

Georeferenzierte Erfassung von Messdaten mit Schienenfahrzeugen

Ein kostengünstiges Multi-Sensor-System zur gleisgenauen Georeferenzierung wird auf dem Diagnosefahrzeug DFZ der SBB erprobt.

Lars Johannes
Eduardo Almeida
Jörn C. Groos
Stephan Adam

In Europa werden etwa 50 % der gesamten Lebenszykluskosten des Gleisoberbaus für dessen Instandhaltung aufgewendet. Die Beseitigung von Fehlzuständen der Gleisgeometrie und der Schiene – z. B. Rollkontaktermüdung, Riffel – sind dabei besonders kostenintensiv. Eine unzureichende Instandhaltung hat gravierende Auswirkungen auf die Gesamtlebensdauer sowie die Verfügbarkeit der Anlagen. Seit einigen Jahren wird daher verstärkt der Ansatz verfolgt, durch eine zustandsabhängige präventive Instandhaltung die Kosten sowie Ausfallzeiten deutlich zu verringern [1, 2, 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. Voraussetzungen dafür sind eine quasi kontinuierliche flächendeckende Zustandsüberwachung [5] sowie die Zusammenführung aller relevanten Informationen zur Gleisinfrastruktur und Gleisnutzung [2].

Im Zuge der zunehmenden Digitalisierung sowie der Einführung neuer Technologien hat die Menge an erhobenen Daten und Informationen zum Zustand und zur Nutzung

der Gleisinfrastruktur massiv zugenommen [2]. Insbesondere die Überwachung des Gleisoberbaus mit Messsystemen auf regulär verkehrenden Schienenfahrzeugen rückt dabei zunehmend in den Fokus [5], [6, 7]. Die heute bereits verfügbaren sowie in naher Zukunft zusätzlich verfügbar werdenden Daten bieten die Chance, die flächendeckende Zustandsüberwachung des Gleisoberbaus deutlich zu verbessern. Gleichzeitig stellt die Zusammenführung der häufig in gewachsenen „Insellösungen“ vorhandenen Daten eine große Hürde für die Nutzung in der Praxis dar [2]. Hierfür sind der Einsatz offener Datenaustauschformate (z. B. RailML [8]) sowie die Entwicklung moderner Datenmanagement-Systeme erforderlich.

Neben der in der Praxis häufig sehr heterogenen Datenhaltung ist eine zuverlässige räumliche und zeitliche Zuordnung der aus verschiedenen Quellen stammenden Daten und Informationen eine nicht-triviale Herausforderung. Bei der Erhebung von Informationen zum Gleisoberbauzustand mit Sensoren auf Fahrzeugen ist die Sicherstellung einer einheitlichen gleisgenauen Georeferenzierung aller Daten ein noch unzureichend gelöstes Problem. Insbesondere für den flächendeckenden Einsatz auf regulär verkehrenden Fahrzeugen müssen kostengünstige Multi-Sensor-Systeme und Verfahren entwickelt werden. Diese sollen unter Verwendung von auf Schienenfahrzeugen ohnehin vorhandenen Sensoren – z. B. für die Fahrzeuggeschwindigkeit – sowie handelsüblicher Industrietechnolo-

gie (Components-of-the-shelf, COTS) eine zuverlässige gleisgenaue Georeferenzierung mit Genauigkeiten in Längsrichtung von 3 m und besser ermöglichen.

Multi-Sensor-Messsysteme

Am Institut für Verkehrssystemtechnik des DLR e.V. wird intensiv an Verfahren zur Ortung von Schienenfahrzeugen [9] sowie zur Erfassung von Sensordaten mit Schienenfahrzeugen [10] geforscht. Dabei wurde für die Datenerfassung mit dem Zwei-Wege-Forschungsfahrzeug RailDrive [10] eine leistungsfähige modulare Software-Umgebung entwickelt (Abb. 1).

Die Software-Umgebung (C++) setzt auf herstellerunabhängigen IT-Standards auf und ist auch von der Hardware der gewählten Systemplattform unabhängig. Sie erlaubt die Umsetzung anwendungsgerechter Hardware-Konzepte basierend auf handelsüblichen Komponenten und üblichen Linux-Betriebssystemen. Die Messsysteme bestehen abhängig von der konkreten Anwendung aus bahnzertifizierten, leistungsstarken PC-Systemen oder energieeffizienten Einplatinen-Systemen. Die Systeme verfügen über eine unterbrechungsfreie Stromversorgung oder Batteriebetrieb sowie 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 des Fahrzeugs, sondern zeichnet sämtliche von den Satelliten (GPS, GLONASS) empfangene

