

# Zustandsüberwachung im regulären Betrieb

DLR und SBB erproben kostengünstige Multi-Sensor-Systeme für die Zustandsüberwachung mit regulären Schienenfahrzeugen.

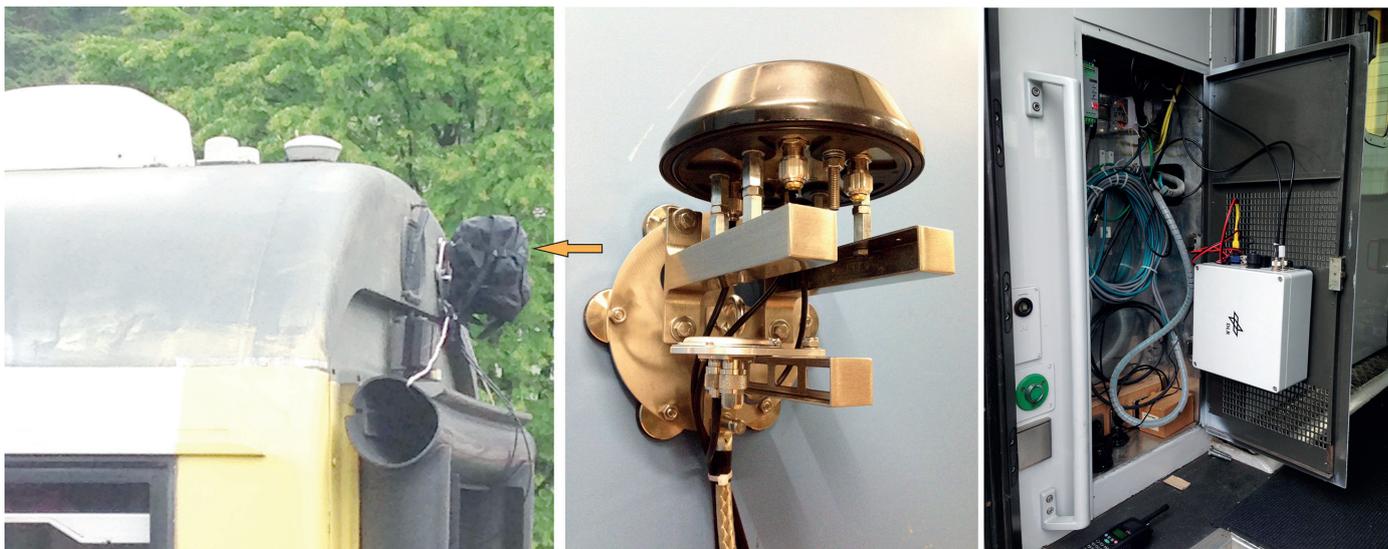


Abb. 1: Prototyp eines kostengünstigen portablen Multi-Sensor-Messsystems (rechts) zur Georeferenzierung mit portabler Antennen-Halterung (Mitte) am ÖBB Oberbaumesswagen EM250 (links)

JÖRN C. GROOS | LARS JOHANNES |  
STEPHAN ADAM

**Kostengünstige Multi-Sensor-Systeme auf regulären Schienenfahrzeugen können zukünftig eine quasi-kontinuierliche Zustandsüberwachung des Gleisoberbaus ermöglichen. Voraussetzung ist die Entwicklung automatischer Verfahren zur zuverlässigen Gewinnung der relevanten Informationen aus den umfangreichen Sensor-Daten. Dies umfasst sowohl die gleisgenaue Georeferenzierung der erhobenen Messdaten als auch die Ableitung von Informationen zum Streckenzustand. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB AG) kooperieren bei der Erprobung von Multi-Sensor-Systemen und Analyseverfahren zur Zustandsüberwachung im operativen Umfeld. Aktuelle Messfahrten zeigen, dass eine gleisgenaue Georeferenzierung mit sehr kostengünstigen Systemen bereits weitgehend aber noch nicht vollständig möglich ist.**

In Europa werden etwa 50% der gesamten Lebenszykluskosten des Gleisoberbaus für dessen Instandhaltung aufgewendet. Die Beseiti-

gung von Fehlzuständen der Gleisgeometrie und der Schiene (z.B. Rollkontaktermüdung, Riffel) sind dabei besonders kostenintensiv. Seit einigen Jahren wird daher verstärkt der Ansatz verfolgt, durch eine zustandsabhängige präventive Instandhaltung die Kosten sowie Ausfallzeiten deutlich zu verringern [1 – 3]. Dabei werden im Idealfall nur frühzeitig geplante und tatsächlich notwendige Wartungsarbeiten zum optimalen Zeitpunkt und vor Ausfall der Anlage durchgeführt. Dafür sind eine gute Kenntnis des aktuellen Zustands aller Anlagen sowie eine zuverlässige Prognose [4] der weiteren Zustandsentwicklung notwendig. Eine grundlegende Voraussetzung dafür ist eine quasi kontinuierliche flächendeckende Zustandsüberwachung des Gleisoberbaus mit Messsystemen auf regulär verkehrenden Schienenfahrzeugen [5 – 7].

Die flächendeckende operative Umsetzung dieses Konzepts setzt kostengünstige, robuste und wartungsarme Systeme voraus. Die direkte Nutzung etablierter Sensorsysteme von dezidierten Gleisoberbau-Messfahrzeugen ist insbesondere aus Gründen der Kosten und der Wartungsaufwände nicht sinnvoll. Kostengünstige eingebettete Sensorsysteme auf regulären Schienenfahrzeugen werden zukünftig sehr große Datenmengen erzeugen, deren Qualität jedoch nicht die der Daten moderner

Messfahrzeuge erreichen wird. Die aktuellen Herausforderungen für die Umsetzung einer quasi-kontinuierlichen Zustandsüberwachung des Gleisoberbaus liegen neben der Entwicklung geeigneter Sensorsysteme selbst somit in der Bereitstellung zuverlässiger Algorithmen für die automatische Aufarbeitung, Auswertung und Archivierung großer Datenmengen [8].

Am Institut für Verkehrssystemtechnik des DLR wird intensiv an Systemen für die Erfassung von Sensordaten mit Schienenfahrzeugen [9, 10], der Georeferenzierung der damit erhobenen Messdaten [11, 12] sowie geeigneten Datenmanagement-Systemen [13] geforscht. Für die Zustandsüberwachung des Gleisoberbaus mit regulären Schienenfahrzeugen werden Ansätze unter Verwendung von Achslager-Beschleunigungen untersucht [14, 15]. Von besonderer Bedeutung für die Entwicklung geeigneter Algorithmen ist dabei die frühzeitige Erprobung entsprechender Ansätze und Verfahren mit Messdaten aus dem operativen Umfeld. Gemeinsam mit den SBB erprobt das DLR in einer ersten Phase kostengünstige, portable Multi-Sensor-Systeme die eine mit Messzug-Systemen vergleichbare Georeferenzierung der auf regulären Schienenfahrzeugen erhobenen Messdaten ermöglichen sollen [12].

