

Gamechanger tmATG

Richtlinienkonforme und schnelle Gleisvermessung bei gleichzeitig hoher Netzverfügbarkeit der DB Netz AG – ohne den Gefahrenraum zu betreten

MARC KÜCKMANN | ARVID POLAK |
MAXIMILIAN BADE | FLORIAN AUER

Die Gleisvermessung steht aktuell in einem Spannungsfeld zwischen dem Wunsch nach Netzverfügbarkeit und Verlagerung von Verkehren von der Straße auf die Schiene einerseits und großem Investitionsdruck andererseits. Diese Herausforderung erschöpft die begrenzten und kostbaren zeitlichen Ressourcen der Gleisvermesser für ihre Arbeit am Gleis. Der innovative Messwagen EM100VT ermöglicht eine hochpräzise, kinematische Gleisvermessung unter Einhaltung der Genauigkeitsanforderungen der Ril 883 der Deutsche Bahn AG (DB) mit einer Geschwindigkeit von bis zu 100 km/h. Dies schafft die Voraussetzung für eine exakte gleis- und fahrzeuggebundene kinematische Vermessung, auch von schwer zugänglichen Streckenabschnitten, ohne Personen im Gefahrenbereich bei laufendem Betrieb.

Einführung

Die Bestimmung der präzisen Gleislage nach DB Richtlinie (Ril) 883 erfordert eine hochgenaue Positionierung der Messsysteme.

Aktuell kann diese nur mit Vermessungsmethoden erfolgen, die das Betreten des Gleisbereichs erfordern.

Die zunehmende Auslastung der Gleisstrecken, die Notwendigkeit einer noch höheren Verfügbarkeit des Netzes sowie der politische und gesellschaftliche Wille, mehr Verkehr von der Straße auf die Schiene zu verlagern, machen es jedoch nahezu unmöglich, das Gleis zu betreten, um die präzise Gleislage zu bestimmen. Auf dem Spiel steht vor allem die Sicherheit des Fachpersonals, das meistens nur in kurzen Sperrpausen, oft auch nur in der Nacht, die Vermessung durchführen darf. In Zeiten eines großen und noch weiter steigenden Fachkräftemangels in nahezu allen Branchen lässt dies das Berufsbild der Gleisvermessung nicht attraktiv erscheinen.

Darüber hinaus ist die Effizienz der Messkampagnen stark beeinträchtigt, denn der monatelange Einsatz von Messtrupps nimmt viel Zeit und Geld in Anspruch. In letzter Konsequenz kommt es dadurch auch zu Verzögerungen bei vielen Planungs- und Erneuerungsprojekten. Aufgrund der beschriebenen Umstände werden diese Verzögerungen – obwohl nicht durch die Gleisvermessung zu verantworten – dieser zugeschrieben, was zusätzliches Frustrationspotenzial im zunehmend weniger werdenden Fachpersonal birgt.

Entwicklung und Systemüberblick

Eine Lösung dieser Probleme kann eine kinematische Vermessung auf Basis von GNSS-Systemen¹ sein, die als Zugfahrt im Regelverkehr abläuft. Diese Messungen sind jedoch abhängig von unterschiedlichsten, schwer zu beeinflussenden Faktoren und letztendlich auch nicht ausreichend genau für die Anforderungen an die Gleisvermessung.

Der logische Lösungsansatz, die Vorteile der kinematischen Vermessung mit der Genauigkeit eines terrestrischen Netzes zu vereinen, wurde seit 2017 von Plasser & Theurer (P&T) in Kooperation mit der Track Machines Connected (tmc) und der Obermeyer Group verfolgt und auf Basis einer komplexen Kombination von Messsensorik im EM100VT und Auswertemechanismen realisiert.