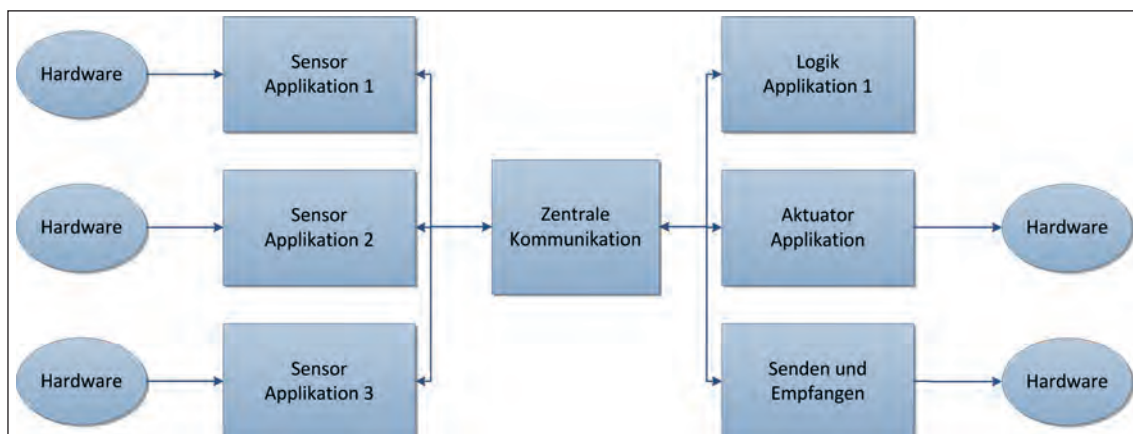


Abb. 1: Modulare Software-Umgebung des Forschungsfahrzeugs RailDrive [10]

nen Informationen („GNSS-Rohdaten“) wie z. B. die Trägerphasen der Signale mit auf. Dies erlaubt im Nachhinein durch eine Echtzeitkinematik-Auswertung (Real-Time-Kinematic, RTK, [11]) unter Verwendung von in Europa flächendeckend vorhandenen Referenzstationen und korrigierter Satelliten-Bahn-Daten die Bestimmung hochgenauer Positionsdaten mit erreichbaren Genauigkeiten besser als 20 cm. Die GNSS-Signale werden weiterhin für eine hochgenaue Zeitstempelung der erfassten Daten relativ zur koordinierten Weltzeit UTC verwendet.

Die Systemplattformen bieten umfassende Schnittstellen für den Anschluss von Sensoren. Die erfassten Messdaten werden lokal gespeichert und können über WLAN – z. B. an Depots und Bahnhöfen – übertragen werden. Für kleinere Datenmengen, wie Positionskordinaten und Statusmeldungen, wird eine Mobilfunkverbindung genutzt. Weiterhin verfügt das System über eine Reihe von Routinen zur Selbstüberwachung und lässt

sich über einen gesicherten Fernzugriff konfigurieren. Alle Systeme kommunizieren mit einem im Folgenden vorgestellten zentralen

Datenmanagement-System. Die modulare Software-Umgebung kann neben der reinen Datenerfassung flexibel um beliebige

Abb. 2: Webansicht des Datenmanagement-Systems mit den befahrenen Strecken der Messfahrt des Diagnosefahrzeugs DFZ der SBB am 23.03.2015

Hintergrundkarte: Open Street Map, [12]

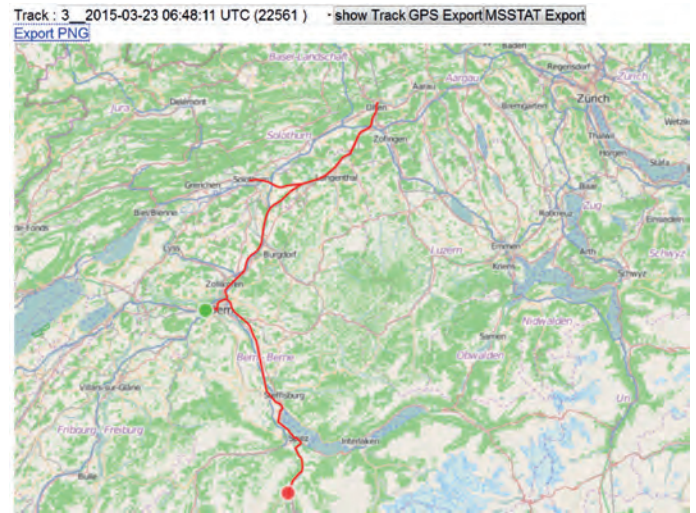


Abb. 3: Interaktive Karte zur Anzeige der Gleisinfrastuktur – Gezeigt sind beispielhaft Schwellen-Typ und ETCS-Balisen auf Linie 400 in der Schweiz.

Hintergrundkarte: Open Street Map, [12]