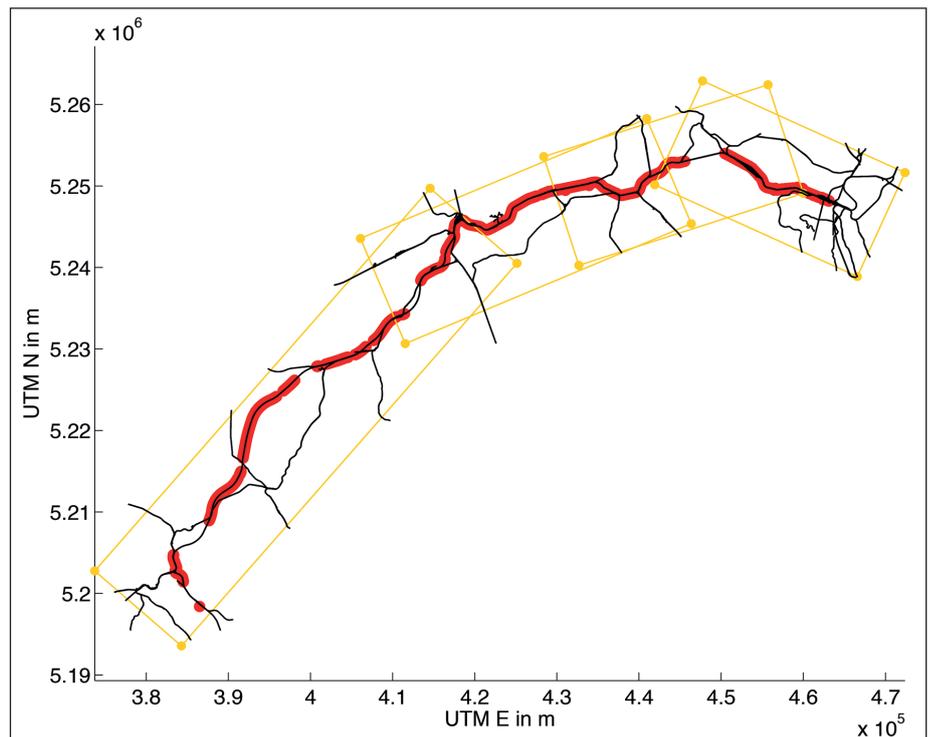
### Portables Multi-Sensor-System

Ein bereits im vergangenen Jahr auf dem Diagnosefahrzeug DFZ der SBB AG erprobtes kostengünstiges Multi-Sensor-System [12] wurde zu einem portablen System weiterentwickelt (Abb. 1).

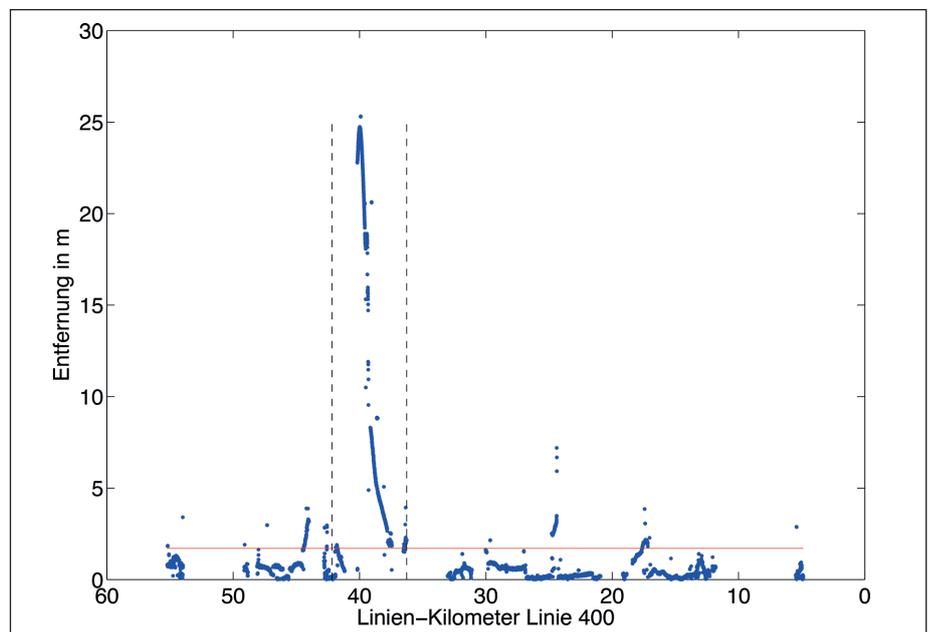
Mit einer Größe von  $25 \times 25 \times 15 \text{ cm}^3$  und einem Gewicht von unter 4 kg (ohne portable Antennenhalterung) kann das System problemlos transportiert und kurzfristig installiert werden. Das System besteht vollständig aus handelsüblichen Hardware-Komponenten (Gesamtkosten unter 1700 EUR). Die Software-Umgebung (C++) für die Datenerfassung und Datenkommunikation wurde vollständig am DLR entwickelt. Eine werkseitige Integration derartiger eingebetteter Systeme in moderne Schienenfahrzeuge ist unter Einbindung der bereits vorhandenen Komponenten (z. B. Multi-Band-Bahnantennen) mit sehr geringen Mehrkosten möglich. Die Umsetzung als portables Messsystem ermöglicht die schnelle und problemlose dauerhafte oder vorübergehende Ausrüstung von Bestandsfahrzeugen z. B. für Messkampagnen.

Eine erste Erprobung des neuen Messsystem-Prototyps im operativen Umfeld fand im Rahmen einer gemeinsamen Messkampagne von ÖBB (Österreichische Bundesbahnen) und SBB im Mai 2016 in der Schweiz statt. Dabei wurde das System samt portabler Antennenhalterung mit einer Rüstzeit von unter 30 Minuten auf dem Oberbaumesswagen EM250 der ÖBB installiert (Abb. 1). Das hier getestete System in der Grundausführung – ohne weitere fahrzeuggetragene Geschwindigkeits-Sensorik – ermöglicht die Georeferenzierung der Fahrt unter freiem Himmel sowie kurzen Tunneln mit Durchfuhrungsdauern von unter 15 Sekunden. In der Grundausführung erfasst das System die Fahrzeugbeschleunigungen und -drehraten sowie die Umgebungsbedingungen (Luftdruck und Temperatur) mit 20 Hz. Weiterhin verfügt das System über eine bahntaugliche Multiband-Antenne für Ortung (Globale Navigations-Satelliten Systeme – GNSS) und Kommunikation (Mobilfunk und WLAN). Der GNSS-Empfänger bestimmt dabei nicht nur wie sonst üblich die aktuelle Position, Geschwindigkeit und Fahrtrichtung des Fahrzeugs, sondern zeichnet sämtliche von den GNSS-Satelliten (Satelliten-Systeme GPS, Global Positioning System und GLONASS, Global Navigation Satellite System) empfangenen Informationen („GNSS-Rohdaten“) wie z. B. die Trägerphasen der Signale auf. Die Datenerfassung erfolgt dabei mit 10 Hz deutlich häufiger als bei sonst üblichen Systemen zur Verfolgung von Fahrzeugpositionen z. B. für Logistikanwendungen. Über die GNSS-Signale stellt das System weiterhin eine hochgenaue Zeitstempelung der erfassten Daten relativ zur koordinierten Weltzeit UTC (Universal Time Coordinated) bereit.

