SafeRailMap – Sichere Gleisdaten für eine sichere Zuglokalisierung

Das Forschungsprojekt SafeRailMap hat einen Prozess zur Erstellung und Verteilung sicherer Gleisdaten für die Onboard-Lokalisierung von Zügen entwickelt.

HENNING NITZSCHKE | JANNES WÜBBENA | CHRISTIAN RAHMIG

Das Forschungsprojekt SafeRailMap, ein Gemeinschaftsprojekt von DB Netz, Geo++ GmbH sowie DLR und gefördert durch die mFUND Forschungsinitiative [1], hat im Rahmen einer Machbarkeitsstudie einen Idealprozess zur Erstellung sicherer digitaler Gleisdaten, deren Integration in eine HD (High Definition) Map sowie der Verteilung der Daten bis zur Onboard-Lokalisierungseinheiten entworfen. Der Fokus der als HD Map bezeichneten hochgenauen digitalen Karte, ursprünglich aus dem Automotive-Bereich stammend, liegt auf dem automatisierten Fahren, der Unterstützung von Fahrassistenzsystemen und der Lokalisierung von Zügen. Für diese Zwecke bildet die HD Map im Gegensatz zu herkömmlichen Navigationskarten die Realität in einem deutlich höheren Detailgrad ab. Die sicheren Gleisdaten sind ein wesentlicher Bestandteil der HD Map.

SafeRailMap – Ein Baustein des digitalisierten Bahnsystems der Zukunft

Die diesem Beitrag zugrunde liegende Machbarkeitsstudie fand im Zuge der Sektorinitiative „Digitale Schiene Deutschland" [2] statt. Aufgabe der Initiative ist es, die Chancen der Digitalisierung für die Eisenbahn konsequent zu nutzen und Zukunftstechnologien ins System Bahn zu integrieren. Hierzu werden unter dem Dach der DB Netz AG in der ersten Stufe die veraltete Stellwerkslandschaft und die analogen Zugbeeinflussungssysteme durch neue, digitale Stellwerkstechnologien (Digitales Stellwerk – DSTW) und das europäisch einheitliche European Train Control System (ETCS) ersetzt. In einer zweiten Stufe wird die so geschaffene Plattform zur Einführung weiterer digitaler Technologien genutzt. Zu den Technologiefeldern zählen neben dem automatisierten Fahren (Automatic Train Operation, ATO), Künstliche Intelligenz (KI) im Verkehrs- und Störfallmanagement, FRMCS/5G Datenkommunikation und Cloud, Digitale Leit- und Sicherungstechnik, Sensorik für Umfeldwahrnehmung sowie Sensorik für Ortung und Digitale Karte zur Echtzeitlokalisierung von Zügen. In der Summe ergeben sich durch die Anwendung dieser Technologien deutliche Effekte für die Kapazität, Qualität und Effizienz des Bahnsystems.

Notwendigkeit einer neuen Lokalisierung

Die Digitalisierung des Bahnbetriebs verspricht neben der Modernisierung des Bahnsystems vor allem eine Kapazitätssteigerung auf der vorhandenen Infrastruktur bei gleichzeitiger Reduktion der Betriebskosten. Um diese beiden Ziele zu erreichen, wird eine sichere fahrzeugseitige Lokalisierung von Zügen für das Fahren im absoluten Bremsabstand benötigt. Mit der aktuellen ETCS-Technik basiert die Lokalisierung auf einem Zusammenspiel aus zugseitiger Sensorik und statischen, streckenseitigen Eurobalisen. Die ETCS-Lokalisierung stellt damit eine sichere Zugfrontposition innerhalb eines Konfidenzintervalls bereit – immer in Referenzierung zu einer als Wegmarke agierenden Eurobalise. Das Konfidenzintervall kann sich mit zunehmendem Abstand zur letzten Balise (Genauigkeitsanforderung: ±5 m +5 % der zurückgelegten Wegstrecke [3]) vergrößern. Um systembedingte Kapazitätsnachteile zu verringern, muss die Dichte von Eurobalisen im Streckennetz sehr hoch sein. Das wiederum führt zu hohen Kosten durch Projektierung, Installation und Instandhaltung der Eurobalisen. Um dem entgegenzuwirken, wird die Entwicklung von reinen Onboard-Lokalisierungstechnologien im europäischen Kontext vorangetrieben. Ein essenzielles Element dieser Technologien stellen neben den physischen Sensoren die sicheren Gleisdaten in Form einer digitalen Karte dar.

