

360°-Multisensorplattform – Gleisgebundene Datensammlung

Teil 1: Das schnellfahrende, modulare Messsystem liefert detailreiche Informationen über die Gleisumgebung als Grundlage für die Planung und Arbeiten im Bestand.

ALBRECHT VAATZ | RENÉ DUMITSCH

Dieser Beitrag beschreibt den Prozess der gleisgebundenen Messdatenerfassung durch die 360°-Multisensorplattform (MSP) und die Möglichkeiten zur weiteren Nutzung der erzeugten Daten. Nach der Darstellung der Ausgangssituation und der Hintergründe der Entwicklung der MSP wird näher auf den projektpraktischen Prozess der gleisgebundenen Messdatenerfassung, den Informationsgehalt der Messdaten und die Möglichkeiten der Datennutzung eingegangen. Abschließend werden aktuelle Herausforderungen aufgezeigt, und es wird ein Ausblick auf den zweiten Beitrag zur Beschreibung der weiteren Prozessschritte gegeben, der im Dezember 2023 im EISENBAHNINGENIEUR veröffentlicht wird.

Ausgangslage

Die Digitalisierung des Bauwesens ist eng mit der Implementierung der Methode des

Building Information Modeling (BIM) verknüpft, deren Nutzung die konsequente Bündelung möglichst aller Informationen innerhalb eines digitalen, drei- bzw. mehrdimensionalen Abbilds (umgangssprachlich „3D-Modell“ oder „Digitaler Zwilling“) des Planungsobjekts oder Gebäudebestands vorsieht. Während die BIM-Methode im Hochbausektor bereits über den kompletten Lebenszyklus hinweg genutzt wird [1], besteht im (Eisenbahn-)Infrastruktursektor noch Nachholbedarf.

Den Zielvorgaben des Bundes [2] folgend, hat sich u.a. die Deutsche Bahn AG (DB) die verbindliche Nutzung der BIM-Methodik ab 2025 für alle Planungsmaßnahmen vorgenommen [3].

Folgerichtig wurden zahlreiche Pilotprojekte initiiert und Erfahrungen bei der Nutzung der BIM-Methode gesammelt. Die DB Bahnbau Gruppe GmbH (DB BBG) hat 2018 im Rahmen eines BIM-Pilotprojekts [4] die Herausforderungen erkannt, die in der Beschaffung einer geeigneten Datengrundlage, sog. Punktwolken, für die Erstellung eines digitalen Zwillings des Bestandes liegen.

Die üblicherweise vorhandenen Bestandsunterlagen deutscher Infrastrukturbetreiber liegen in unterschiedlichen Datenformaten vor, sind von variierender Qualität und Aktualität, verteilt auf verschiedene Regionen und daher teils nicht ausreichend für die Erzeugung eines BIM-tauglichen 3D-Planungs- oder Bestandsmodells.

Der Aufwand zur Beschaffung von Punktwolken und zur Erlangung planungstechnisch erforderlicher Ortskenntnisse ist mit Blick auf die über 33 000 Streckenkilometer des Streckennetzes sowie die zahlreichen Gebäude, technischen Anlagen und Liegenschaften der DB erheblich. Die hohe Netzauslastung erschwert stationäre Scans und Begehungen wegen deren Auswirkungen auf den Zugverkehr.

Entwicklung der 360°-Multisensorplattform

Die Ausarbeitung der Idee zur MSP begann im Frühjahr 2019 und erfolgte im „Gleislabor“, der Innovationsschmiede der DB BBG [5].

Der Ansatz bestand in der simultanen und schnellfahrenden Erfassung verschiedener



Abb. 1: Frontansicht des Messfahrzeugs EM SAT 120 mit MMS

Quelle: DB Bahnbau Gruppe



Abb. 2: Heckansicht des Messfahrzeugs EM SAT 120 mit Georadar-Antennen

Quelle: DB Bahnbau Gruppe

Informationen, die – mit Blick auf den Informationsbedarf hinsichtlich der Einführung von BIM und der Erstellung von 3D-

Modellen – ein facettenreiches Abbild des Gleises und der direkten Gleisumgebung darstellen.

Die Philosophie der Entwicklung ist, die bahnt intern vorhandenen Ressourcen und Kompetenzen sinnvoll zu kombinieren und Datenbeschaffungsmaßnahmen integriert umsetzbar zu machen – nach der Devise „Aus dem Konzern – für den Konzern.“

Die Ziele der Entwicklung liegen einerseits in der Schaffung einer Datengrundlage mit einheitlicher Mindestqualität, um eine verlässliche Basis zu schaffen, auf der automatische Prozesse zur Weiterverarbeitung der Daten aufgebaut werden. Andererseits ist die Reduzierung der betrieblichen Auswirkungen ein zentrales Ziel. Letztlich sollen weitere Entwicklungen zur Steigerung des Automatisierungsgrades bei der Transformation der Messergebnisse in 3D-Modelle vorangetrieben werden.

Die weitere Entwicklung erfolgte in der Kooperation von DB BGG und DB Engineering & Consulting (DB E&C), um die Stärken des Konzerns zu nutzen und den Fortschritt zu beschleunigen. Das Ergebnis ist die MSP, ein modulares System zur gleisgebundenen Erfassung von Punktwolken-, Panoramabild- und Georadarscandaten.