Dafür wurde ein Stereokamerasystem zur Erfassung der Gleisvermarkungspunkte (GVP) entwickelt und mit dem bewährten POS/TG-Messsystem² kombiniert [1]. Dieses Gesamtsystem wird tmRTG genannt, wobei RTG für „Referenced Track Geometry“ steht. Es ist auf dem Messrahmen des EM100VT verbaut und damit auch eine Weiterentwicklung der EM-SAT-Messfahrzeuge (Abb. 1). Entscheidend ist diese für das Aufnehmen mit bis zu 100 km/h: Dabei wird die tachymetrische Aufnahme der Bolzen der GVP von einem Stereokamerasystem in Verbindung mit speziellen auf den GVP installierten Messmarken abgelöst (Abb. 2). Zusätzlich kann die Laserlangsehne, die beim EM-SAT durch das Satellitenfahrzeug realisiert wird, durch die Verwendung von IMU-basierten Daten³ ersetzt werden.

Die Grundaufgabe des tmRTG ist nach wie vor die Vormessung für Stopfvorgänge. Die Berechnung der Hebe- und Richtwerte basiert dabei auf den horizontalen und vertikalen Abständen der gemessenen GVP von der Schiene H und V (Abb. 3) und den IMU-basierten Raumkurven, die in diesem Fall nicht zur Bestimmung der Koordinaten verwendet werden.

Die dafür notwendige Weiterentwicklung ist der Service tmATG, wobei ATG in diesem Fall für „Absolute Track Geometry“ steht. Die vom tmRTG erfassten Daten werden in einem mehrstufigen Post Processing-Verfahren in

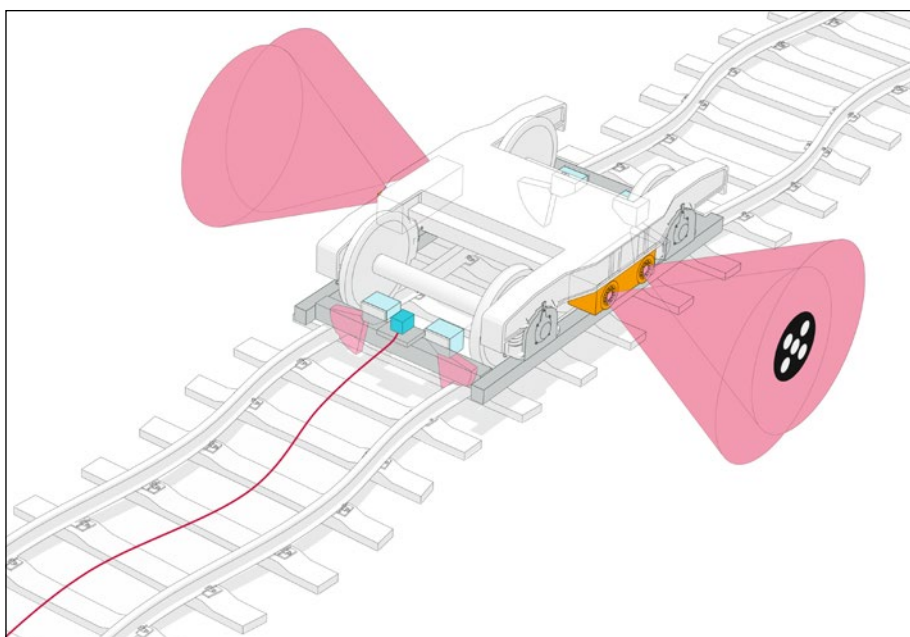


Abb. 1: tmRTG-System zur kinematischen Vermessung der Gleislage in Bezug auf die GVP

