemen in das Bahnumfeld. Einerseits werden hierfür die Ausgabeinformationen für typische Use Cases, wie Ort oder Geschwindigkeit, standardisiert, andererseits wird die Integration in weiterführende Standardisierungsaktivitäten auf europäischer Ebene unterstützt. Konkret sollen hier die definierten Schnittstellen in EULYNX und RCA bedient werden, sodass eine nahtlose Integration möglich ist.

6 Zusammenfassung

FOS hat in mehreren Anwendungsbereichen in Europa nachweisen können, dass die Technologie bereit für den Regelbetrieb ist. Die größte Herausforderung stellt die Systemintegration dar –

powers existing systems and new developments by enriching processes and process data with continuous information along the track. Even those applications that function on their own, such as rail break detection or flat spot detection, are truly efficiency enhanced when they are integrated into the data information network.

Proprietary interfaces often have to be operated for existing systems. This is an effort that is worthwhile and can be efficiently supported by the railway companies' own IT departments. In this way, the initial implementation can be implemented quickly for tests and a complete system integration can then be adopted.

FOS systems support typical interfaces such as OPC-UA for new developments and future systems. For example, FOS data and a lot of other information is integrated into the sensor combination via a standard API in the ÖBB Greenlight project in order to obtain the highest possible precision and availability of the positioning data.

As a system with a multitude of applications, trade classification can often present a challenge. Even though the FOS system provides data for superstructure monitoring, it is not yet a superstructure system. Looking at the service that the FOS system provides neutrally, it is an IT system that provides services using telecommunication infrastructure (LWL) and COTS (Commercial-off-the-shelf) hardware for data processing and forwarding. Its classification as a telecommunications system therefore seems logical. The delivery of data to safety-relevant applications, such as tracking and train integrity, is still possible with this classification. Other initiatives and developments in the railway sector show that it is not the system or the hardware that is decisive for the classification, but the application. The underlying systems should remain as interchangeable as possible [1].

5 What are the benefits of FOS4R?

FOS technology is characterised by the diversity of its applications. The benefits range from the diagnostics of engineering structures to superstructure monitoring, diagnostics and analysis in rail traffic for infrastructure and vehicles and safety-relevant applications in control and safety technology. It is precisely this wide scope that poses challenges for providers and users alike, as the simple assignment to trades and the creation of business cases and user stories become a complex entity.

The Fibre Optic Sensing for Railways e.V. (FOS4R) association offers users, suppliers and researchers a common platform for knowledge exchange, strategic development, project design and project acquisition. Furthermore, the association promotes standardisation for the easy integration of FOS systems into the railway environment. On the one hand, the output information for typical use cases, such as location or speed, has been standardised, while integration into further standardisation activities is supported at the European level on the other hand. Specifically, the defined interfaces in EULYNX and RCA are to be served here so that seamless integration is possible.

6 Summary

FOS has been able to prove that the technology is ready for regular operations in several application areas in Europe. The greatest challenge lies in system integration – the diverse areas of ap-

die vielfältigen Anwendungsgebiete sprengen übliche Systemgrenzen. In Verbindung mit ersten Realisierungsprojekten und der Anbindung an Standardschnittstellen der europäischen Standardisierungsinitiativen ist die Eintrittsschwelle gesunken. Die Zeit für die Migrationsplanung ist bereit. FOS ist ready to go! ■

plication extend beyond the usual system boundaries. The entry threshold has been lowered in connection with the initial realisation projects and the connection to the standard interfaces from European standardisation initiatives. The time for migration planning is ready. FOS is ready to go! ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Steffens, S.; Suess, T.; Eschmann, F.; Marsch, P.: SIL4 Data Center – Eine neue Plattform-Architektur für sichere Bahnanwendungen, SIGNAL+DRAHT (113), 10/2021, https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/Signal%26Draht_113_10_21_SIL4DataCenter.pdf
- [2] Drapp, B.; Leitner, L.; Maleschitz, M.: Monitoring of high-voltage cables with optical fibres, Elektrische Bahnen (119), 4/2021, p 152 ff.
- [3] Hartog, A.H.: An Introduction to distributed optical fibre sensors, p 161 ff, CRC Press, ISBN 978-1-4822-5957-5
- [4] Hartog, A.; Kotov, O.; Kumovich, L.: The Optics of Distributed Vibration Sensing, The materials of proceedings of the second EAGE Workshop on Permanent Reservoir Monitoring
- [5] Kowarik, S. et al.: Fiber Optic Train Monitoring with Distributed Acoustic Sensing: Conventional and Neural Network Data Analysis, Sensors (Basel, Switzerland) 20 (2020): n. pag.

AUTOREN | AUTHORS

Andy Lämmerhirt

Projektleiter / *Project Manager* Fiber Optic Sensing (FOS)
DB Netz

Anschrift / *Address*: Mainzer Landstraße 205, D-60326 Frankfurt am Main
E-Mail: andy.laemmerhirt@deutschebahn.com

Max Schubert

Geschäftsführer / *Managing Director*
INCYDE GmbH

Anschrift / *Address*: Schaumainkai 91, D-60596 Frankfurt am Main
E-Mail: max.schubert@incyde.com

Bernd Drapp

Innovation Director
AP Sensing GmbH

Anschrift / *Address*: Herrenberger Straße 130, D-71034 Böblingen
E-Mail: bernd.drapp@apsensing.com

Rene Zeilinger

Chief Technical Officer (CTO)
Sensonic GmbH

Anschrift / *Address*: Bahnhofstraße 57a, A-4780 Schärding
E-Mail: rene.zeilinger@sensonic.com



InnoTrans 2022 – The Future of Mobility
20.–23. September



Besuchen
Sie uns!
Halle 25
Stand 525

**Erleben Sie
unsere innovative
Weichenheizung**

- Powerheizen
- Wärmenetzmodell
- Wetterdatenanbindung
- Energiemanagement

www.esa-grimma.de