Die MSP basiert auf einem Gleismessfahrzeug des Typs EM SAT 120 mit einem nachgerüsteten digitalem Aufzeichnungssystem (DAS – [6]), das ursprünglich für die mechanische, millimetergenaue Gleislagemessung konzipiert wurde und bei Kontroll- und Abnahmefahrten, z. B. nach Stopf- und Gleislagekorrekturarbeiten, zum Einsatz kommt (Abb. 1).

Das eingesetzte Mobile Mapping System (MMS) „MX9“ von Trimble ist derzeit die zentrale Komponente der MSP und hat seit November 2022 eine Produktfreigabe der DB Netz [7]. Darin sind neben zwei Laserscannern, einer Panoramakamera und drei planaren Kameras auch eine GNSS-Antenne



Abb. 3: Target (40 x 40 [cm]) zur Markierung von Referenzpunkten (li.); mit Target versehener Referenzpunkt (r.)

Quelle: DB Bahnbau Gruppe

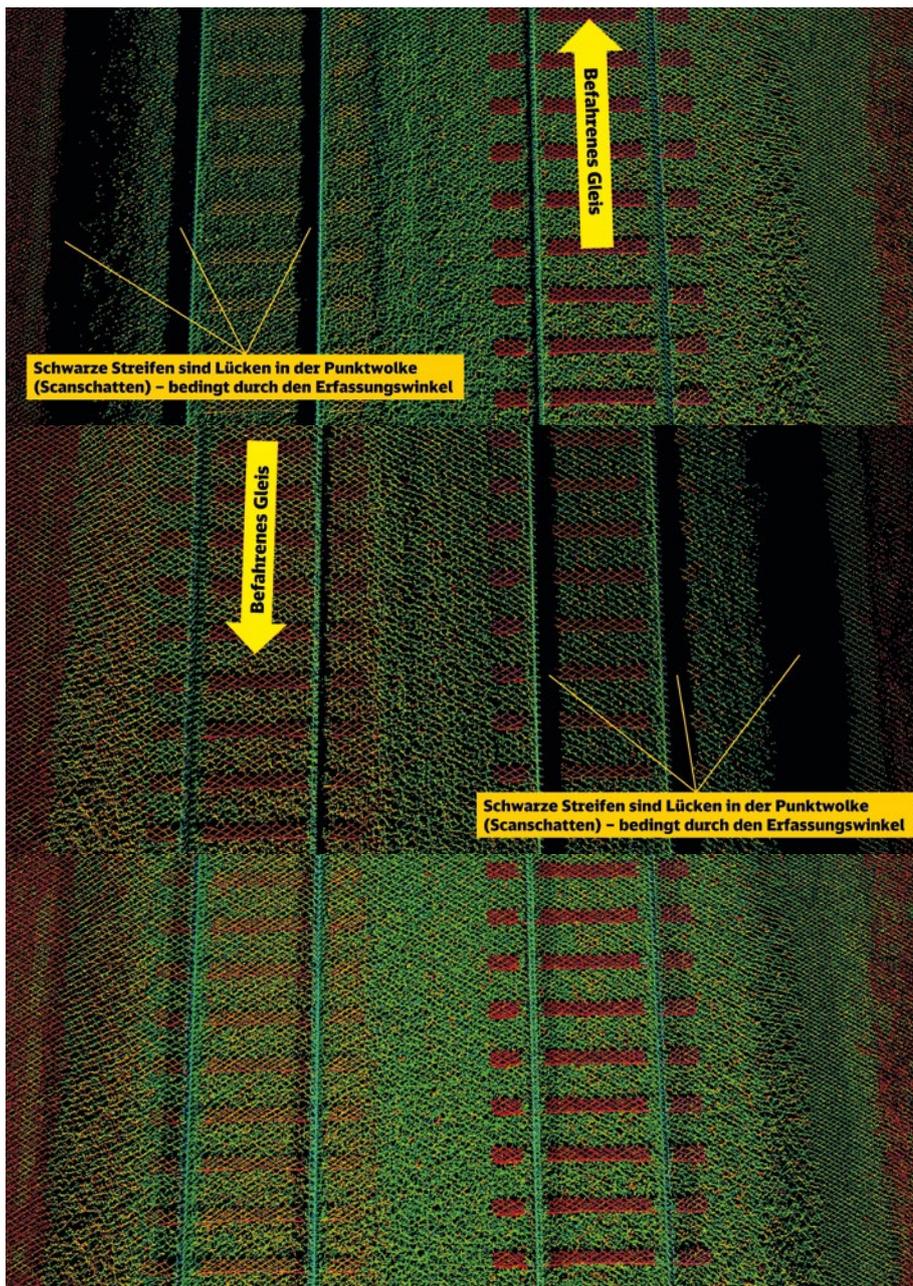


Abb. 4: Punktwolke in Intensitätsdarstellung – bei 60 km/h Messgeschwindigkeit (o.); bei 80 km/h Messgeschwindigkeit (m.); überlagerte Darstellung der oben abgebildeten Punktwolken (u.)