Die Systemplattform verfügt über umfassende Schnittstellen in Hard- und Software für den



**Abb. 2:** GNSS-Positionen (Punkte, rot) entlang der am 2. Mai 2016 befahrenen Strecke von Zürich nach Ostermündigen bei Bern sowie für die gleisgenaue Georeferenzierung erforderlichen relevanten Gleisstränge

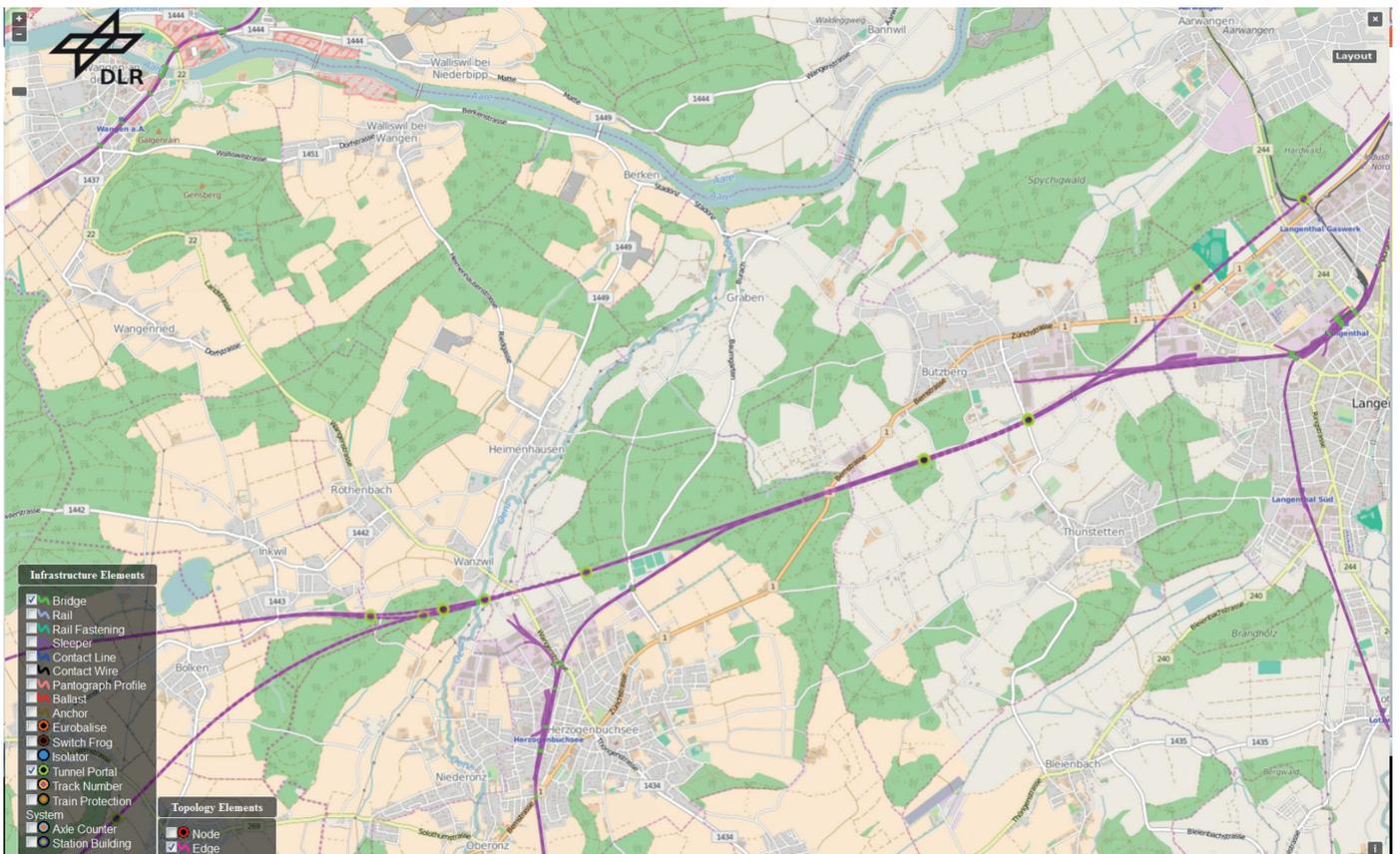


**Abb. 3:** Entfernung der bestimmten GNSS-RTK-Positionen zur befahrenen Schnellfahr-Strecke Linie 400 Löschligut – Wanzwil – Rothrist

Anschluss von weiteren Sensoren wie z. B. ein Doppler-Radar für die Fahrzeuggeschwindigkeit, Lesegeräte für ETCS-Balisen (European Train Control System), weiteren Beschleunigungssensoren am Fahrzeug sowie einer Kamera für die optische Umfeld-Erfassung. Damit kann das System individuell und zielgerichtet für die Erfassung von Informationen zum Zustand des Gleisoberbaus erweitert werden.