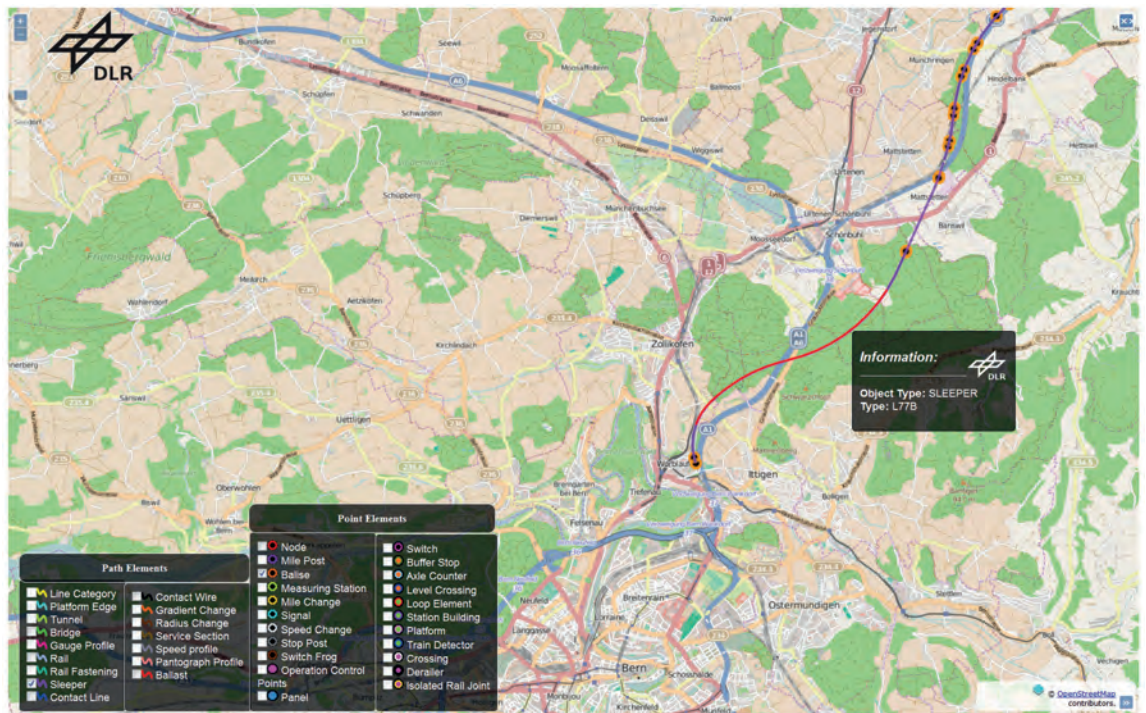


Abb. 4: Der autarke Prototyp (links) findet in einem üblichen Technikoffen Platz und wurde in einem freien Bauraum auf dem Dach des DFZ (rechts) installiert.



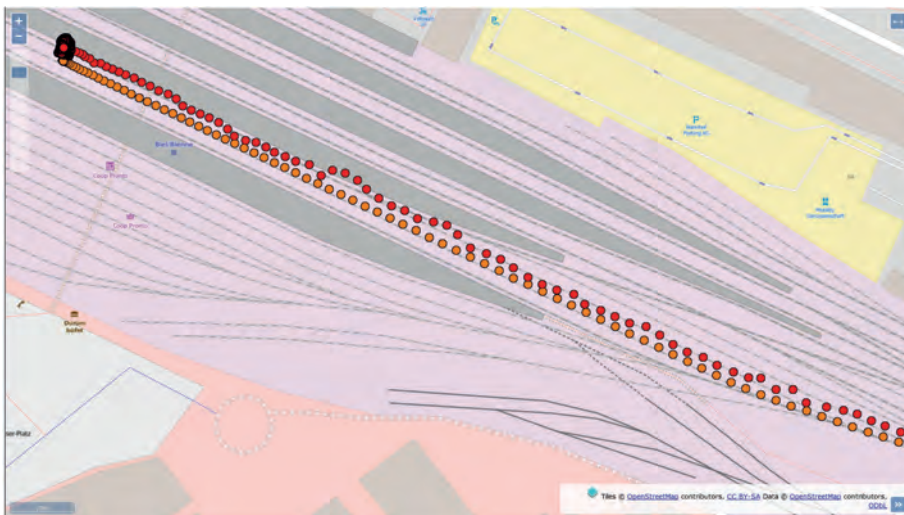


Abb. 5: Bahnhofsbereich in Biel mit den GNSS-RTK-Positionen (orange Punkte) und Stand-Alone-Lösungen (rote Punkte)
Hintergrundkarte: Open Street Map [12]

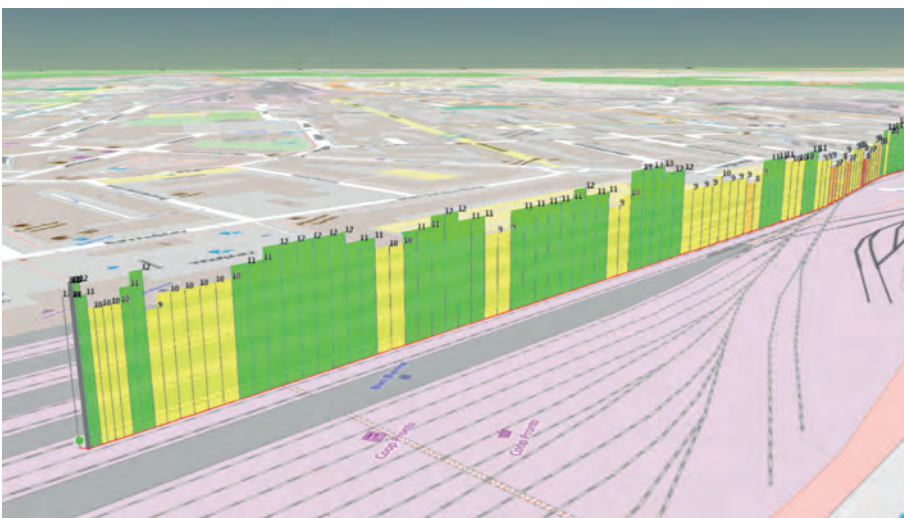


Abb. 6: Anzahl der Satelliten (Rot: ≤ 6 ; Orange: 7-8; Gelb: 9-10 ; Grün: >10) entlang der Strecke an den bestimmten RTK-Positionen (graue Striche) im Bahnhof Biel – das Fahrzeug fuhr von rechts nach links.
Hintergrundkarte: Open Street Map [12]