Quelle: MSP

(GNSS – globales Navigations-Satelliten-System) und eine inertielle Messeinheit (IMU) integriert. Zusätzlich kann das System um eine weitere GNSS-Antenne und ein optisches Distanzmessinstrument (DMI) erweitert werden. Das MMS bietet eine Schnittstelle zur Integration eines Georadar-Systems (Abb. 2), welches die dritte Komponente der MSP darstellt. Das Georadarsystem wurde unabhängig von der MSP von DB E&C entwickelt, operiert eigenständig und liefert Erkenntnisse über den Oberbau bis in eine Tiefe von ca. 4–5 m. Analog zur Kombination vorhandener technischer Komponenten unterschiedlicher Gewerke – mit dem Ziel, die Aufwände verschiedener Messdatenerfassungsver-

fahren zu bündeln – setzt sich das Kooperations-team der MSP aus der geodätischen, geologischen und planerischen Kompetenz der DB E&C und der bahn- und baubetrieblichen sowie maschinellen Expertise der DB BBG zusammen. Die gemeinsame Vision ist, die Umsetzung von BIM bei Eisenbahninfrastrukturunternehmen durch die effiziente Beschaffung erforderlicher Datengrundlagen zu unterstützen. Seit dem erfolgreichen Abschluss der Machbarkeitsstudie und Pilotierung Mitte 2021 ist die MSP im operativen Einsatz. Besonderes Augenmerk liegt auf der kontinuierlichen Optimierung und Weiterentwicklung des Systems und damit verbundener Prozesse,

die parallel zur Auftragsabwicklung vorangetrieben werden. Die Ziele und Ergebnisse der Entwicklungsbestrebungen werden in einem gesonderten Beitrag ausführlich vorgestellt.

Prozessbeschreibung

Bedarfsanalyse und Zielstellung

Zur Erläuterung des Prozesses von der Projektanbahnung bis zur Übergabe und Nutzung der Messdaten dient ein fiktives Planungsvorhaben (fPV) zur Elektrifizierung einer bestehenden, 80 km langen, zweigleisigen Eisenbahnstrecke, das mit der BIM-Methode geplant wird.

Anfangs erfolgt die Erstellung der Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA) seitens des Auftraggebers. In den AIA wird der SOLL-Zustand des 3D-Planungsmodells inkl. des Informationsgehalts und der Detailtiefe definiert. Der Informationsbedarf leitet sich aus dem Abgleich zwischen AIA (SOLL) und dem vorhandenen Datenbestand (IST) ab.

Im fPV setzt sich der Datenbestand neben Ingenieursvermessungslageplänen, Grundstücks- und Liegenschaftsinformationen auch aus Bestandsplänen der Ingenieurbauwerke, der Lichtsignaltechnik und der Ausrüstung sowie aus vereinzelt Baugrundgutachten und den Bahngeodaten zusammen, aus denen die Koordinaten vorhandener geodätischer Festpunkte und die Streckenkilometrierung hervorgehen.

Zur Erstellung eines BIM-tauglichen 3D-Modells ist ein engmaschiges Oberflächenabbild in Form einer Punktwolke eine gute Basis für den Planer, um die Geländeoberflächen und vorhandenen Bahntrassen zu modellieren. Darauf aufbauend erfolgt die Modellierung oder die Einbindung bereits vorhandener Objektmodelle, die mithilfe der Punktwolke und den Informationen aus den vorhandenen Bestandsunterlagen räumlich verknüpft werden. Da ein räumliches Abbild der zu elektrifizierenden Strecke und der Streckenumgebung im fPV nicht vorliegt, wird eine Punktwolke benötigt, deren Umfang und Eigenschaften sich aus den AIA ergeben.

Festlegung der Vorgehensweise

Punktwolken werden mithilfe von Laserscannern oder aus hochauflösenden Kamerabildern (und anschließender photogrammetrischer Auswertung der Bilddaten) erzeugt. Während stationäre Scanverfahren die höchste absolute Genauigkeit erzielen, sind sie hinsichtlich der Erfassungsgeschwindigkeit und der betrieblichen Auswirkungen den mobilen Scanverfahren (Befahrung und Befliegung) unterlegen. Die Wahl der einzusetzenden Verfahren hat daher betriebliche, zeitliche, wirtschaftliche und qualitative Auswirkungen. Sobald Umfang und Qualität der benötigten Punktwolken feststehen, folgt die Auswahl der

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Bahnbau Gruppe GmbH, DB Engineering & Consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