### Georeferenzierung

Für die Einbindung zahlreicher regulärer Schienenfahrzeuge in die quasi-kontinuierliche Zustandsüberwachung des Gleisoberbaus müssen die Messsysteme ausreichende Sensordaten für eine gleisgenaue Georeferenzierung der erhobenen Messdaten bereitstellen. Dies ist eine Grundvoraussetzung, um die über die Zeit erhobenen Messdaten in einem korrekten räumlichen Zu-



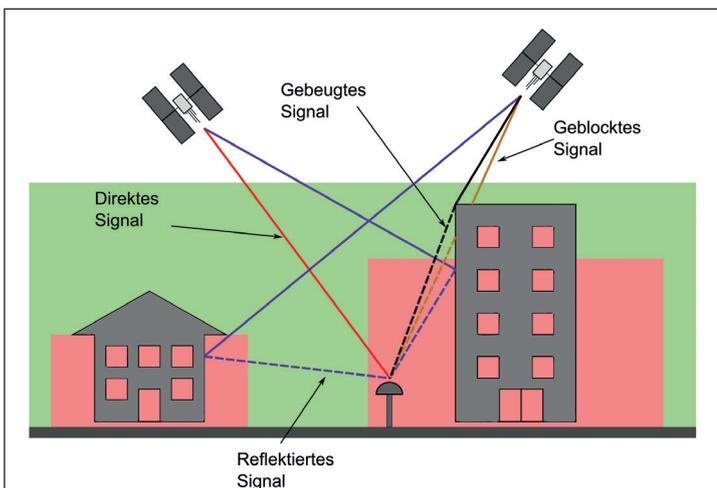
**Abb. 4:** Streckenabschnitt der Linie 400 (Linienkilometer 42 bis 36) im Bereich Wanzwil mit schwierigen GNSS-Empfangssituationen aufgrund zahlreicher kurzer Tunnel (Tunnelportale, grüne Punkte) sowie Straßenunterführungen (Hintergrundkarte: Open Street Map [18])

sammenhang auswerten und somit die zeitliche Zustandsentwicklung korrekt erfassen zu können. Die Auswertung der während der Fahrt erhobenen Sensor-Rohdaten erfolgt dabei im Nachhinein („Post-Processing“). Dies erlaubt unter anderem eine Echtzeitkinematik-Auswertung (Real-Time-Kinematic – RTK, [12, 16]) der GNSS-Rohdaten unter Verwendung von in Europa flächendeckend vorhandenen Referenzstationen und korrigierter Satelliten-Bahn-Daten. Damit ist streckenweise die Bestimmung hochgenauer Positionsdaten (erreichbare Genauigkeiten besser als 20 cm) möglich. Die direkt auf dem Fahr-

zeug ohne die Verwendung von Korrekturdaten erzeugten GNSS-Positionen, sogenannte Stand-Alone-Positionen, weisen häufig systematische Positionsfehler in der Größenordnung einiger Meter auf. GNSS-RTK-Lösungen stellen somit eine Kernkomponente für eine kostengünstige und robuste gleisgenaue Georeferenzierung von Messdaten dar.

In Abb. 2 sind die am 2. Mai entlang der Fahrtstrecke von Zürich nach Bern erfassten GNSS-Positionen dargestellt. Mit dargestellt sind die für die gleisgenaue Georeferenzierung relevanten Gleisstränge aus der digitalen Karte

der schweizerischen Gleisinfrastruktur. Die in Abb. 3 dargestellten Entfernungen der GNSS-RTK-Positionen zu den tatsächlich befahrenen Gleissträngen entlang der etwa 50 km langen Schnellfahrstrecke 400 (Löchlig – Wanzwil – Rothrist) verdeutlichen jedoch, dass eine gleisgenaue Georeferenzierung alleine anhand von GNSS-RTK-Positionen nicht erreicht werden kann. Um eine korrekte Zuordnung der GNSS-Positionen zu Gleissträngen zu ermöglichen müssen Distanzen unter dem halben Mindestgleisabstand erreicht werden (rote Linie in Abb. 3). Insbesondere im Bereich Wanzwil (Linien-Kilometer 42 bis 36, Abb. 4) treten aufgrund der schwierigen Umgebungsbedingungen – kurze Abfolge von Tunneln und Straßenunterführungen bei Fahrgeschwindigkeiten über 100 km/h – jedoch signifikante systematische Verfälschungen der GNSS-Positionen auf. Die Untersuchungen der in der Schweiz erhobenen Messdaten haben gezeigt, dass insbesondere GNSS-RTK-Positionen, die mit weniger als acht sichtbaren Satelliten berechnet wurden, noch erhebliche systematische Fehleranteile in der Größenordnung mehrerer Meter enthalten können. Dies beinhaltet sowohl einzelne fehlerhafte Positionen als auch längere Fahrabschnitte mit mehreren aufeinanderfolgenden Positionen. Bei der Messfahrt am 2. Mai konnten etwa 10 % der bestimmten GNSS-RTK-Positionen nicht den tatsächlich befahrenen Gleissträngen auf Linie 400 zugeordnet werden.



**Abb. 5:** Mehrwegeausbreitung, Beugung und Blockierung von Satellitensignalen

# we make processes work

Wir freuen uns auf Ihren Besuch!  
**Halle 22, Stand 707**



Die streckenbasierten Systeme von Schenck Process ermitteln zuverlässig die sicherheitsrelevanten Beladezustände von Zügen und detektieren gleichzeitig verlässlich Kraftstöße, ausgelöst beispielsweise von schadhafte Rädern. Präzises Messen und eichgenaues Wägen? Wir bieten zur internen Kontrollwägung ebenso wie für eichfähige Verwägung die Verrechnungsbasis von Einzelwaggons und Zugverbänden. Leise, komfortabel und verschleißarm rollende Züge sind das Ergebnis intensiver Entwicklungsarbeit. Schenck Process unterstützt Fahrzeughersteller und Wartungswerkstätten mit zuverlässigen Messungen im Rahmen der Drehgestellprüfung und Ecklastermittlung. [www.schenckprocess.com](http://www.schenckprocess.com)