Herausforderungen mit aktuellem Datenbestand

Die Lage der Gleise des Schienennetzes der DB Netz wird schon seit Jahrzehnten mittels präziser Vermessungsmethoden mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern systematisch erfasst. Es kann also prinzipiell auf eine sehr gute Datenbasis zurückgegriffen werden, um eine navigationsfähige Streckenkarte zu generieren. Bei genauerer Betrachtung zeigen sich jedoch einige Hindernisse, die überwunden werden müssen, um den Datenbestand für eine sichere Lokalisierung verwenden zu können.

Die Gleisnetzdaten wurden und werden erfasst, um das Planen und Bauen sowie die Instandhaltung der Gleise zu unterstützen. Dies bedeutet, dass die Durchführung von Gleisvermessungen typischerweise an entsprechende Baumaßnahmen geknüpft ist. Die Folge ist ein negativer Einfluss auf die Aktualität der Daten, wenn auf bestimmten Streckenabschnitten längere Zeit keine solchen Maßnahmen durchgeführt wurden.

Zudem ist es heute nicht erforderlich, dass die Gleisnetzdaten einer neu bzw. umgebauten Strecke noch vor Inbetriebnahme in den zentralen Datenbestand übergeben werden. Oftmals passiert dies erst lange danach, was zu einer unzulänglichen Vollständigkeit der Daten führt.

Während die meisten Daten im Datenbestand digital in das System eingepflegt wurden, gibt es auch noch Daten, insbesondere von alten, in den letzten Jahren wenig geänderten Strecken, die aus Scans von analogen Streckenplänen erstellt wurden. In solchen Fällen kann die Genauigkeit der digitalen Karte beeinträchtigt sein.

Die genannten Punkte führen zu einem bereichsweise inhomogenen Gesamtdatenbestand mit punktuellen Diskrepanzen oder Mehrdeutigkeiten in der Gleislage bzw. der Streckentopologie. Dies stellt insbesondere Algorithmen, die auf Map-Matching-Verfahren beruhen, vor Herausforderungen.

Anwendungsfall Geo++ Streckenatlas

Im digitalen Streckenatlas der Geo++ GmbH werden viele dieser Herausforderungen schon jetzt angegangen. Obwohl der Datenbestand im Prinzip derselbe ist wie die zentrale Datenablage der DB Netz, sind doch einige Verbesserungen vorgenommen worden, um navigatorische Anwendungen zu ermöglichen. So werden insbesondere die Inkonsistenzen durch einen automatisierten Prozess aufgedeckt und – dort, wo möglich – geheilt. Des Weiteren ist der Streckenatlas digital so abgebildet, dass eine schnelle Abfrage der Daten, wie sie für navigatorische Anwendungen notwendig ist, ermöglicht wird. Die Daten des Geo++ Streckenatlas wurden vom bahneigenen Koordinatensystem DB_REF2016 in das ETRF-Koordinatensystem (European Terrestrial Reference Frame) transferiert, um eine einfachere Nutzung des Atlasses zusammen mit GNSS-Messungen (Global Navigation Satellite System) zu erlauben.

Map-Matching auf dem Streckenatlas wird durch ein vollständiges Topologiemodell ermöglicht, das sämtliche Weichen, Kreuzungen und Prellböcke des Gleisnetzes beinhaltet. Dadurch können auch Messungen von

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Geo++ GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020