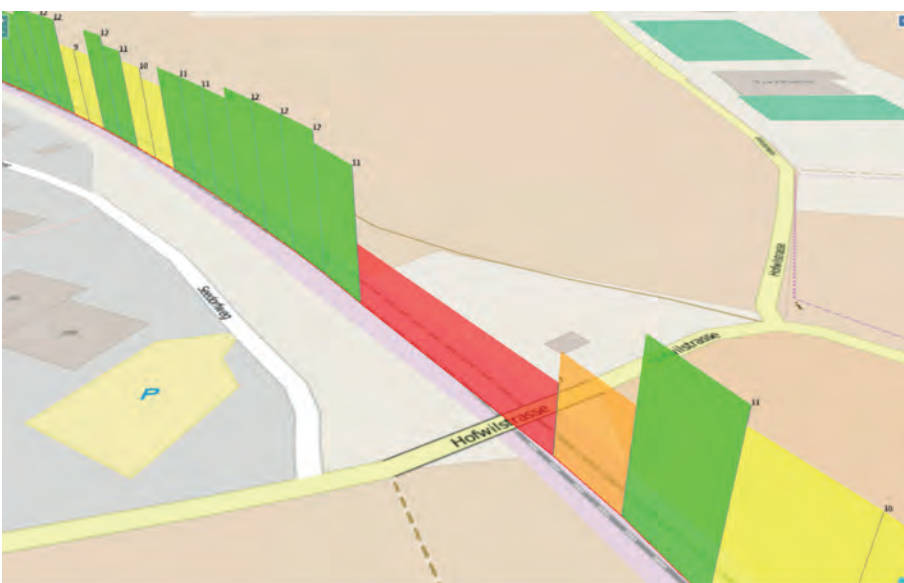


Abb. 7: Verschlechterte GNSS-Empfangsbedingungen bis hin zum Signalabbruch (roter Abschnitt, fehlende graue Striche) aufgrund der Unterfahrung einer Straßenbrücke – das Fahrzeug fuhr von rechts nach links.
Hintergrundkarte: Open Street Map [12]

Logik-Module, z. B. zur Bereitstellung einer Georeferenzierung direkt auf dem Fahrzeug, erweitert werden. Ein längerfristiges Ziel der Forschungsarbeiten ist die Entwicklung eines portablen Multi-Sensor-Systems zur Bereitstellung einer gleisgenauen Georeferenzierung bereits auf dem Fahrzeug, welches auch kurzfristig für vorübergehende Einsätze – z. B. auf spezialisierten Messfahrzeugen – in Betrieb genommen werden kann.

Datenmanagement

Die mobilen Multi-Sensor-Systeme kommunizieren mit einem zentralen Datenmanagement-System am DLR. Das System beinhaltet eine Datenbank, die neben Informationen zu Messdaten von durchgeführten Fahrten (Abb. 2) auch Informationen zur Gleisinfrastruktur (Abb. 3), zu Fahrplänen und weiteren relevanten Einflussfaktoren – z. B. meteorologische Bedingungen – bereitstellt. Grundlage für die einheitliche Datenhaltung sind sowohl am DLR entwickelte Datenmodelle für digitale Streckenkarten (Topologie und Infrastruktur-Elemente) als auch offene Datenformate (z. B. RailML [8]) und Datenquellen (z. B. Open Street Map [12]).

Erprobung mit dem Diagnosefahrzeug DFZ

Nach der Entwicklung der Software-Umgebung und erster Multi-Sensor-Prototypen auf dem RailDrIVE erfolgt nun in Kooperation mit der SBB die Erprobung im realen Schienenverkehr auf dem Diagnosefahrzeug DFZ. In der ersten Ausbaustufe wurde ein vom Fahrzeug vollständig autarkes Messsystem zur Erfassung von GNSS-Signalen, des Luftdrucks sowie der Temperatur auf dem Fahrzeug installiert (Abb. 4). Dabei wurde vollständig auf die Verwendung kostenintensiver Komponenten wie z. B. eines geodätischen Zwei-Frequenz-GNSS-Empfängers verzichtet. Die Materialkosten des gesamten Systems belaufen sich auf unter 1600 EUR. Ziel der Messfahrten im Frühjahr 2015 war neben der Erprobung des zentralen Rechnersystems und der Software-Umgebung selbst die Aufzeichnung von GNSS-Rohdaten mit einem kostengünstigen Ein-Frequenz-GNSS-Empfänger und einer üblichen Multi-Band-Antenne für Schienenfahrzeuge unter realen Bedingungen. Anhand der gewonnenen Messdaten wird nun untersucht, ob und wie häufig anhand der aufgezeichneten GNSS-Daten mittels einer Real-Time-Kinematic (RTK)-Prozessierung im Nachhinein Positionen mit einer Genauigkeit von unter 3 m für die gleisgenaue Georeferenzierung der Messdaten ermittelt werden können. Die Häufigkeit hochgenauer GNSS-Positionen beeinflusst maßgeblich die mittels des im nachfolgenden Abschnitt vorgestellten Multi-Sensor-Ansatzes erreichbaren Genauigkeiten der Georeferenzierung. Langfristiges Ziel der Messfahrten sind quantitative Aus-

sagen zur GNSS-Verfügbarkeit und zu den erreichbaren Genauigkeiten im schweizerischen Schienennetz.