**DERAILMENT PROTECTION**



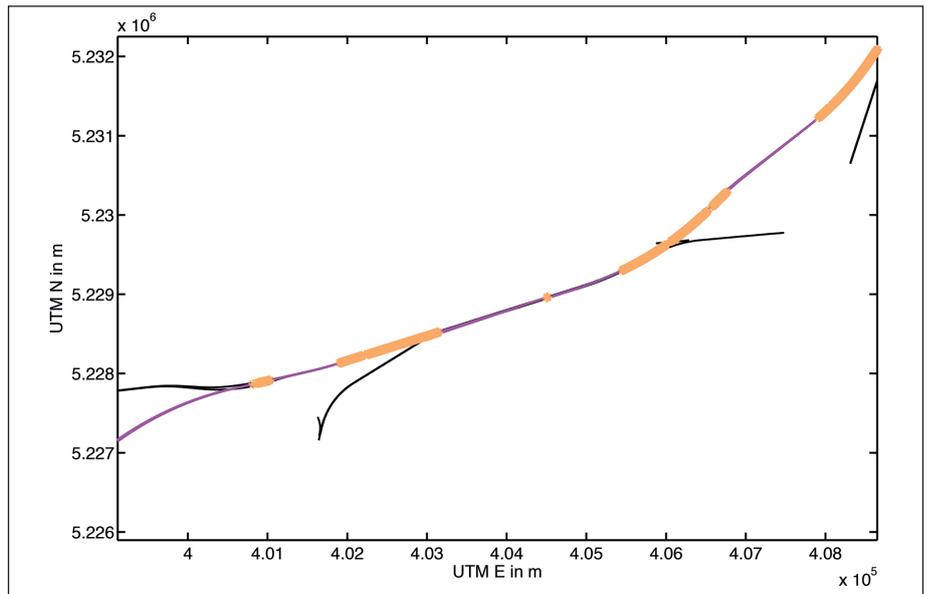
**TRADE & TRUST**



**WORKSHOP TEST EQUIPMENT**

**Beeinträchtigung von GNSS-Systemen**

Ursache dafür sind die im Schienenverkehr im Vergleich zu den anderen Verkehrsträgern sehr ungünstigen Randbedingungen für den Einsatz von GNSS-Systemen. Insbesondere der Fahrdraht, Fahrleitungsjoche, Straßenunterquerungen und Tunnel schaffen dabei eine komplexe Situation in Bezug auf die Abschattung, Reflexion und Beugung der Signale. In urbanen Gebieten wie im Umfeld von Hauptbahnhöfen wird die Situation dabei durch hohe Bebauungen häufig weiter verschärft. Die Radiosignale der Satelliten müssen, um eine genaue Position zu erhalten, den Empfänger auf direktem Wege erreichen (Abb. 5). Kommt es auf dem Signalweg zur Interaktion mit Häusern oder Bäumen (rote Gebiete), so wird das Signal in der Regel geschwächt und die Signallaufänge aufgrund von Reflektionen verlängert (lila und schwarz gestrichelte Linien in Abb. 5). Teilweise kann das Signal auch vollkommen blockiert werden (braune Linie). Die Anzahl der eigentlich auf diesem Standpunkt, bei freier Sicht, sichtbaren Satelliten wird reduziert. Die Geometrie zur Berechnung der Position wird ungünstig beeinflusst und führt anschließend zu einer schlechteren Genauigkeit der Position, bis hin zu einem Positionsverlust. Ein noch ausreichender Signalempfang ist in Abb. 5 mit grünen Flächen dargestellt. Das europäische Satellitensystem Galileo wird zu mehr sichtbaren Satelliten führen und somit zu einer besseren Ausleuchtung



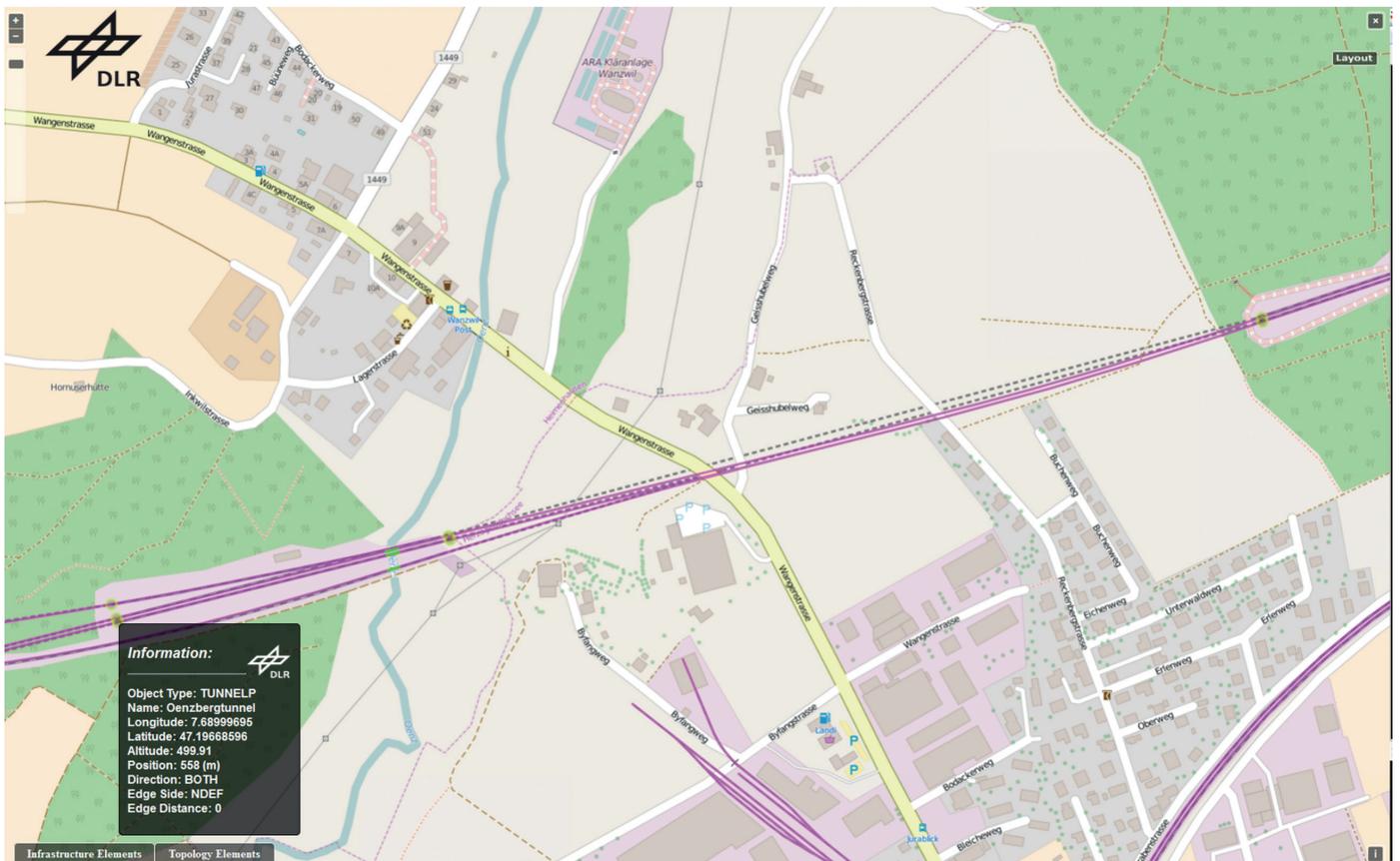
**Abb. 6:** Mittels eines Extended Kalman Filter aus Geschwindigkeit und Drehrate des Fahrzeuges bestimmte Position (Linie, Magenta) und die ebenfalls eingegangenen GNSS-RTK-Positionen (orange) im Bereich Wanzwil

von Gebieten mit schlechtem Signalempfang. Allerdings wird die höhere Anzahl an Satelliten die schlechte Geometrie, wie durch sehr enge Häuserlagen bedingt, nur geringfügig kompensieren können. Die genannten Effekte, auch als Multi-Path-Effekte bezeichnet, beeinflussen nicht nur die direkte Bestimmung von

GNSS-Positionen direkt auf dem Fahrzeug, sondern auch von im Post-Processing bestimmte GNSS-RTK-Positionen negativ.