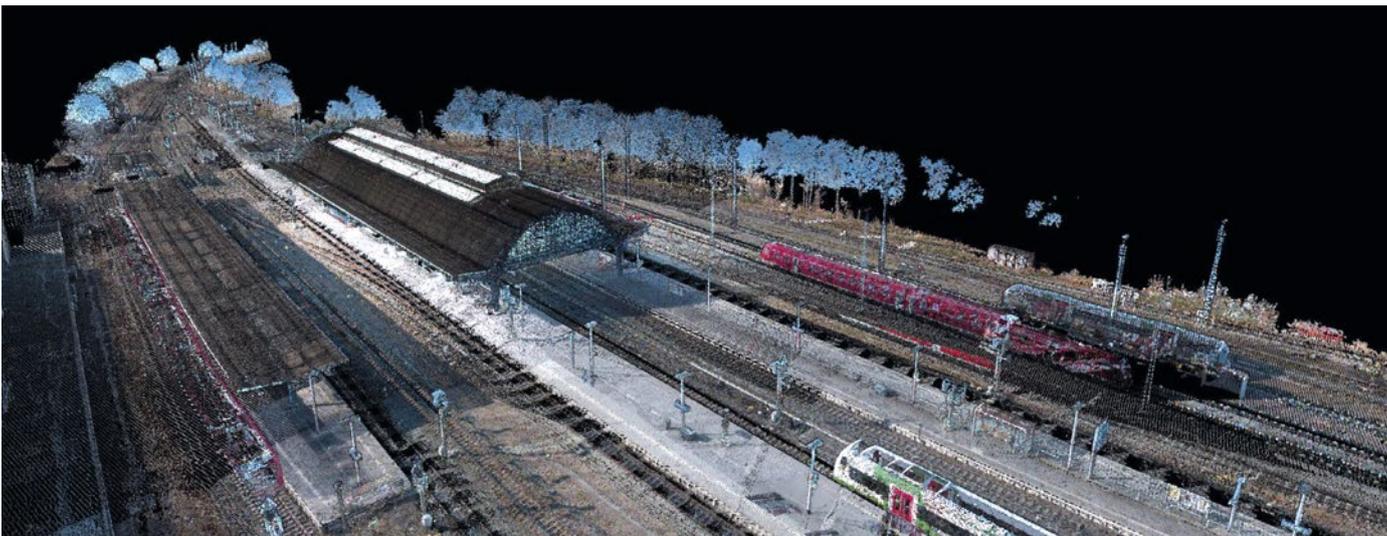


Abb. 5: Aus Referenzprojekt „EWGG“ – Ausschnitt einer Punktwolke des Hbf Gera

Quelle: MSP

Verfahren. Im fPV ist aufgrund der Länge und Topografie des Abschnitts eine Kombination aus Befahrung und stationären Scans sinnvoll. Die Befahrung liefert eine durchgängige Punktwolke des gesamten Abschnitts, Panoramabilder und planare Bilder von der Strecke im Abstand von 3 m sowie Georadarscans, während die stationären Scans zusätzlich ausgewählte Punkte (wie Bahnübergänge und Überführungsbauwerke) erfassen, bei denen eine besonders hohe Genauigkeit und Punktdichte erforderlich ist. Es folgt die Aufwandsbetrachtung, die Verfügbarkeitsprüfung und eine gro-

be Befahrungsplanung, um eine Kalkulationsgrundlage für die Angebotslegung zu schaffen.

Projektstart

Mit der Beauftragung beginnt die Vorbereitung der Messfahrt. Neben der Befahrungsplanung und dem Einlegen von Fahrplänen wird ein Messkonzept erarbeitet, um die Strecke geodätisch zu präparieren. Dazu werden in Abhängigkeit von den Genauigkeitsanforderungen gem. AIA sog. Referenzpunkte entlang der Strecke eingemessen und mit Targets (Abb. 3) markiert.

Je höher die Anforderungen an die absolute Genauigkeit der Punktwolke sind, desto kleiner wird der Abstand zwischen den Targets gewählt, die, entweder an vorhandenen Gleisvermarkungspunkten oder individuell eingerichteten Befestigungspunkten, temporär montiert werden.

Durchführung der Messfahrt

Nach Abschluss der Vorbereitungen folgt die Messfahrt. Eine gute Initialisierung des MMS stellt die präzise Bestimmung von Position und Ausrichtung der Messeinheit sicher und