In Abb. 5 ist beispielhaft der Bahnhofsbereich in Biel abgebildet. Gezeigt werden die auf dem Fahrzeug vom Empfänger direkt ermittelten GNSS-Positionen, sogenannte „Stand-Alone“-Lösungen (rote Punkte), sowie die anhand der RTK-Auswertung im Nachhinein gewonnenen hochgenauen Positionen (orange Punkte, Genauigkeit 0,2–2 m). Die RTK-Lösungen konnten die Weichenbefahrungen, insbesondere im Weichenvorfeld des Bahnhofs Biel, korrekt abbilden. Die üblicherweise verwendeten Stand-Alone-Lösungen weisen ein stärkeres Rauschen und systematische Abweichungen im Vergleich zur RTK-Lösung auf und sind somit für eine gleisgenaue Georeferenzierung nicht geeignet.

Ein wichtiges Merkmal für die Leistungsfähigkeit einer Satellitenortung ist die zeitlich variable Anzahl der sichtbaren Satelliten sowie deren aktuelle Positionen im Raum. Anhand der gewonnenen GNSS-Rohdaten und den Ergebnissen der RTK-Auswertung werden nun tieferegehende Analysen zur erreichbaren Qualität der entlang der schweizerischen Strecken gewonnenen GNSS-Lösungen durchgeführt. Im Bahnhofsbereich Biel waren zum Messzeitpunkt im März 2015 überwiegend mehr als zehn Satelliten (GPS+GLONASS) sichtbar (Abb. 6).

In Bereichen der Fahrleitungsjoche und Straßenuberführungen reduzierte sich die Anzahl der empfangbaren Satellitensignale bis hin zum Signalabbruch (Abb. 7). Das DFZ fuhr von rechts nach links (grüne Farbe: viele Satelliten, rote Farbe: wenige/keine Satelliten). Systematische Effekte – z. B. aufgrund komplexer Mehrwegeausbreitungen der Satelliten-Signale – in den RTK-Ergebnissen, die gerade bei niedriger Satellitenanzahl nur schwer aufgedeckt werden können, bedürfen weitergehender Untersuchungen. Für die Einbindung von RTK-Lösungen in Ortungsalgorithmen für Echtzeitanwendungen – Bereitstellung der gleisgenauen Georeferenzierung bereits auf dem Fahrzeug – sind Online-Korrekturdatendienste (z. B. Swipos) notwendig. Die Verfügbarkeit der dafür notwendigen mobilen Datenverbindung kann anhand der kontinuierlichen Kommunikation des Multi-Sensor-Systems mit dem Datenmanagement-System am DLR ebenfalls untersucht werden.

Für die mit dem ersten Prototyp bislang bereits befahrenen Strecken lässt sich nach Abgleich mit Luftbildern und der Datenbank feste Anlagen (DfA) der SBB auf eine gute Eignung des getesteten Ansatzes für die gleisgenaue Georeferenzierung von erhobenen Messdaten schließen. GNSS-RTK-Lösungen stellen somit eine Kernkomponente für eine kostengünstige und robuste gleisgenaue Georeferenzierung von Messdaten dar. Sie sind jedoch allein für eine durchgehende und

genaue Ortung nicht ausreichend. Zur Stützung der Georeferenzierung in Bereichen mit unzureichendem GNSS-Empfang sind zusätzliche Sensoren wie z. B. zur Messung der Fahrzeug-Geschwindigkeit und -Drehraten notwendig. Im folgenden Abschnitt wird ein entsprechender bereits mit dem RailDrIVE erprobter Multi-Sensor-Ansatz zur Stützung der Georeferenzierung vorgestellt.

Aktuell wird der Prototyp auf dem DFZ für die weitere Erprobung um eine Inertial-Messeinheit (IMU, Drehraten und Beschleunigungen des Fahrzeugs) sowie eine drahtlose Datenverbindung zu den Systemen im Fahrzeuginneren erweitert. Nach dieser Erweiterung kann ebenfalls der im Folgenden vorgestellte Multi-Sensor-Ansatz in der Schweiz erprobt werden.

Multi-Sensor-Georeferenzierung

Bei der Multi-Sensor-Georeferenzierung werden relative (z. B. Geschwindigkeit) und absolute (z. B. GNSS-Positionen) Sensorbeobachtungen mittels eines Erweiterten Kalmanfilters (EKF [13]) zu einer gemeinsamen Lösung fusioniert. Die für den hier vorgestellten Ansatz verwendeten Sensoren sind ein Doppler-Radar (Geschwindigkeit), ein ETCS-Balisengerät, eine IMU und ein kostengünstiger Ein-Frequenz-GNSS-Empfänger sowie eine digitale Streckenkarte. Der Ansatz ist sowohl für eine Durchführung der Georeferenzierung im Nachhinein als auch in Echtzeit direkt auf dem Fahrzeug geeignet und kann schnell an konkrete Sensor-Zusammensetzungen – z. B. klassisches Odometer anstatt Doppler Radar – angepasst werden.