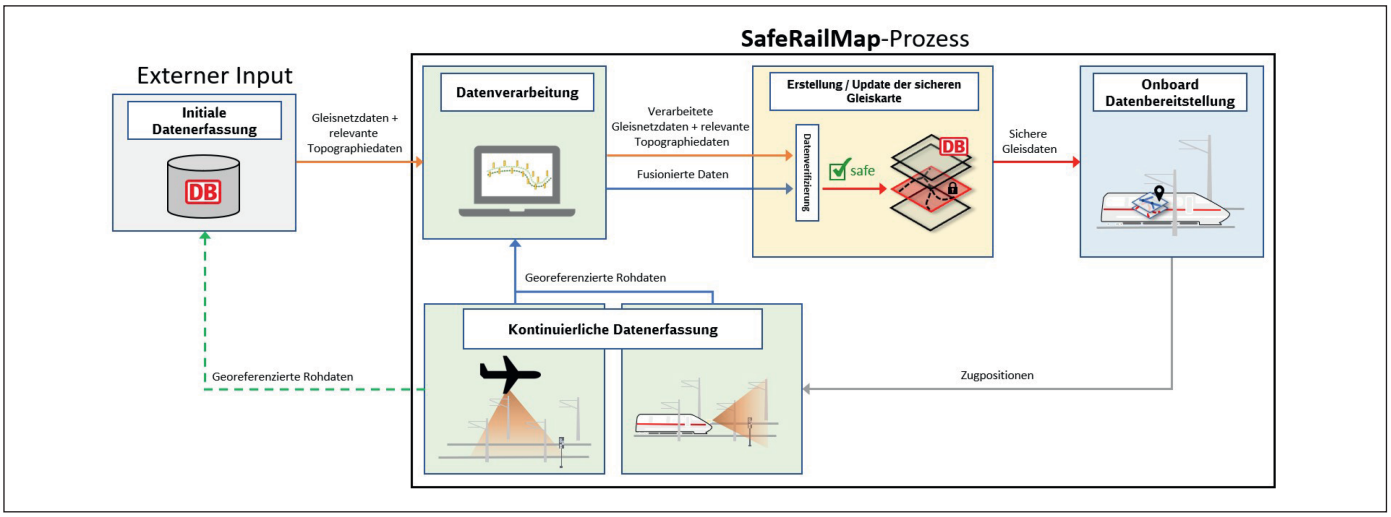


Abb. 1: Schema des SafeRailMap-Prozesses

ungenauen GNSS-Sensoren, wie sie schon jetzt in den meisten Personenverkehrszügen zu finden sind, nach kurzer Einlaufzeit korrekt auf die befahrenen Gleise abgebildet werden.

Diese Anwendungen zeigen das Potenzial der Nutzung des aktuellen Datenbestandes für die Zuglokalisierung. Allerdings ist zum jetzigen Zeitpunkt nur die Verwendung in nicht-sicherheitskritischen Anwendungen möglich, da die Integrität der Daten nicht immer gewährleistet werden kann. Für die Verwendung in der Leit- und Sicherungstechnik wird daher eine Ergänzung des Datenbestands mit weiteren Messungen und integritätssichernden Datenverarbeitungsprozessen notwendig.

SafeRailMap – Prozess und Systemkonzept

Der SafeRailMap-Prozess (SRM-Prozess) soll die Erstellung, Speicherung und Bereitstellung von sicheren Gleisdaten ermöglichen (Abb. 1). Die größte Herausforderung ist die Erfüllung der hohen Anforderungen an sichere Daten und die beteiligten Einzelsysteme für eine SIL 4 Onboard-Lokalisierungseinheit. SIL 4 (Safety Integrity Level, SIL) bedeutet, die Einheit muss weniger als einen Ausfall je 1 Mrd. Betriebsstunden aufweisen. Dieses hohe Sicherheitslevel entspricht der signaltechnischen Sicherheit in der Zugsicherung.

Zur Erfüllung der hohen Anforderungen beinhaltet der Prozess vier wesentliche Schritte:

- die Datenverarbeitung inkl. Datenfusion und Schnittstelle zum Geodatenmanagementsystem der DB Netz,
- die Erstellung und Aktualisierung der sicheren Gleisdaten auf der HD Map inkl. Datenverifikation,
- die Datenbereitstellung zum Zug auf einer sicheren Onboard Rechenumgebung über den 5G-basierten Mobilfunkstandard Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) sowie
- die kontinuierliche Datenerfassung zur Erhebung redundanter Daten für den Verifikationsprozess und die Datenaktualisierung.

Auf dem Zug dienen die sicheren Gleisdaten als sogenannter virtueller Sensor für die Echtzeit-Lokalisierung. Im Post Processing kann zusätzlich das sogenannte Map-Matching durchgeführt werden. Beim Map-Matching werden die absoluten Zugpositionen entlang des Gleises auf Grundlage eines vorher definierten Topologiemodells, welches Bestandteil der sicheren Gleisdaten ist, bestimmt. Durch eine Fusion der sicheren Gleisdaten der Karte mit den Daten der Onboard-Sensoren, z. B. von Satellitenortungsdaten von GNSS-Receivern sowie Fahrdynamikdaten von inertialen Messeinheiten (Inertial Measurement Unit, IMU) und Odometern, soll eine sichere und hochgenaue Echtzeit-Lokalisierung von Zügen möglich werden. Ein wesentlicher Vorteil der sicheren Gleisdaten gegenüber der Onboard-Sensorik ist deren Unabhängigkeit von äußeren (Stör-)Einflüssen. Die Qualität der Gleisdaten im SRM-Prozess soll sich in Bezug auf die Genauigkeit, Aktualität und Vollständigkeit nicht verändern. Ein GNSS-Receiver kann hingegen zu unterschiedlichen Tageszeiten unterschiedliche Ergebnisse sowie in abgeschatteten Gebieten sehr ungenaue bzw. in Tunneln keine Daten liefern.