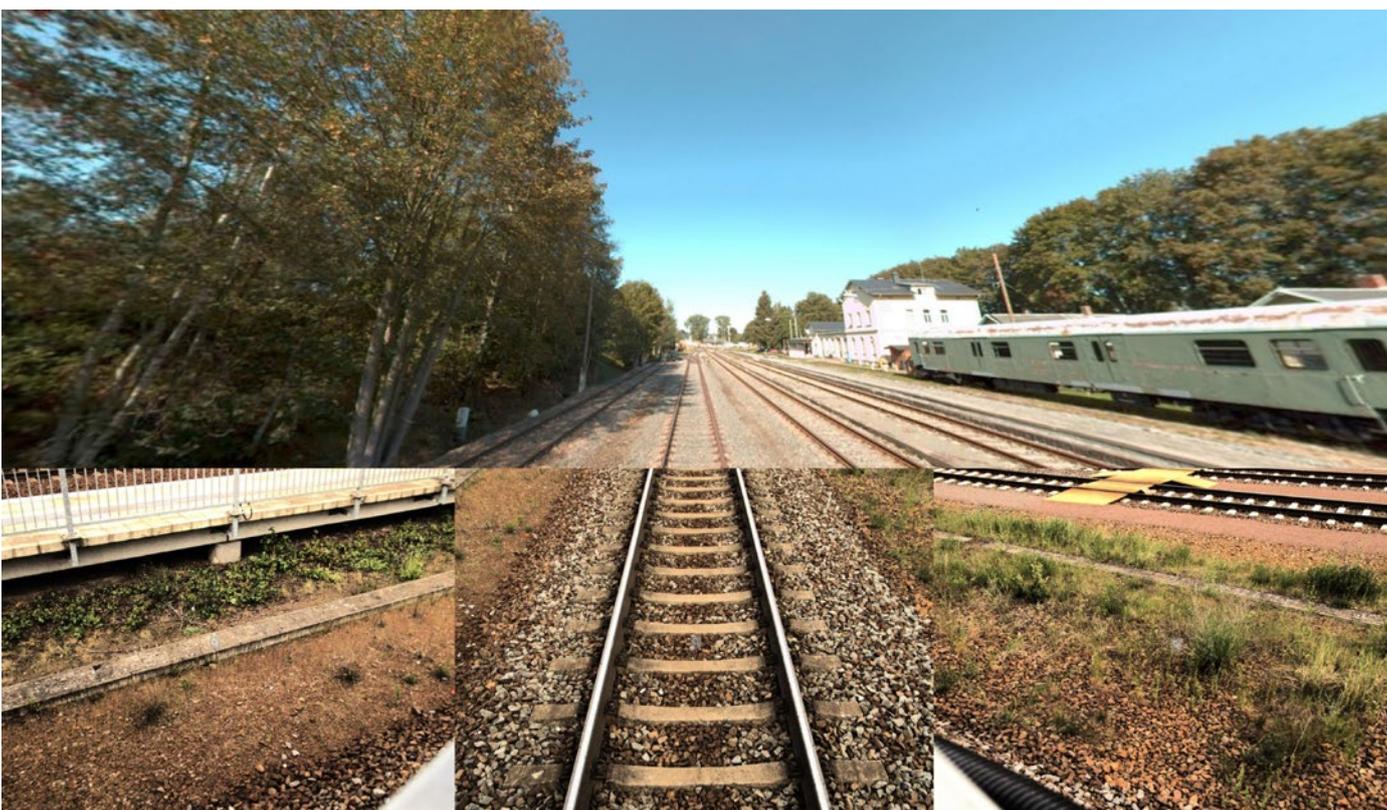


Abb. 6: Oben: Ausschnitt eines 360° Panoramabilds; unten: Beispielbilder der planaren Kameras

Quelle: MSP

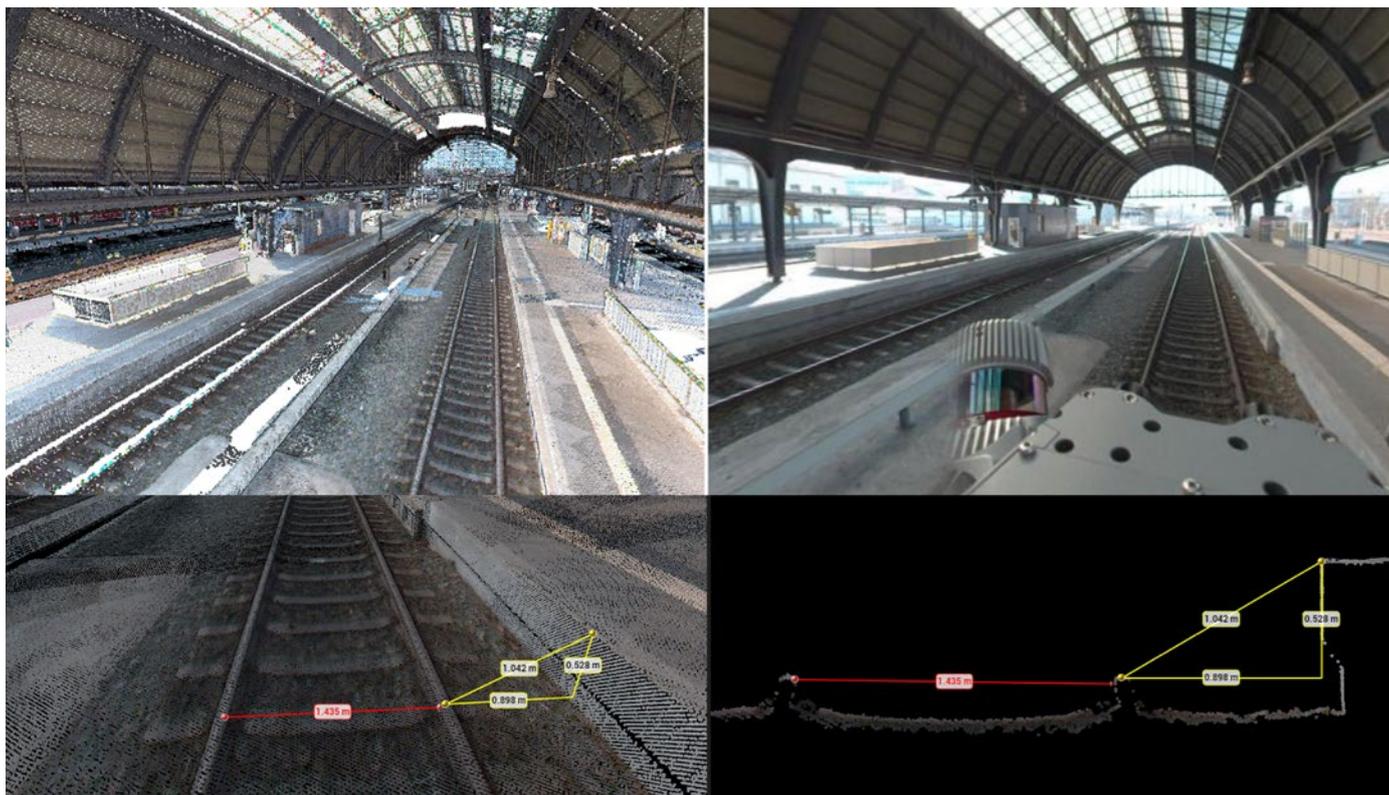


Abb. 7: Aus Referenzprojekt „EWGG“ – kombinierte Darstellung von Punktwolke und Bildpanorama (o.); Beispiel für Messungen in einer Punktwolke (u.)