Alle aufgenommenen Daten liegen zeitgestempelt im gleichen Zeitsystem (UTC), jedoch typischerweise mit unterschiedlichen Abtastraten vor. Der Erweiterte Kalmanfilter fusioniert diese Daten in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird über ein vorgegebenes Fahrzeug-Bewegungsmodell mithilfe der Zeit der nächste Zustand vorausgesagt (Prädiktionsschritt). Die Prädiktion beinhaltet

hierbei zu jedem Zeitpunkt die Position, die Ausrichtung, die Geschwindigkeit sowie die aktuelle Drehrate des Fahrzeuges. Das dabei verwendete Bewegungsmodell geht von konstanten Drehraten und Geschwindigkeiten aus (Constant Turn Rate and Velocity – CTRV) [14, 15, 16]. Der prädizierte Zustand wird anschließend zusammen mit realen Sensordaten zu einer Gesamtlösung fusioniert (Updateschritt). Zu den Sensordaten gehören hier die Positionen aus der RTK-Auswertung, die Positionen von überfahrenen Balisen, die Geschwindigkeiten und die Drehraten des Fahrzeuges. Anschließend erfolgt die Bestimmung der Fahrzeugposition im Schienennetz durch ein Map-Matching der vom EKF berechneten Position mit einer digitalen Karte. Danach beginnt das zweistufige Fusionsverfahren erneut. Detailliertere Informationen zum vorgestellten Verfahren sind in [16] gegeben.

Die hier vorgestellten Ergebnisse basieren auf den Messdaten der Befahrung eines Rangierbahnhofs mit dem Zwei-Wege-Fahrzeug RailDrIVE des DLR (Abb. 8). Für die Messfahrt wurde temporär eine ETCS-Balise im Gleisbett positioniert und zur Genauigkeitssteigerung bei einer simulierten GNSS-Signalabschattung verwendet. Für den Anwendungsfall im schweizerischen Schienennetz kann von einer flächendeckenden Verfügbarkeit von ETCS-Balisen mit einem mittleren Abstand zwischen Balisen-Paaren von unter 1000 m ausgegangen werden.

Die Leistungsfähigkeit des EKF wurde anhand einer 209 m langen Strecke getestet (Abb. 9). Von Nordwesten nach Südosten fahrend, wurden zur Simulation eines GNSS-Ausfalls die GNSS-Positionen (Abb. 9, gelbe Punkte) nach Sekunde 3,5 für einen kurzen Zeitraum von der Berechnung der Positionen ausgeschlossen. Die Positionsbestimmung erfolgte anschließend nur auf Basis der erfassten Geschwindigkeiten (Doppler-Radar) und Drehraten (IMU). Zwei Krümmungen wurden durchfahren,

Abb. 8: Das Zwei-Wege-Fahrzeug RailDrIVE [10] und eine Balise als ortsfeste Infrastrukturkomponente (gelb)



die Genauigkeit nahm dabei von 0,4 m auf 2,3 m ab. Die ETCS-Balise wurde bei Sekunde 16,5 erfasst und für eine Steigerung der Genauigkeit von 2,3 m auf 0,7 m genutzt (Abb. 9, oranger Punkt). Dabei wurde die Genauigkeit der durch das Lesegerät erfassten Balisen-Position mit berücksichtigt. Eine Sekunde später garantieren die wieder verfügbaren hochgenauen RTK-Positionen ein sehr gutes Lokalisierungsergebnis (Abb. 9, gelbe Punkte, Genauigkeit besser als 0,4 m). Unter Einbeziehung einer digitalen Karte sind die Geschwindigkeiten und Drehraten ausreichende Sensorinformationen, um für begrenzte Bereiche von wenigen hundert Metern gleisselektive Aussagen treffen zu können. Abbildungen mit Details zur Ori-

entierung, der gefahrenen Geschwindigkeit und der Krümmungsänderungen dieses Beispiels sind in [16] gezeigt.

Bei Fahrten mit mehrere hundert Meter langem GNSS-Ausfall kann eine gute Positionsgenauigkeit durch Balisen gewährleistet werden (Abb. 10). Sie ermöglichen gleichzeitig eine Aussage über das befahrene Gleis. Die Verwendung der Balisen wird insbesondere bei Fahrten durch lange Tunnel, wie z.B. den Gotthardbasistunnel – 57 km Länge, maximaler Abstand der Balisen-Paare ca. 800 m – zwingend erforderlich sein.

Resümee

Flexible und skalierbare Multi-Sensor-Systeme auf Schienenfahrzeugen bieten zukünftig

die Chance zur Erhebung wertvoller Datensätze für die Zustandsüberwachung des Gleisoberbaus. Für die Anwendung moderner Verfahren der Datenanalyse zur Erfassung der räumlich und zeitlich variierenden Zustandsentwicklung und der Zustandsprognose ist eine zuverlässige einheitliche Georeferenzierung der erhobenen Messdaten unerlässlich. Am DLR wurden Prototypen für kostengünstige Multi-Sensor-Systeme zur Georeferenzierung entwickelt und anwendungsnah mit dem Zwei-Wege-Fahrzeug RailDriVE erprobt. Aktuell erfolgt gemeinsam mit der SBB die Erprobung und Weiterentwicklung in der Praxis. Bei Messfahrten des Diagnosefahrzeugs DFZ mit einem ersten Prototyp im Frühjahr 2015 konnte gezeigt werden, dass die vollständige Aufzeichnung der Signale von globalen Navigationsatelliten sowie deren echtzeitkinematische Auswertung im Nachhinein auf freier Strecke eine gleisgenaue Georeferenzierung der erhobenen Messdaten mit einer Genauigkeit in Längsrichtung von weniger als 2 m ermöglicht. Für die Georeferenzierung auf Streckenabschnitten mit unzureichendem Satellitenempfang wurde ein mit dem RailDriVE erprobter Multi-Sensor-Ansatz vorgestellt. Dieser Multi-Sensor-Ansatz wird im Rahmen einer weiteren Messkampagne mit einem überarbeiteten Prototyp auf dem Diagnosefahrzeug DFZ ab Herbst 2015 erprobt.