**Multi-Sensor-Georeferenzierung**

GNSS-Positionen sind für eine durchgehende gleisgenaue Georeferenzierung somit nicht



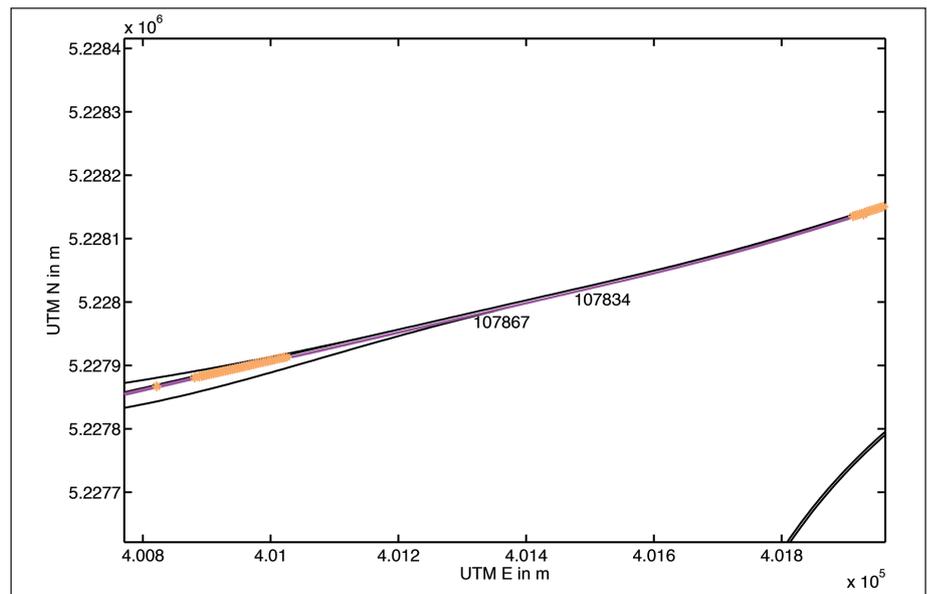
**Abb. 7:** Detailausschnitt aus Abb. 4 mit Strangwechsel im Gishübeltunnel sowie Übergang zum Oenzbergertunnel

Hintergrundkarte: Open Street Map [18]

ausreichend. Zur Stützung der Georeferenzierung in Bereichen mit unzureichendem GNSS-Empfang sind zusätzliche Sensoren, z.B. zur Messung der Fahrzeug-Geschwindigkeit und -Drehraten, notwendig. Bei der Multi-Sensor-Georeferenzierung werden relative – z.B. Geschwindigkeit und Drehrate sowie absolute, z.B. GNSS-Positionen, ETCS-Balisen – Sensorbeobachtungen mittels eines Erweiterten Kalman Filters (EKF), [12, 17] zu einer gemeinsamen Lösung fusioniert. Fahrabschnitte ohne GNSS-Empfang bzw. ohne valide GNSS-Positionen können somit überbrückt und die Gleisgenauigkeit gewahrt werden. In Abb. 6 ist die Überbrückung (Magenta) der Streckenabschnitte mit unzureichendem GNSS-Empfang (GNSS-Positionen in orange) im Bereich Wanzwil (Abb. 4) dargestellt. Besondere Bedeutung kommt dabei der korrekten Erfassung von Gleisstrang-Wechseln an Weichen zu. In Abb. 7 ist der Nahbereich des Gishübeltunnels mit einer im Tunnel liegenden Weiche sowie dem darauffolgenden Übergang zum Oenzbergtunnel dargestellt. Die auf diesem Fahrabschnitt mittels der Fahrzeugbewegungen vom EKF bestimmten Positionen stellen dabei sowohl den korrekten Gleisbezug bei Überfahrt der Weiche als auch Verfolgung des Tunnelverlaufs her (Abb. 8).

Bei der Anwendung kostengünstiger Sensorik und insbesondere bei temporären portablen Anwendungen sind die alleine anhand der Sensor-Messungen überbrückbaren Fahrstrecken dabei auf einige dutzend bis im günstigsten Fall wenige hundert Meter begrenzt. Ursache dafür sind im Wesentlichen die Messungenauigkeiten der eingesetzten kostengünstigen Inertial-Messeinheiten. Im Vergleich zu Mittelklasse-Inertial-Messeinheiten mit 1500 bis 3000 EUR sowie Oberklasse-Inertial-Messeinheiten mit bis zu 100000 EUR betragen die Kosten hier unter 150 EUR.

Die Herstellung einer gleisgenauen Georeferenzierung sowie des Gleisbezugs (Gleisstrang und Kilometrierung) setzen weiterhin die Verwendung einer digitalen Streckenkarte in einem Mehr-Schritt-Verfahren voraus. In einem ersten Schritt werden anhand der digitalen Karte und unter Berücksichtigung des spurgebundenen Fahrverhaltens grob fehlerhafte einzelne GNSS-Positionen automatisch erkannt und entfernt. Weiterhin werden mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit befahrene Gleisstränge identifiziert. Die durchgehende Identifizierung aller befahrenen Gleisabschnitte sowie die abschließende Positionierung erfolgt in einem zweiten Schritt durch den EKF in Verbindung mit einem Hypothesenverfahren. Anhand der digitalen Karte werden die verbliebenen, nach wie vor auch mit systematischen Fehlern behafteten GNSS-Positionen schrittweise anhand der Ergebnisse des jeweiligen vorherigen Schrittes der EKF-Datenfusion beurteilt. Durch das Verwerfen bzw. Abwerten nicht plausibler GNSS-Positionen können die befahrenen Abschnitte schlussendlich identifiziert und mit

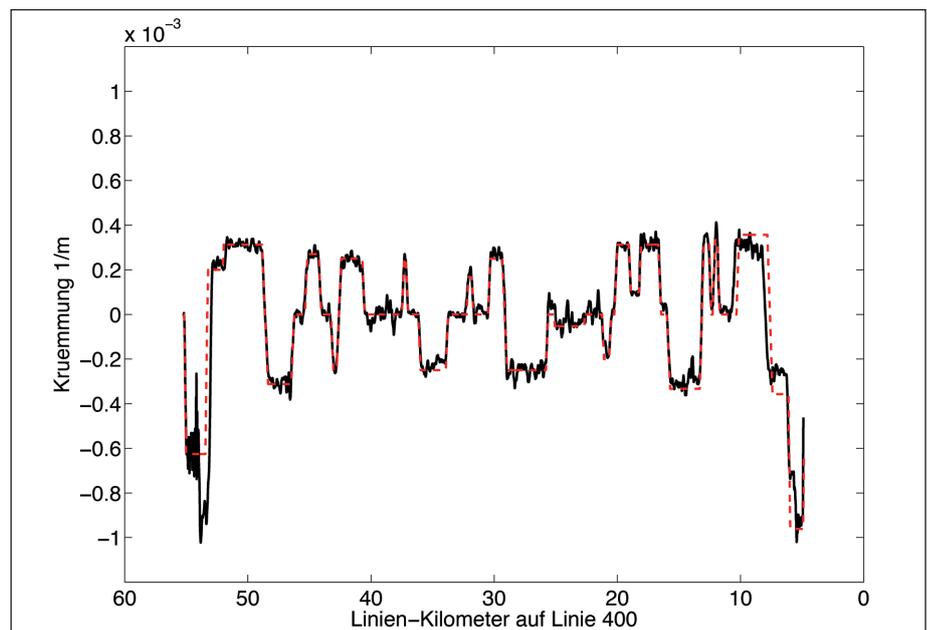


**Abb. 8:** Mittels Extended Kalman Filter aus Geschwindigkeit und Drehrate bestimmte Position (Linie, Magenta) des Fahrzeugs im Gishübeltunnel