Quelle: MSP

wirkt sich positiv auf die Genauigkeit der Messdaten aus.

Die Messfahrten für das fPV werden mit Geschwindigkeiten bis zu 80 km/h ausgeführt, für die Befahrung der zweigleisigen Strecke von 80 km Länge genügt ein Tag. Dabei werden beide Gleise befahren, u. a. um Verschattungen (Abb. 4) zu reduzieren und durch Zugfahrten im Nachbargleis verdeckte Bereiche zu erfassen.

Voraussetzung für die reibungslose Datenerfassung sind gute Lichtverhältnisse und Witterungsbedingungen, da Regen und Schnee die Kameras zusetzen und Schnee die Oberfläche verdecken kann. Der Ablauf von Messfahrten wird neben der Fahrplanung maßgeblich vom Betrieb und den Vorgaben der Fahrdienstleiter beeinflusst.

Nach der letzten Messung wird die Deinitialisierung des Systems und die Sicherung der aufgezeichneten Rohdaten vorgenommen, die anschließend ausgewertet und bereitgestellt werden.

Ergebnisse

Punktwolkendaten

Jeder Punkt einer Punktwolke enthält Positionsinformationen (X-, Y-, Z-Koordinate), die eine globale Verortung der erfassten Objekte ermöglichen. Über den Intensitätswert (Abb. 4) eines Punktes lassen sich Rückschlüsse auf die Reflektionseigenschaften der erfassten Oberfläche schließen, wodurch

die Zuordnung von Punkten zu Objekten begünstigt wird. Die nachträgliche Übertragung von Farbinformationen aus den Bild- auf die Punktwolkendaten ermöglicht die farbige Darstellung von Punktwolken (Abb. 5).

Die Laserscanner rotieren mit bis zu 250 Hz und erzeugen Scanlinien, deren Abstand von der Fahrgeschwindigkeit des Messzuges abhängig ist. Durch die gekreuzte Anordnung der Scanner werden zwei sich schneidende Scanlinien erzeugt, die dem Aussehen eines Netzes ähneln (Abb. 4). Die Genauigkeit der globalen Verortung (absolute Genauigkeit) der Punkte ist abhängig vom geodätischen Vorbereitungsaufwand und bewegt sich aktuell im Spektrum zwischen 50 – 100 cm (geringer Aufwand) und 5 – 20 cm (sehr hoher bis mäßiger Aufwand). Die relative Genauigkeit ist maßgebend für Messungen von Punkt zu Punkt und liegt bei ca. 3 – 5 mm.

Bilddaten

Die Panoramabilder setzen sich aus sechs Einzelbildern mit einer Auflösung von je 5 MP zusammen und ermöglichen einen 360°-Blick – Handling (Zoomen, Schwenken und Bewegung) und Sichtfeld sind ähnlich wie „Google-Street-View“ (Abb. 6, o.). Zusätzlich erfassen drei planare Kameras mit je 5 MP die Bereiche vor sowie links und rechts neben dem Zug (Abb. 6, u.). Der Bildabstand kann in 1 m-Schritten individuell festgelegt werden.

Georadar-Daten

Die Bereiche direkt unterhalb der Gleisachse sowie auf der Bahn- und Feldseite der Gleise werden jeweils von zwei Georadar-Antennen (400 und 1000 MHz) erfasst. Bei einer Messgeschwindigkeit von 100 km/h wird kontinuierlich alle 5 cm ein Scan erzeugt. Eine höhere Auflösung ist bei reduzierter Geschwindigkeit möglich. In den Radargrammen können u. a. Schichtdicken und -verläufe, Leitungen, Fehlstellen und Altbauungen im Untergrund detektiert werden. Zusätzlich können Auffälligkeiten im Baugrund (z. B. Schlammstellen) erkannt werden, noch bevor diese an der Oberfläche sichtbar sind, und aus der Schottermächtigkeit lässt sich die Querneigung des Gleisbettes bestimmen. Durch den frühestmöglichen Einsatz des Verfahrens können weitere Untersuchungen, wie z. B. geotechnische Aufschlüsse gem. RIL 836.1002 [8], optimal vorbereitet und die Gefahr „böser“ Überraschungen kann reduziert werden [9].