LITERATUR

- [1] Schenkendorf, R.; Böhm, T.: Aspekte einer datengetriebenen, zustandsabhängigen Instandhaltung: (Teil 1) Informative Merkmalsextraktion als Basis einer zuverlässigen Zustandsdiagnose, in: EI 11/2014, S. 14-18
- [2] Lüddecke, K.; Böhm, T.: Vom Sensor bis zur Entscheidung: Effizienz in der gesamten Verarbeitungskette, in: Signal+Draht 7+8/2014, 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 5/2015, S. 43-49
- [5] Wolter, K.U.; Erhard, F.; Gabler, H.; Hempte, T.: Fahrzeugseitige Überwachung der Infrastruktur im Regelbetrieb: Kontinuierlich inspizieren - Instandsetzung gezielt planen - Qualität und Nachhaltigkeit prüfen, in: Eisenbahntechnische Rundschau 7+8/2014, 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 12/2012, S. 28-31
- [7] Linder, C.; Oehler, A.: Klassifikation von Oberbaufehlern am Beispiel Weichen, in: EI 11/2014, S. 19-22
- [8] Nash, A.; Huerlimann, D.; Schuette, J.; Krauss, V. P.: RailML - a standard data interface for railroad applications, Bd. 1, in: Hansen, I. (Hrsg.): Timetable Planning and Information Quality, Ashurst: WIT Press, 2010 (WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering, 40), S. 3-10
- [9] Lüddecke, K.; Rahmig, C.; Lemmer, K.: Hochgenaue und integrale Ortung für den Schienenverkehr der Zukunft, in: EI 9/2012, S. 72-75
- [10] Lüddecke, K.; Kluge, A.: Mobiles Labor RailDrive - synchrone Erfassung von Sensordaten, in: EI 1/2014, S. 46-49
- [11] Bauer, M.: Vermessung und Ortung mit Satelliten: Globale Navigationsatellitensysteme (GNSS) und andere satellitengestützte Navigationssysteme, 6. neu bearb. und erw. Auflage, Berlin [u. a.]: Wichmann, 2011
- [12] www.openstreetmap.org/copyright: (c) OpenStreetMap contributors, 14.08.2015 um 10:00 Uhr
- [13] Welch, G.; Bishop, G.: An Introduction to the Kalman Filter: TR 95-041: Chapel Hill, 2006

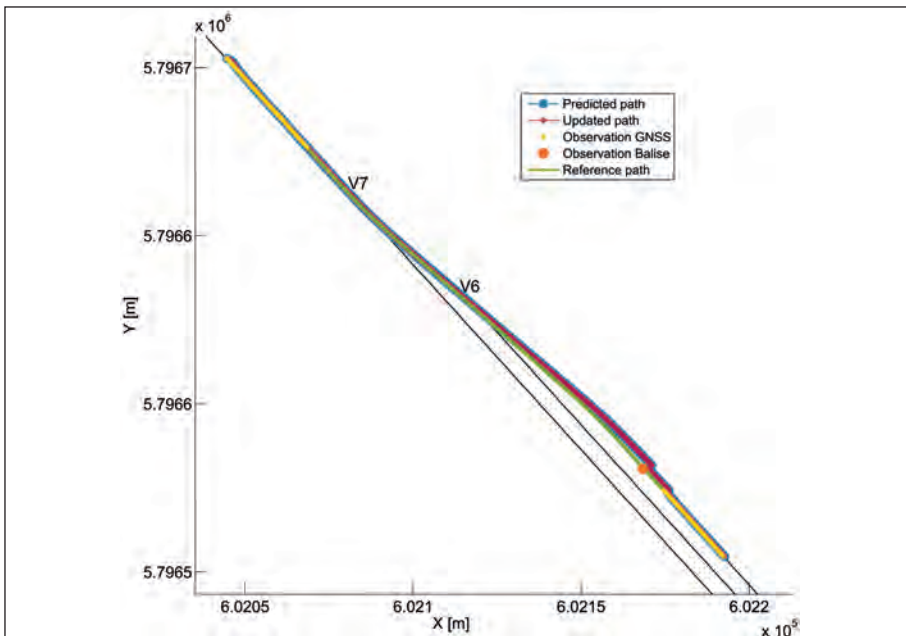


Abb. 9: Versuchsstrecke der RailDriVE-Messfahrt und Ausgaben der Multi-Sensor-Georeferenzierung (Fahrt von Nordwest nach Südost)