Quelle: tmc

¹ GNSS: global navigation satellite system

² POS/TG: position and orientation system/track geometry

³ IMU: inertial measurement unit

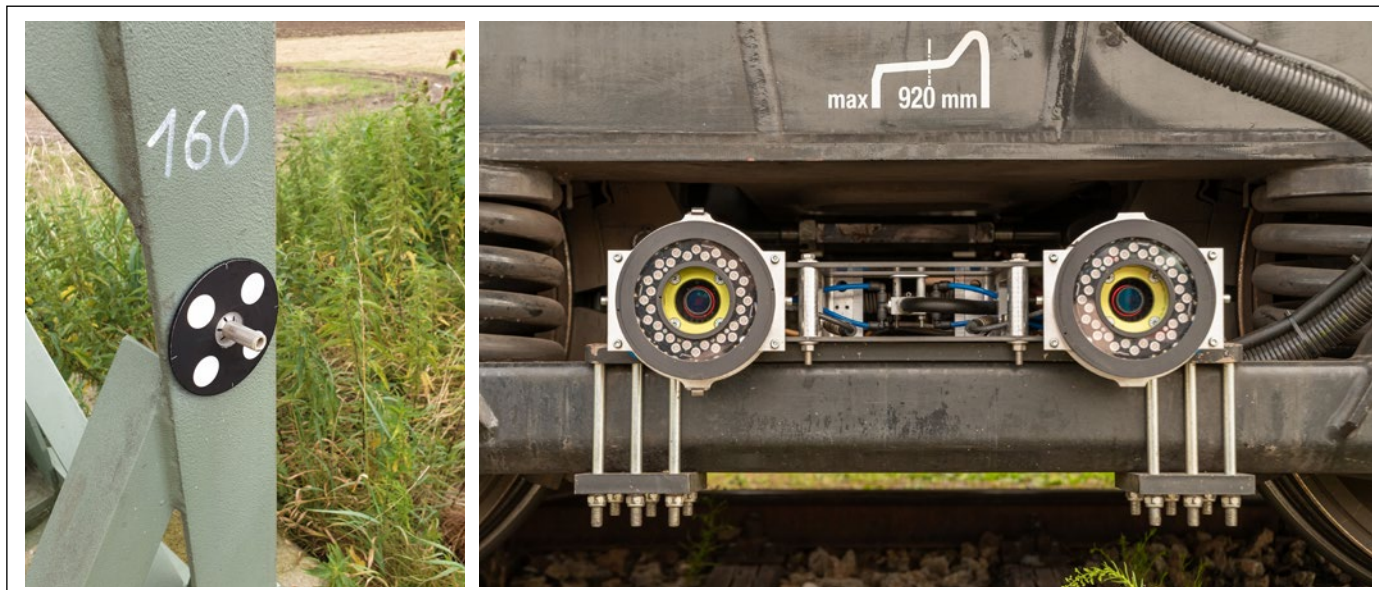


Abb. 2a, 2b: GVP mit TMT10-Signalmarke auf der Strecke 5830, Abschnitt Passau – Osterhofen (links) und Stereokamerasystem zur Erfassung der GVP (rechts)

Quelle: tmc

ein beliebiges, vom Auftraggeber definiertes Koordinatensystem ausgegeben. Dabei werden Daten aus zwei Stereomeßsystemen, verbaut auf beiden Seiten eines Drehgestells des EM100VT, kombiniert. Das Resultat ist eine hochgenaue, absolute Vermessung der Gleisachse und Gleislage, durchgeführt mit Geschwindigkeiten zwischen 60 und 100 km/h, gemäß den hohen Anforderungen der Ril 883.

tmATG – Ermittlung einer Gleisachse

Nach der Befahrung der zu vermessen den Strecke durch den EM100VT mit dem tmRTG-System und der daraus ermittelten referenzierten Gleislage wird im Post Processing im ersten Schritt die auf die IMU bezogene Fahrzeugtrajektorie mithilfe von

Referenzstationsdaten (SAPOS) in einer für kinematische Anwendungen dezidierten Software berechnet. Hierfür wird ein Tightly Coupled (TC)-Algorithmus verwendet, der die GNSS-Beobachtungen mit den IMU- und DMI-Messungen⁴ kombiniert. Diese Berechnungsmethode zeichnet sich durch eine Systemgenauigkeit im Bereich weniger Zentimeter aus.

Die Koordinaten der GVP (Ist-Koordinaten) werden zunächst anhand der Fahrzeugtrajektorie im Koordinatensystem ETRS89 berechnet. Dies erfolgt anhand der gemessenen Stereokoordinaten der GVP des Kamerasystems und dessen

⁴ DMI: distance measurement instrument, odometer

bekannter Ausrichtung gegenüber der IMU. Das Stereosystem arbeitet mit einer Aufnahme rate von bis zu 160 fps (frames per second) und ermöglicht somit Aufnahmen von mehreren Bildpaaren für jeden GVP. Eine im Vorfeld durchgeführte hochpräzise Kalibrierung der Kamerasysteme am EM100VT und die zeitliche Synchronisation mit der IMU ermöglichen eine Bestimmung der Koordinaten mit einer relativen Genauigkeit im Bereich weniger Millimeter. Gleichzeitig werden die bekannten Koordinaten der GVP (Soll-Koordinaten) mit dafür geeigneter Software in das Koordinatensystem ETRS89 transformiert, das bei der Befahrung verwendet wird.

Der daraus resultierende Soll-Ist-Vergleich der GVP-Koordinaten liefert zeitbezogene Trajek-

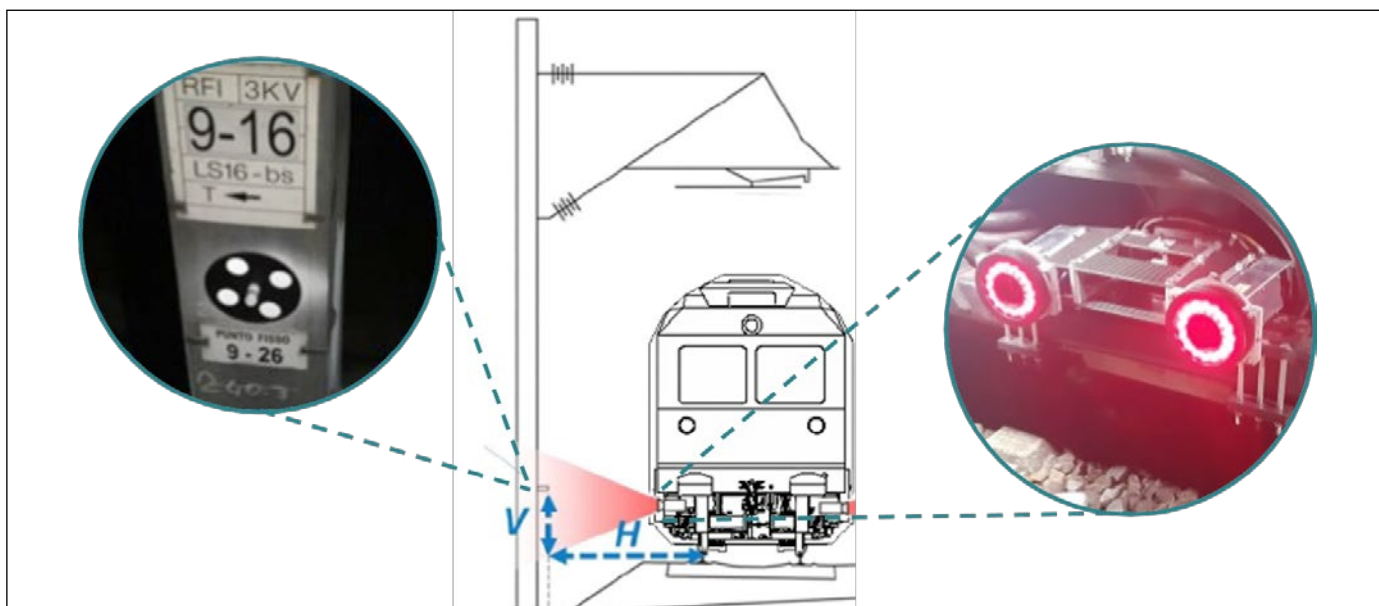


Abb. 3: Fixpunktmessung

Quelle: Obermeyer

torien-Korrekturwerte und beinhaltet noch GNSS-Ungenauigkeiten sowie Transformations-Restfehler. Diese Koordinatenunterschiede werden auf die IMU-Positionen abgeleitet und in der Post-Processing-Software eingespielt, sodass die Trajektorie erneut prozessiert werden kann. Durch die hohe Geschwindigkeit der Vermessung werden die GVP mit einem Zeitunterschied von wenigen Sekunden aufgenommen, wodurch der IMU-Drift stark minimiert werden kann. Es können dadurch auch vereinzelte, nicht erfasste oder nicht vorhandene GVP überbrückt werden. Die vorgegebenen Positionswerte der IMU fließen als Stützpunkte mit einer definierten Standardabweichung in die Neuberechnung der Trajektorie ein. Sie werden dabei der Inertiallösung gegenübergestellt und bei größeren Abweichungen durch einen Filter geringer gewichtet bzw. teilweise auch komplett verworfen. In den Anpassungsbereichen werden zusätzlich noch die GNSS-Signale abgeschaltet, sodass nur die IMU+DMI-Datenkombination verwendet wird. Somit können potenzielle Fehler in GVP-Koordinaten überwiegend eliminiert werden, vor allem Einzelfehler mit größeren Abweichungen. Das Ergebnis ist eine an das lokale System der GVP angepasste Trajektorie, die mithilfe von geeigneter Software zurück in das vom Auftraggeber vorgegebene Zielsystem transformiert wird. In einem weiteren Schritt wird mithilfe der Gleisgeometriemessung (u.a. Spurweite und Überhöhung) die Bewegung des Drehgestells im Schienenkanal kompensiert und somit die geometrische Gleismitte abgeleitet und ausgegeben. Anschließend wird die Gleisachse anhand von Soll-Geometriedaten und gemessener Gleisgeometrie abgeleitet. Hierfür werden die Bezugsstränge koordinativ festgelegt (Start/Endpunkt) und gemäß der Ril 883.9010 die Gleisachs-berechnung auf Basis der Gleismitten durchgeführt. Die Berechnung und Ausgabe kann in einem beliebigen Intervall erfolgen; in bisherigen Projekten hat sich ein Intervall von 1 m bewährt, eine deutliche Steigerung der zur