Bereitstellung der Daten

Zur Bereitstellung der ausgewerteten Daten kann ein browserbasierter Viewer genutzt werden, der Punktwolken- und Bilddaten kombiniert darstellt (Abb. 7, o.). Nutzer erhalten per Log-in die Möglichkeit, mit den Daten zu arbeiten, um z. B. Messungen vorzunehmen (Abb. 7, u.), Anmerkungen zu machen oder Ortskenntnis zu erlangen. Auch für Planer, die mit der Punktwolke in einer nativen Software zur Erstellung von 3D-Modellen arbeiten, ist der Viewer durch die Einbindung der Bilddaten

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Bahnbau Gruppe GmbH, DB Engineering & Consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

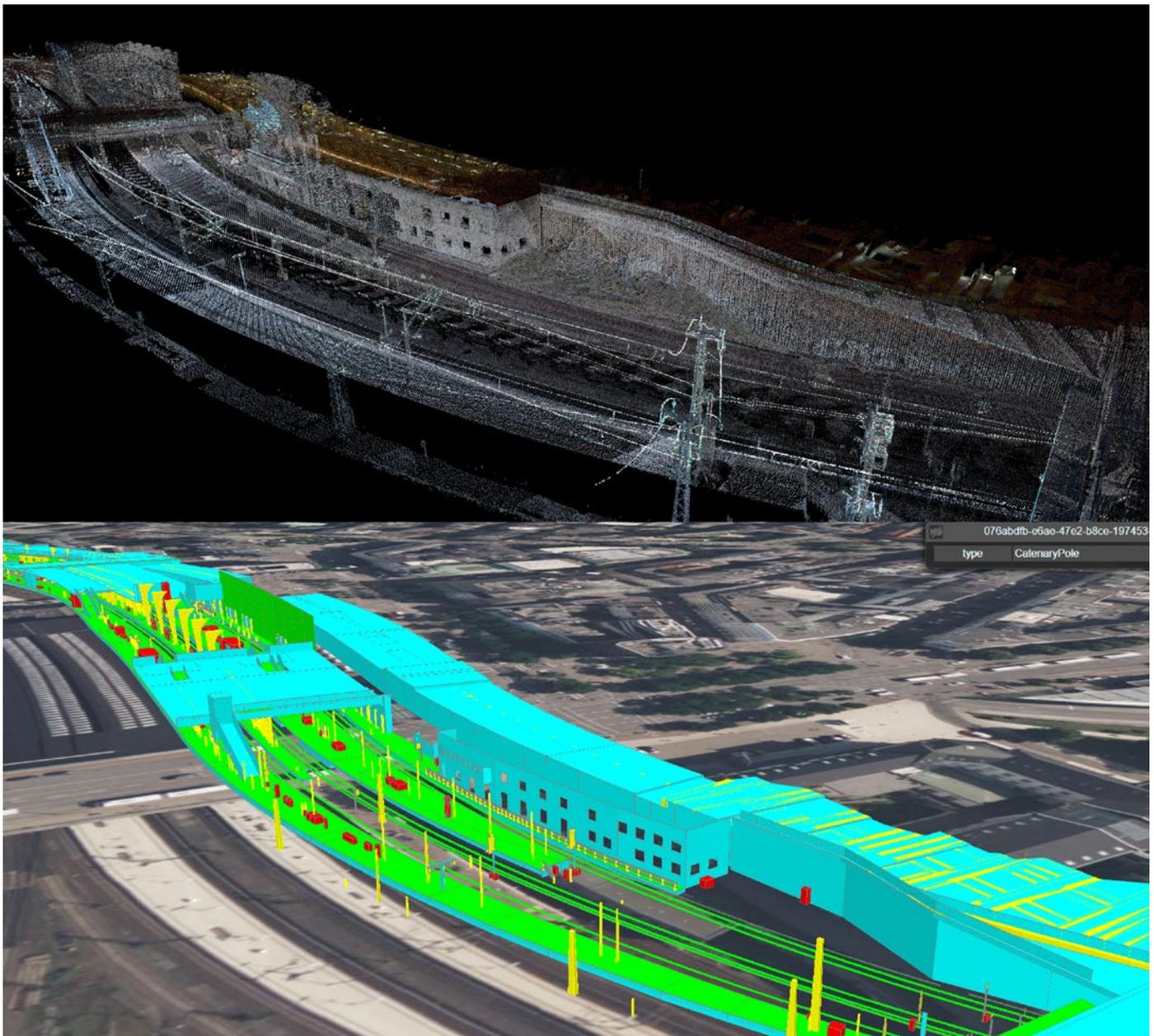


Abb. 8: Aus Referenzprojekt der Digitalen Schiene Deutschland: Ansicht der Gleisanlage und Umgebung des Hbf Hamburg – Echtfarbdarstellung der Punktwolke als Modellierungsgrundlage (o.); auf Punktwolkenbasis erzeugtes 3D-Modell (u.) *Quelle: MSP, Digitale Schiene Deutschland*

ten ein nützliches Hilfsmittel. Über ein Plug-in können im Viewer erzeugte Messungen und Annotationen z. B. in die Software „QGIS“ überführt und dort weiter genutzt werden.