der bekannten Topologie des Gleisnetzes verknüpft werden. Das Verfahren soll zukünftig neben den Ungenauigkeiten in der Sensorbasierten Georeferenzierung weiterhin die unvermeidbaren Ungenauigkeiten der digitalen Karte, z.B. nicht abgebildete kurzfristige Baumaßnahmen, laufende Neu- und Umbauten etc. berücksichtigen. Die Entwicklung und Erprobung der entsprechenden Algorithmen anhand der Messdaten aus dem operativen Umfeld stellt aktuell einen Schwerpunkt der Forschungstätigkeit am Institut für Verkehrssystemtechnik dar.

Die schlussendlich vom System bereitgestellten Informationen zur Georeferenzierung,

bestehend aus Geokoordinaten, Gleisbezug (Strang-Nr. und Kilometrierung) und befahrender Krümmung, entsprechen vom Umfang denen dezidiert Gleisoberbau-Messfahrzeuge wie dem Diagnosefahrzeug DFZ der SBB AG. Insbesondere das Krümmungsprofil entlang der Strecke erlaubt eine unabhängige Validierung des hergestellten Gleisbezuges und eine Korrelation von Messdaten unterschiedlicher Messfahrten bzw. Messfahrzeuge (Abb. 9). Ziel der weiterführenden Forschungstätigkeiten sind Untersuchungen zur im Mittel erreichbaren Qualität der Georeferenzierung insbesondere im Vergleich zu den Daten dezidiert Messfahrzeuge.



**Abb. 9:** Bereitgestelltes Krümmungsprofil (rot) im Vergleich zum Soll-Profil (Schwarz) zur Validierung der erhaltenen Georeferenzierung und des Gleisbezuges auf Linie 400

### Erfassung des Gleisoberbaustands

Das Institut für Verkehrssystemtechnik arbeitet an der Entwicklung und Erprobung von neuen Datenanalyseverfahren für die automatische Überwachung des Gleiszustands hinsichtlich kurzweiliger Gleis- und Schienenfehler (Wellenlänge  $< 2$  m) anhand von dynamischen Fahrzeugreaktionen (Beschleunigungen). Eine prototypische Implementierung bestehend aus einem Multi-Sensor-Messsystem auf einer Rangierlok im operativen Einsatz liefert die für die Entwicklung notwendigen Rohdaten. Die aktuellen Haupt-Herausforderungen liegen bei der sicheren Ursachen-Unterscheidung sich ähnelnder dynamischer Fahrzeugreaktionen sowie der Erhebung und Berücksichtigung räumlich und zeitlich variabler Randbedingungen wie z. B. Fahrzeuggeschwindigkeit und Radverschleiß. Die alleinige Auswertung der gemessenen dynamischen Fahrzeugreaktionen mit nur einer Analyse-Methode, z. B. der Wavelet-Analyse, ist dafür nicht ausreichend. Vielmehr müssen die Vorteile der verschiedenen Datenanalyse-Methoden mittels einer nachgelagerten intelligenten Datenanalyse unter Hinzunahme weiterer Sensordaten, z. B. Fahrzeuggeschwindigkeit und Bestandsinformationen, z. B. Gleistrassierung, geeignet kombiniert werden. Am DLR wird dazu an hybriden Datenanalyse-Verfahren geforscht. Bei diesen Ansätzen werden modellgestützte Analyse-Verfahren wie die Inversion von Messdaten (Abb. 10) mit rein datengetriebenen Analyseverfahren wie z. B. der Wavelet-Analyse kombiniert. Ziel dieses Ansatzes ist es, durch den Einsatz von Modellen den Einfluss relevanter Randbedingungen wie z. B. der Fahrzeuggeschwindigkeit bei der Datenanalyse systematisch zu erfassen. Dem theoretischen Potential dieser Ansätze stehen im operativen Einsatz erhebliche Herausforderungen bei der hinreichend genauen Modellierung und insbesondere Parametrierung der Modelle entgegen. Diesbezüglich forscht das DLR an modernen Verfahren für Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalysen [15].

### Fazit

Kostengünstige Multi-Sensor-Systeme auf regulären Schienenfahrzeugen haben das Potenzial, zukünftig eine quasi-kontinuierliche Zustandsüberwachung des Gleisoberbaus zu ermöglichen. Dank moderner Technologien wie MEMS-Sensorik (Micro-Electro-Mechanical Systems) und eingebetteter Systeme sind die technischen Voraussetzungen für die Umsetzung entsprechender Systeme grundsätzlich gegeben. Aktuelle Herausforderungen sind die Entwicklung automatischer Verfahren zur zuverlässigen Gewinnung der relevanten Informationen aus den mit erheblichen Unsicherheiten belasteten umfangreichen Sensor-Daten. Dies betrifft zum einen die Bereitstellung einer robusten, gleisgenauen Georeferenzierung der erhobenen Messdaten als auch die Ableitung von Informationen zum Zustand der befahrenen Strecken. Beide Aspekte sind aktuelle Forschungsschwerpunkte

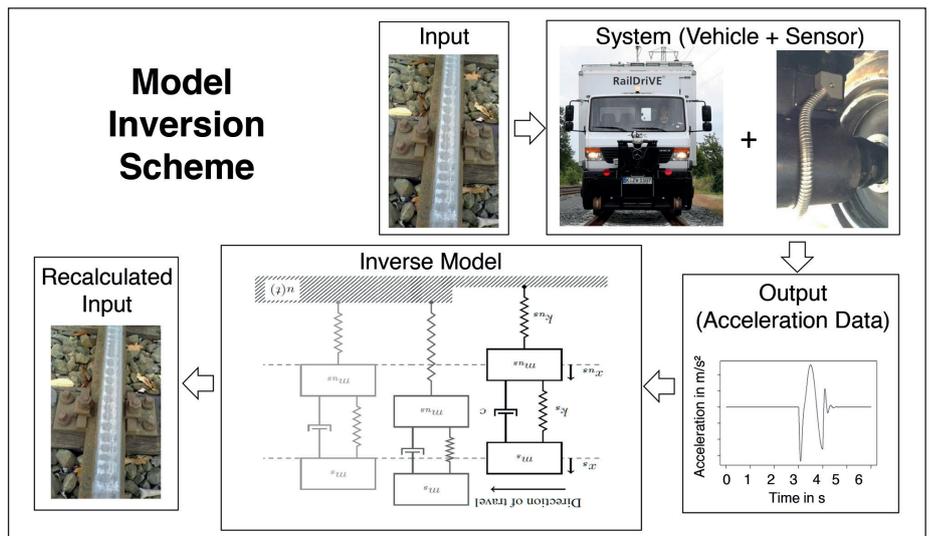


Abb. 10: Prinzip der modellbasierten Analyse von Achslagerbeschleunigungen zur Erkennung von kurzweiligen Gleis- und Schienenschäden

am DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik. Das DLR und die SBB AG kooperieren bei der Erprobung von Multi-Sensor-Systemen und Analyseverfahren zur Zustandsüberwachung im operativen Umfeld. Anhand aktueller Messfahrten kann gezeigt werden, dass eine gleisgenaue Georeferenzierung mit sehr kostengünstigen Systemen bereits weitgehend, aber noch nicht vollständig möglich ist. Insbesondere für den Einsatz von Satelliten-Navigationssystemen ungünstige Umgebungen wie eng bebauter urbane Räume erfordern eine Weiterentwicklung der verfügbaren Analyse-Verfahren. ■

### QUELLEN

- [1] Schenkendorf, R.; Böhm, T.: Aspekte einer datengetriebenen, zustandsabhängigen Instandhaltung: (Teil 1) Informative Merkmalsextraktion als Basis einer zuverlässigen Zustandsdiagnose. In: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR, Heft 11/2014, S. 14–18
- [2] Lüddecke, K.; Böhm, T.: Vom Sensor bis zur Entscheidung: Effizienz in der gesamten Verarbeitungskette. In: Signal+Draht 106, Heft 7+8/2014, 7+8, S. 10–14
- [3] Schenkendorf, R.; Linder, C.; Böhm, T.: Potenziale, Techniken und Algorithmen für die Zustandsdiagnose und -prognose bei LST-Elementen. In: Eisenbahn Ingenieur Kalender 2015, S. 159–172
- [4] Schenkendorf, R.; Böhm, T.: Aspekte einer datengetriebenen, zustandsabhängigen Instandhaltung: (Teil 3) Zustandsdiagnose und -prognose. In: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR, Heft 5/2015, S. 43–49
- [5] WOLTER, K. U.; Erhard, F.; Gabler, H.; Hempe, T.: Fahrzeugseitige Überwachung der Infrastruktur im Regelbetrieb: Kontinuierlich inspizieren – Instandsetzung gezielt planen – Qualität und Nachhaltigkeit prüfen. In: ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, Heft 7+5/2014, S. 32–36
- [6] Boronakhin, A.; Filatov, Y.; Filippenya, N.; Podgornaya, L. N.; Zyuzev, G.: Das neue Gleisgeometriemesssystem RailwayTrack: Die Bestimmung der Gleisgeometrieparameter und ihrer geografischen Positionen erfolgt mit moderner mikromechanischer Sensortechnik. In: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR, Heft 12/2012, S. 28–31
- [7] Linder, C.; Oehler, A.: Klassifikation von Oberbaufehlern am Beispiel Weichen. In: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR, Heft 11/2014, S. 19–22
- [8] Landskron, T.: Instandhaltung 4.0 im Schienenverkehr: Von Big Data zu Smart Data. In: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR, Heft 6/2016, S. 23–25
- [9] Lüddecke, K.; Kluge, A.: Mobiles Labor RailDrive – synchrone Erfassung von Sensordaten. In: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR, Heft 1/2014, S. 46–49
- [10] Kluge, A.; Johannes, L.: Innovative minimale Rechnerplattformen für den Einsatz im Bahnbereich. In: Signal+Draht 107, Heft 12/2015, S. 6–11
- [11] Lüddecke, K.; Rahmig, C.; Lemmer, K.: Hochgenaue und integrierte Ortung für den Schienenverkehr der Zukunft. In: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR, Heft 9/2012, S. 72–75
- [12] Johannes, L.; Almeida, E.; Groos, J.C.; Adam, S.: Georeferenzierte Erfassung von Messdaten mit Schienenfahrzeugen: Ein kostengünstiges Multi-Sensor-System zur gleisgenauen Georeferenzierung wird auf dem Diagnosefahrzeug DFZ der SBB erprobt. In: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR, Heft 11/2015

[13] Schubert, Lucas; Rahmig, C.; Scholz, M.: Zentrales Echtzeit-Datenmanagement für Anwendungen im Bahnverkehr. In: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR, heft 6/2016, S. 26–30

[14] Schenkendorf, R.; Groos, J. C.; Johannes, L.: Strengthening the Rail Mode of Transport by Condition Based Preventive Maintenance. In: IFAC-PapersOn-Line 48 (2015), Nr. 21, S. 964–969

[15] Schenkendorf, R.; Groos, J. C.: Global Sensitivity Analysis applied to Model Inversion Problems: A Contribution to Rail Condition Monitoring. In: International Journal of Prognostics and Health Management 6 (2015), Nr. 4

[16] Bauer, M.: Vermessung und Ortung mit Satelliten: Globale Navigationssatellitensysteme (GNSS) und andere satellitengestützte Navigationssysteme. 6., neu bearb. und erw. Aufl. Berlin [u.a.]: Wichmann, 2011

[17] Welch, G.; Bishop, G.: An Introduction to the Kalman Filter: TR 95-041. Chapel Hill, 2006

[18] www.openstreetmap.org/copyright: (c) OpenStreetMap contributors



Dr. rer. nat. Jörn C. Groos  
joern.groos@dlr.de



Dr.-Ing. Lars Johannes  
lars.johannes@dlr.de

Wissenschaftliche Mitarbeiter  
Deutsches Zentrum für Luft- und  
Raumfahrt DLR e.V.  
Institut für Verkehrssystemtechnik  
Braunschweig



Dipl.-Phys. Stephan Adam  
SBB Infrastruktur, SBB AG  
Infrastruktur / Mess- und  
Diagnostik, CH-Schweiz  
stephan.adam@sbb.ch

**RAWIE®**  
SINCE 1882

# GET IN TOUCH WITH SAFETY!



BERLIN  
20.-23.09.2016  
HALL 26  
BOOTH NO. 302