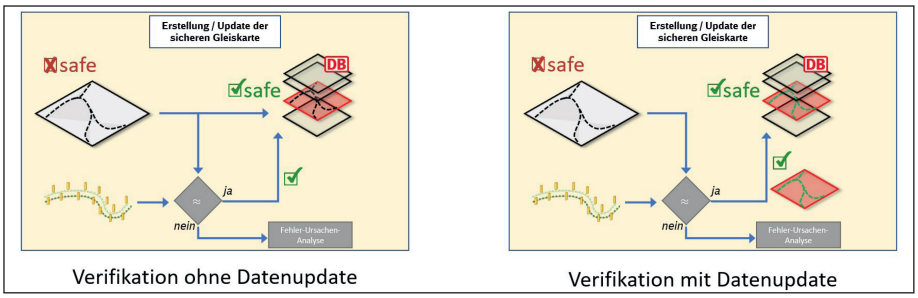


Abb. 2: Datenverifikation ohne und mit Datenupdate

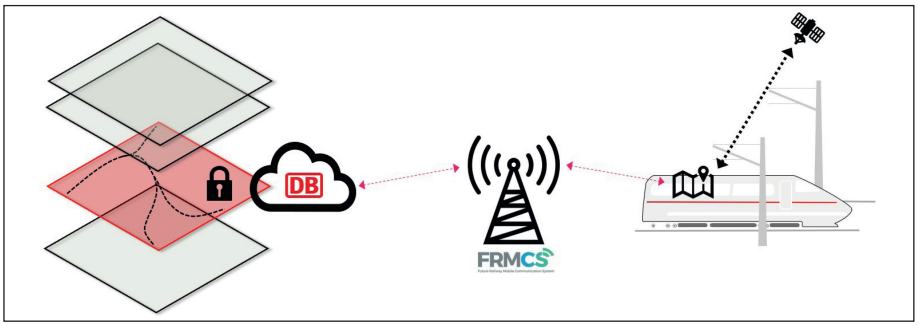


Abb. 3: Übertragung der Kartendaten zwischen Zug und HD Map über FRMCS/5G

Quelle aller Abb.: SafeRailMap Machbarkeitsstudie

Inhalt der sicheren Gleisdaten

Die sicheren Gleisdaten sollen die für die Sensordatenfusion und für das Map-Matching relevanten sicheren Daten beinhalten. Diese Daten umfassen den geografischen Verlauf der Gleisachsen (3D-Trajektorien), die Längsneigungen

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Geo++ GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020

(Gradienten) sowie die Querneigungen (Überhöhungen) der Gleise. Zusätzlich abgebildet werden Weichen und Gleisabschlüsse. Zur Prädiktion der Performance der Onboard-Lokalisierungssensoren (z. B. zur Gewichtung der Daten im Fusionsalgorithmus), werden die sicheren Gleisdaten auch Lageinformationen von ortfesten Anlagen entlang der Strecken, z. B. von Tunneln, Oberleitungsmasten und Bahnhofsdächern, sowie Geländeinformationen (bspw. Einschnitte / Troglagen) vorhalten.
Unter Verwendung der genannten Daten soll innerhalb des SRM-Prozesses ein Topologiemodell (Knoten-Kanten-Modell) erstellt und vorgehalten werden.

Datenverarbeitung

Als initialer Input werden über eine Standardschnittstelle Gleisnetz- und relevante Topographiedaten aus dem Geodatenmanagementsystem der DB Netz in den SRM-Prozess importiert und entsprechend der weiteren Verwendung prozessiert. Die Gleisnetzdaten beinhalten sämtliche Informationen zur Lage und zum Höhenverlauf der Gleise. Die Topographiedaten beinhalten neben wichtigen Gebäude- und Geländeinformationen z. B. noch Liegenschaftsinformationen, die aber im SRM-Prozess keine Verwendung finden.
Den zweiten Input zur Datenverarbeitung bilden georeferenzierte Rohdaten. Diese werden im Schritt der dezentralen Vorverarbeitung homogenisiert und klassifiziert. Auf diese Weise soll die Zusammenführung der unterschiedlichen Datenbestände vorbereitet werden. Im nächsten Schritt folgt die Extraktion sog. „Simple Features" aus den aufbereiteten Daten, d. h. der 3D-Verlauf der Gleisachse wird extrahiert. Zusätzlich können weitere spezifische Landmarken erkannt und klassifiziert werden. Die Fusion der Daten aus den unterschiedlichen Strängen der Datenerfassung erfolgt dann auf Basis der erfassten Simple Features. Das Ergebnis der Datenfusion ist ein aktualisierter Gleisverlauf inklusive relevanter Stationspunkte.

Erstellung und Aktualisierung der sicheren Gleiskarte

Die Sicherstellung der Integrität der Kartendaten basiert auf dem Prinzip der Redundanz. Nur wenn die aus der unabhängig durchgeführten, kontinuierlichen Verortung gewonnenen Gleislageinformationen mit denen der initialen Datenerfassung innerhalb der Spezifikation der digitalen Karte übereinstimmen, werden die Daten als sicher markiert (Abb. 2). Hierdurch wird die Wahrscheinlichkeit für unentdeckte Fehler auf ein Maß gesenkt, das mit den SIL-Anforderungen an die Karte vereinbar ist. Eventuell kann durch die kontinuierliche Verortung sogar die Genauigkeit der Gleisdaten erhöht werden (Abb. 2). In diesem Fall ist es denkbar, die Lageinformation mit jeder Messung entsprechend nachzuführen und im Laufe der Zeit eine größere Unabhängigkeit von den klassischen Gleisvermessungen zu erreichen.
Im Zielbild der Digitalen Schiene Deutschland werden die sicheren Gleisdaten in die HD Map der Deutschen Bahn AG auf einer sicheren DB-eigenen Cloud-Umgebung integriert. Diese HD Map dient als Single-Source-of-Truth innerhalb des digitalen Bahnbetriebs für die statischen Infrastrukturdaten, um z. B. die Onboard-Lokalisierungseinheit mit den sicheren Gleisdaten zu versorgen. Neben der Lokalisierung gibt es aber noch weitere Abnehmer von Kartendaten. Die HD Map ist deshalb in verschiedene Layer unterteilt. Diese Layer-Struktur bietet durch eine gezielte Übertragung einzelner Layer auch den Vorteil einer effizienten Datenübertragung. Aber auch Anwendungen außerhalb des digitalen Bahnbetriebs, wie sie z. B. mit einem Eisenbahninfrastruktur-Datenregister [4] im Zusammenhang stehen, könnten die Gleisdaten mittels standardisierter Schnittstellen zukünftig beziehen.

Datenbereitstellung

Der aktuelle bahnbetriebliche Funkstandard GSM-R kann die Anforderungen der digitalen Karte in Bezug auf Datenraten und Latenz nicht erfüllen. Die Übertragung der Gleisdaten der HD Map von der sicheren Cloud-Umgebung auf den Zug soll daher mit dem GSM-R Nachfolgesystem, dem sogenannten Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) [5], welches auf 5G basieren wird, erfolgen (Abb. 3).

Kontinuierliche Datenerfassung

Wie bereits im Abschnitt zur Datenverarbeitung erwähnt, bindet der SRM-Prozess auch georeferenzierte Rohdaten aus Sensorbeobachtungen mit ein, um die Gleisdaten zu verifizieren und / oder zu aktualisieren. Dabei erfolgt die sensorische Datenerfassung mehrkanalig: Mit Methoden der Fernerkundung lassen sich Gleisnetzdaten aus durch Flugzeuge oder Drohnen aufgenommenen Luftbildern extrahieren. Parallel dazu können Schienenfahrzeuge mit Laserscanner- und Kamera-Sensorik ausgestattet werden, um die befahrene Strecke im „Mobile Mapping"-Verfahren aufzunehmen. Beide Datenquellen sind messtechnisch komplett voneinander unabhängig, was im Sinne der Redundanz die Sicherheit der Datenerfassung erhöht. Die erfassten Rohdaten werden georeferenziert und dann der Datenverarbeitung zugeführt.
Der beschriebene Ansatz der Datenerfassung kann prinzipiell auf weitere Datenquel-

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Geo++ GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020

len erweitert werden, z. B. auf die Fernerkundung mittels Satellitendaten. Wichtig dabei ist, dass alle Datenbestände sich hinsichtlich ihrer erzielbaren Genauigkeiten beschreiben lassen.

Zusammenfassung und Ausblick

Der in diesem Projekt erarbeitete SRM-Prozess sowie die Anforderungen an die Gleisdaten dienen als Grundlage für weitere Arbeiten. Als nächste Schritte sind die Erstellung eines Safety-Konzepts, die Spezifizierung der Einzelsysteme und der Schnittstellen sowie die prototypische Umsetzung des SRM-Prozesses im Rahmen eines Folgeprojekts geplant.

Nach erfolgreicher prototypischer Umsetzung wird in Zukunft mit dem SRM-Prozess die Datengrundlage für eine sichere Onboard-Lokalisierung von Zügen geschaffen. Auf diesem Wege wird der SRM-Prozess zur Erreichung der Kapazitäts- und Effizienzziele eines digitalisierten Bahnsystems beitragen. Darüber hinaus soll der SRM-Prozess aber nicht nur innerhalb Deutschlands Anwendung finden, sondern es wird auch eine europäische Standardisierung für die Erstellung und Verteilung sicherer Gleisdaten angestrebt. Hierfür wurden bereits während der Machbarkeitsstudie die ersten Weichen gestellt, in dem u. a. standardisierte Datenmodelle und -formate für die Verwendung im SRM-Prozess evaluiert wurden. ■

QUELLEN

[1] mFUND-Förderinitiative des Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI); https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/mFund/Ueberblick/ueberblick.html; letzter Zugriff: 07.08.2020

[2] Digitale Schiene Deutschland; https://www.digitale-schiene-deutschland.de/; letzter Zugriff: 29.07.2020

[3] European Union Agency for Railways (ERA): Performance Requirements for Interoperability; https://www.era.europa.eu/sites/default/files/filesystem/ertms/ccs_tsi_annex_a_-_mandatory_specifications/set_of_specifications_3_etcs_b3_r2_gsm-r_b1/index014_-_subset-041_v320.pdf; letzter Zugriff: 03.08.2020

[4] Kolmorgen, V. P.; Rahmig, C.; Ebendt, R.; Schubert, L. A.: Indres – Infrastrukturdatenregister für regionale Eisenbahnstrecken, in: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR, 02/2020, S. 6-9

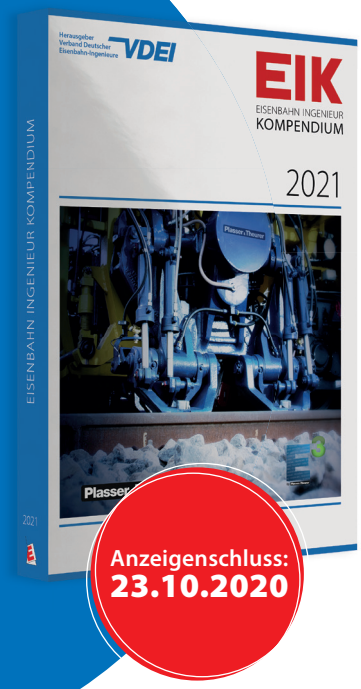
[5] Internationaler Eisenbahnverband (UIC): Future Railway Mobile Communication System; https://uicfrmcs.org/?lang=en; letzter Zugriff: 06.08.2020

M.Sc. Henning Nitzschke
Experte Digital Maps / Geodaten
Digitale Schiene Deutschland
DB Netz AG, Berlin
henning.nitzschke@deutschebahn.com

Dr. rer. nat. Jannes Wübbena
Geschäftsführer
Geo++ GmbH, Garbsen
jannes.wuebbena@geopp.de

Dipl.-Ing. Christian Rahmig
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig
christian.rahmig@dlr.de

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Geo++ GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020



Sie wollen 1 Jahr im Gespräch bleiben?
Dann schalten Sie im EIK – EISENBAHN INGENIEUR KOMPENDIUM!

Wir schenken Ihnen mindestens einen Eintrag!
Bei der Buchung einer 1/1-Seite erhalten Sie zwei kostenlose Firmeneinträge.

Sie suchen die besondere Werbeform?
Dann ist unser Business-Profil für Sie genau das Richtige!
Stellen Sie Ihr Unternehmen detailliert vor und sichern Sie sich zusätzlich zwei kostenlose Einträge!

Gern sende ich Ihnen den aktuellen Themenplan zu.

DVV Media Group
Ihr Ansprechpartner: Tim Feindt ▪ tim.feindt@dvvmedia.com ▪ Telefon +49 40 237 14 220
Eurailpress