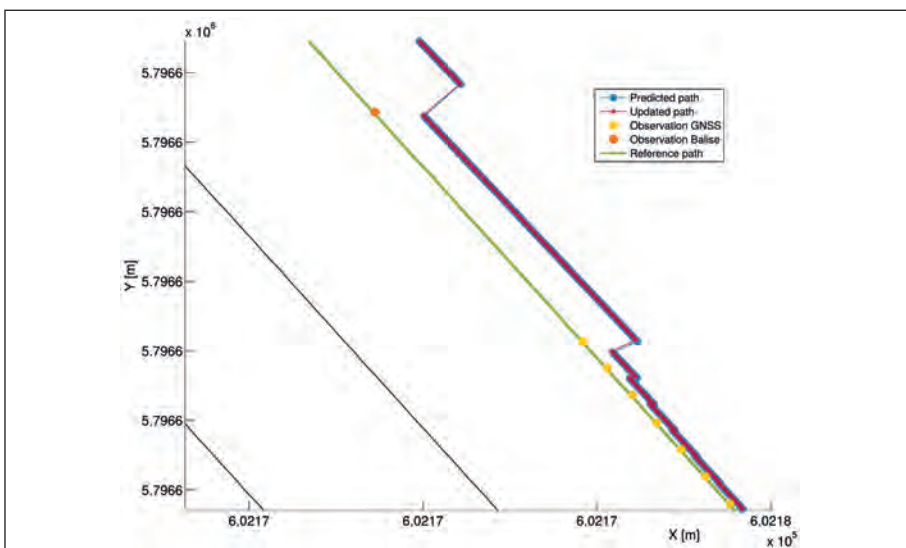


Abb. 10: Die Balise (oranger Punkt, oben links) steigert die Genauigkeit der Georeferenzierung von 2,3 m auf 0,7 m. Sobald die GNSS-RTK-Positionen (gelbe Punkte) wieder verfügbar sind, verbessert sich die Genauigkeit auf 0,4 m.

[14] Blackman, S.; Popoli, R.: Design and analysis of modern tracking systems, Boston: Artech House, 1999 (Artech House radar library)

[15] Schubert, R.; Richter, E.; Waniellik, G.: Comparison and

Evaluation of Advanced Motion Models for Vehicle Tracking, in: Proceedings of the 11th International Conference on Information Fusion: Cologne, Germany: June 30-July 03, 2008, Piscataway, N.J.: IEEE, 2008

[16] Johannes, L.; Almeida, E.: Georeferencing of condition information from railway infrastructure (European Navigation Conference ENC), Bordeaux, 7.-10. April 2015, URL <http://elib.dlr.de/96119/>



Dr.-Ing. Lars Johannes

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
lars.johannes@dlr.de



M. Sc. Eduardo Almeida

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
eduardo.almeida@dlr.de



Dr. rer. nat. Jörn C. Groos

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
joern.groos@dlr.de

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



Dipl.-Phys. Stephan Adam

Datenmanager DFZ
SBB AG Infrastruktur/
Mess- und Diagnosetechnik
Bern, Schweiz
stephan.adam@sbb.ch

Zusammenfassung

Georeferenzierte Erfassung von Messdaten mit Schienenfahrzeugen

Kostengünstige Multi-Sensor-Systeme bieten die Chance für eine Zustandsüberwachung des Gleisoberbaus mit Regelzügen. Für die Überwachung der Zustandsentwicklung ist eine gleisgenaue Georeferenzierung der erhobenen Messdaten unerlässlich. Aktuell erproben DLR und SBB einen entsprechenden Prototyp in der Praxis. Es konnte gezeigt werden, dass die vollständige Aufzeichnung der Signale von globalen Navigationssatelliten sowie deren echtzeitkinematische Auswertung im Nachhinein eine gleisgenaue Georeferenzierung mit einer Genauigkeit besser als 2 m ermöglicht. Für die Georeferenzierung auf Streckenabschnitten mit unzureichendem Satellitenempfang wurde ein Multi-Sensor-Ansatz vorgestellt. Dieser Ansatz wird bei einer weiteren Messkampagne mit einem überarbeiteten Prototyp ab Herbst 2015 erprobt.

Summary

Geo-referenced measurement data logging by railway vehicles

Cost-efficient multi-sensor systems offer an opportunity for a condition monitoring of the track superstructure by scheduled trains. The supervision of the condition development essentially requires data to be precisely geo-referenced to the tracks. To this purpose, field tests of a prototype are currently underway between DLR and SBB. It could be demonstrated that a full recording of global navigation satellite signals as well as their later real-time kinematic evaluation allows for a precision of geo-referencing better than 2 m. For the geo-referencing on line sections with insufficient satellite reception, a multi-sensor approach was presented. This approach will be tested in a further measurement campaign with a revised prototype starting autumn 2015.

EUROPTEN

Transmission is our Mission



Leistungen für Leitungen

European Trans Energy GmbH

Emil-Fuehl-Gasse 1
A - 1100 Wien
Tel. + 43 (0)50 626 5100
Fax. + 43 (0)50 626 5110

Wiener Straße 37a
A - 4482 Ennsdorf
Tel. + 43 7223 86181
Fax. + 43 7223 86181 30

Storkowerstraße 113
D - 10407 Berlin
Tel. + 49 30 4530 631 10
Fax. + 49 30 4530 631 21

Humboldtstraße 9
D - 04105 Leipzig
Tel. + 49 341 22469 0
Fax. + 49 341 22469 99

Bussestraße / Am Güterbahnhof
D - 14943 Luckenwalde
Tel. + 49 3371 620466
Fax. + 49 3371 620467

e-mail: contact@europten.com

www.europten.com