Verfügung stehenden Ist-Werte im Vergleich zu herkömmlichen Messweisen. Die vorab beschriebene Prozesskette des tmATG-Service wird zusammenfassend nochmals in Abb. 4 dargestellt.

Produktfreigabe

Die für den Einsatz erforderliche Produktfreigabe bei der DB Netz AG(DB Netz) wurde in einem anspruchsvollen Prozess mit unabhängiger wissenschaftlicher Begutachtung durch die Universität Hannover nachgewiesen. Nach dem offiziellen Antrag im Frühsommer 2020 wurden die für die Freigabe notwendigen Szenarien und Anwendungsfälle definiert. Hierfür wurde ein im gleichen Zeitraum tachymetrisch vermessener Abschnitt der Bahnstrecke Passau–Osterhofen im Sommer 2020 eigenwirtschaftlich mit Messmarkern ausgestattet und in aufeinanderfolgenden Nächten mehrfach in unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Richtungen vom EM100VT befahren, um eine umfassende und aussagekräftige Datengrundlage für die Auswertungen, Nachweise und Vergleiche zu erhalten. Im Anschluss wurden von der DB Netz die Grundlagendaten, die einer Messkampagne zugrunde liegen, und eine Koordinatenliste der GVP aus der zeitgleichen tachymetrisch ablaufenden Messkampagne zur Verfügung gestellt. Von vornherein wurde vonseiten DB Netz darauf hingewiesen, dass die übergebenen Daten unter Umständen bewusst verfälscht sein könnten. Art und Umfang der möglichen Modifikation waren selbstverständlich nicht bekannt, da dieser Eingriff in die Daten die Gutachter und die DB in die Lage versetzen sollte, die Ergebnisse besser überprüfen zu können und gewisse Anwendungsfälle zu validieren. Nach der Begutachtung und Freigabe wurde mitgeteilt, dass einige GVP-Koordinaten in Lage und/oder Höhe verändert, aber auch bekannte GVP aus den Daten gelöscht wurden, um die Neubestimmung von GVP-Koordinaten mit dem System zu prüfen. Die eigentliche Auswertung, Begutachtung und Produktfreigabe erfolgten in einem Prozess mit

regelmäßigen Meetings und Zwischenpräsentationen im Laufe des Jahres 2021.

Erste Pilotprojekte für europäische Bahnen

Die Produktfreigabe für die Infrastruktur der DB Netz ermöglicht es, neben Pilotprojekten in Europa, die unter anderem gemeinsam mit den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) durchgeführt wurden, das System in den Produktiv-einsatz zu bringen. Im Jahr 2022 konnten bereits zwei umfangreiche Messkampagnen in kurzer Zeit durchgeführt werden. Im ersten Halbjahr wurden an nur einem Sonntag ohne Beeinträchtigungen des Betriebs die durchgehenden Hauptgleise eines 76 km langen zweigleisigen Streckenabschnitts in der Region Süd der DB Netz befahren, vermessen und die Auswertungen an den Auftraggeber übergeben. Bei diesem ersten produktiven Einsatz des Systems in Deutschland konnten über 99 % der aufzunehmenden Gleise kinematisch vermessen werden. Lediglich auf wenigen hundert Metern am Ende eines Streckenabschnitts fehlte das Festpunktfeld, und zusätzlich waren einige GVP nicht erfassbar. Im zweiten Halbjahr kam das System darüber hinaus auf einer Strecke in der Region Mitte der DB Netz zum Einsatz. Der vermessene Abschnitt ist als neuralgischer Punkt im Schienenverkehr höchst ausgelastet, und Sperrpausen für Messkampagnen sind nahezu unmöglich mit den Anforderungen des Betriebs und der Betriebssicherheit vereinbar. Mit nur wenigen Wochen Vorlauf wurde die Befahrung mit einem zeitlichen Sicherheitspuffer an einem Wochenende redundant durchgeführt, die Daten für insgesamt etwa 60 km Strecke wurden ausgewertet und an den Auftraggeber übergeben. Die Auswertung und damit das Post Processing mussten sukzessive vorgenommen werden, da die Bestimmung der GVP-Koordinaten parallel durchgeführt wurde und die Daten demzufolge erst im Projektverlauf übergeben werden konnten.

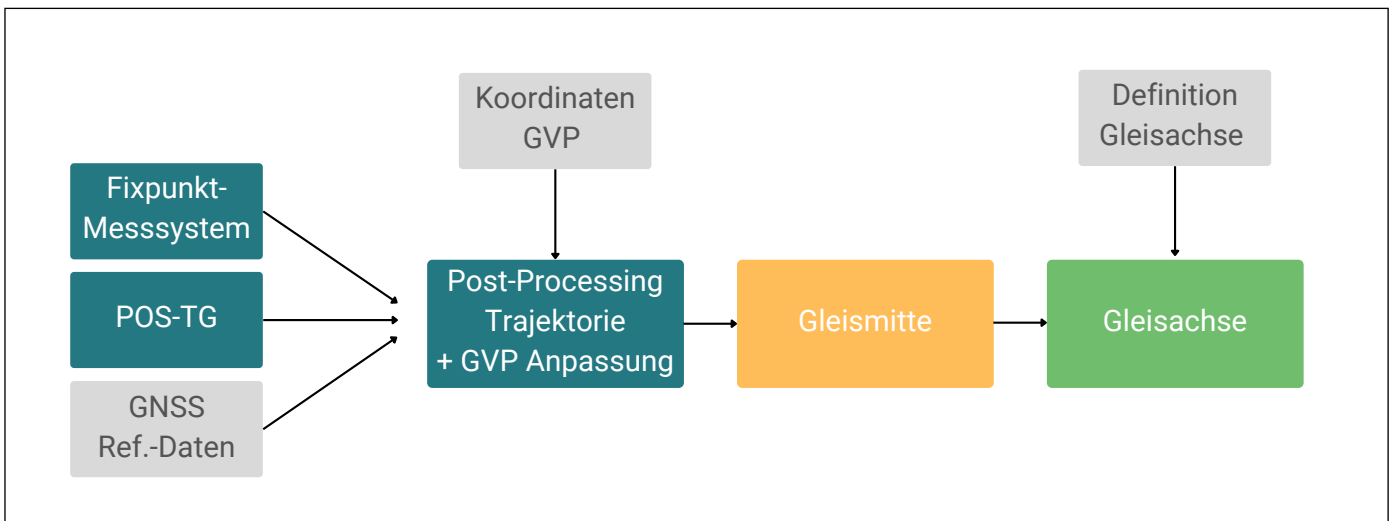


Abb. 4: Ablaufdiagramm für Post-Processing-Gleisachsen

Quelle: V. Paar



Abb. 5: Riegl VMX-Messsystem auf EM100VT

Quelle: M. Kückmann

Für die in den kommenden Jahren zu sanierenden Hochleistungskorridore der Schieneninfrastruktur in Deutschland konnten sich P&T als Fahrzeugeigner, die tmc als Systembetreiber und die Obermeyer Group als Dienstleister somit als zeitsparende und zuverlässige Alternative in ersten Pilotprojekten beweisen. Sie werden zukünftig ihren Beitrag leisten, um zeitkritische Sanierungsprojekte voranzutreiben.

Mehrwert einer digitalen Aufnahme dank zusätzlicher Sensoren

Seinen vollen Nutzen kann der EM100VT entfalten, wenn auch die zusätzlich vorhandene Sensorik zum Einsatz kommt und die entsprechenden Daten ausgewertet werden. Neben dem tmRTG ist z. B. das Mobile Mapping System VMX-Rail des Herstellers Riegl verbaut, das mit drei Laserscannern und distanzgesteuerten Farbkameras umfangreiche Aufnahmen der Gleisumgebung liefern kann (Abb. 5). So entstehen sowohl Bilddokumentationen der Befahrung als auch eingefärbte Punktwolken, die z. B. für die Bestandsaufnahme von Erneuerungsprojekten dienen und Begehungen nachgewiesenermaßen effizient ersetzen können [2]. Außerdem eignen sich diese Daten, die auf diese Weise ebenfalls ohne Betriebsbehinderungen aufgenommen werden, für

die BIM-Bestandsmodellierung (Building Information Modeling). Hierfür kam das System in Deutschland bereits im Jahr 2021 für das Großprojekt Karlsruhe – Basel zum Einsatz [3]. Eine weitere auf dem Fahrzeug verbaute Technologie sind Georadarsensoren. Der Infrastrukturbetreiber kann damit auch den Untergrund seiner Strecken untersuchen, um ein umfassenderes Bild zum nötigen oder eventuell auch nicht nötigen Sanierungsaufwand zu erhalten. Dieses System kam bei einem der Pilotprojekte bei der Befahrung ebenfalls zum Einsatz. Die durch künstliche Intelligenz unterstützte Auswertung der Daten ermöglichte es, dem Auftraggeber innerhalb kurzer Zeit eine komplette Darstellung des Untergrunds der Streckengleise zu übergeben.

Weitere Sensorik für eine universelle Betrachtung des Gleises und auch des Zustands von Weichen und Fahrdrabt steht mit dem EM120VT zur Verfügung, der 2022 auf der iaf in Münster der Öffentlichkeit vorgestellt werden konnte.

Da immer mehr hochkomplexe Systeme simultan auf den Fahrzeugen betrieben werden, die Daten live erzeugen und auswerten, wird derzeit die speziell für Gleisbaumaschinen maßgeschneiderte Datenplattform tmOS entwickelt. Mit dieser werden die Integrität und die

Qualität der Daten auf den Maschinen sichergestellt. Andererseits eröffnet sich die Möglichkeit, die Daten direkt und nahtlos zwischen Maschine und Backoffice zu übertragen und für die weitere Verarbeitung zur Verfügung zu stellen. Somit kann eine echte Ende-zu-Ende-Digitalisierung der Schiene verwirklicht und können die Prozesse in der Eisenbahninstandhaltung noch weiter optimiert werden. ■

QUELLEN

- [1] Oberlechner, G.; Zywiol, J.: POS/TG – Innovation auf dem Gebiet der Gleisgeometriemessungen, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 09/2001, S. 6-9
- [2] Hinterberger, F. et al.: BIM im Bestand – Digitalisierung des physischen Eisenbahnfahrwegs, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 07/2019, S. 16-21
- [3] Deutsch-Österreichische Innovationskooperation erstellt Digitalen Zwilling, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 7+8/2021, S. 81



Marc Kückmann

Leiter Niederlassung
Obermeyer Infrastruktur GmbH & Co KG,
Karlsruhe
marc.kueckmann@obermeyer-group.com



Maximilian Bade

Leiter Abteilung Digitale Planung
Obermeyer Infrastruktur GmbH & Co KG,
Karlsruhe
maximilian.bade@obermeyer-group.com



Dr. Florian Auer

Director of Technology and Innovation
Plasser & Theurer, AT-Wien
florian.auer@plassertheurer.com



Arvid Polak

Vermessungsingenieur, Infrastructure
Measurement System Integration
Track Machines Connected GmbH,
AT-Linz
arvid.polak@tmconnected.com