Beispielprojekte

Die Messdaten der MSP werden im Rahmen vieler verschiedener Anwendungsfälle benötigt. Dazu zählen hauptsächlich Planungs- und Baumaßnahmen, wie die Elektrifizierung und der zweigleisige Ausbau von Strecken, oder die Umsetzung von Digitalisierungsvorhaben. Auch für den Betrieb und die Instandhaltung von Strecken sind die Daten wertvoll, z.B. zur Kontrolle der Lichtraumprofilfreiheit oder zur Erlangung von Ortskenntnis. Sowohl beim Bauprojekt Stade – Cuxhaven, bei dem es um die Elektrifizierung der Strecke und

eine Erhöhung der Geschwindigkeit geht, als auch beim Ausbau der zweigleisigen Strecke der Marschbahn zwischen Niebüll – Klanxbüll und Morsum – Tinnum hat die MSP Messfahrten durchgeführt. Die Daten dienen als Grundlage für die Planung, die nach der BIM-Methode ausgeführt wird. Die Befahrungsdaten wurden bereichsweise und punktuell ergänzt um Befliegungsdaten und stationäre Scans, um den Planungskorridor vollumfänglich darzustellen und in kritischen Bereichen die hohen Genauigkeitsanforderungen zu erfüllen. Weitere Beispielvorhaben, in denen mit Befahrungsdaten der MSP gearbeitet wird, sind u.a. die Projekte „Elektrifizierung der Strecke Weimar – Gera – Gößnitz“ (EWGG, Abb. 5 und 6), „Digitale Schiene Deutschland“ (Abb. 8) und „Bestandsplan 4.0“ (BP 4.0). Die Daten

werden für virtuelle Streckenbegehungen sowie Messungen, Verortungen und Mengenermittlungen im Bestand genutzt, aber auch für den Aufbau digitaler Streckenmodelle, die Erstellung von hochauflösenden Karten für den vollautomatischen Bahnbetrieb und den Soll-Ist-Abgleich bzw. die Aktualisierung von Bestandsplänen.

Aktuelle Herausforderungen

Die Steigerung und Konstanz der erzielten Genauigkeiten haben eine hohe Priorität. Neben der technischen und prozessualen Entwicklung haben dabei die Rahmenbedingungen Einfluss auf die Genauigkeit, die von den örtlichen Bedingungen und vom geltenden Regelwerk abhängen. Weiteres Entwicklungspotenzial liegt in der Steigerung der Auswer-

tegeschwindigkeit und der Effizienz bei der Erzeugung von 3D-Modellen auf Basis der Messdaten.

Zusammenfassung und Ausblick

Die gleisgebundene Messdatensammlung mit der MSP stellt eine wichtige Ergänzung der verfügbaren Methoden dar, um eine Vielzahl georeferenzierter Informationen von der bestehenden Gleisinfrastruktur zu sammeln und zeichnet sich durch die hohe Effizienz der Datenbeschaffung, die Vielzahl der Nutzungsmöglichkeiten der Daten und den geringen Einfluss auf den Betrieb aus. Die Vorstellung der restlichen Prozesskette erfolgt in einem gesonderten Beitrag, der die Auswertung, Aufbereitung und Einbindung weiterer Daten sowie die Modellierung und Bereitstellung der Daten näher betrachtet. ■

QUELLEN

[1] <https://www.bauindustrie.de/bim/hochbau>, 06.01.2023 um 9:57
 [2] Bramann, H.; May, I.: Stufenplan Digitales Planen und Bauen, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 12/2015, S. 4-6
 [3] DB AG: BIM-Strategie – Implementierung von Building Information Modeling (BIM) im Vorstandsressort Infrastruktur der Deutschen Bahn AG, Digitales Planen und Bauen von Infrastrukturprojekten 02/2022, S. 5-13
 [4] <https://www.baugerichtstag.de/wp-content/uploads/2020/02/Bahn-Signalausleger.pdf>, 06.01.2023 um 9:58

[5] <https://gleislabor.deutschebahn.com/gl/#>, 06.01.2023 um 9:58
 [6] <https://gleislabor.deutschebahn.com/gl/EM-DAS-4091130#>, 06.01.2023 um 9:58
 [7] Reifenhäuser, M.; Stockenhofen, M.: Produktfreigabe PF-2022-00292 – Multisensorsystem AllTerra-Trimble MX9, DB Netz AG 11/2022
 [8] Fischer, R.: Richtlinie 836.1002 Geotechnische Untersuchungen, DB Netz AG 02/2013, S. 5-10
 [9] https://db-engineering-consulting.com/wp-content/uploads/2020/12/2020-12_DB-EC_Flyer-Georadar_de_Einzelseiten.pdf, 06.01.2023 um 9:58



M. Sc. Albrecht Vaatz
 Techn. Projektleiter
 360°-Multisensorplattform
 DB Bahnbau Gruppe GmbH, Dresden
 albrecht.vaatz@deutschebahn.com



Dipl.-Ing. (FH) René Dumitsch
 Techn. Projektleiter
 360°-Multisensorplattform
 DB Engineering & Consulting GmbH,
 Berlin
 rene.dumitsch@deutschebahn.com

INNOVATIVE LÖSUNGEN

BERATUNG · PLANUNG · PRODUKTION · LIEFERUNG · MONTAGE



Leckagewannen



MOSELLAND Großflächenplatten



Auffangsystem an Tankanlagen



Lokabstellplätze



Versorgungs- und Dienstwegsystem



Wilde Acht 15
 D-54329 Konz

Tel. +49 6501 9411-0
 Fax +49 6501 9411-25

www.weco-gmbh.com
info@weco-gmbh.com

Informationen senden wir Ihnen
 auf Anfrage gerne zu.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Bahnbau Gruppe GmbH, DB Engineering & Consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH