

Einführung von Mobile Mapping für die Gleisvermessung

Die DB-Netz AG erteilt dem Multisensorsystem AllTerra-Trimble MX9 die Produktfreigabe für Aufgaben der Gleisvermessung nach Ril 883.

JANINE RAMANN | ANDREAS SINNING |
VOLKER WEGENER

Für die Vermessung der Gleise, die Bestandsaufnahme zur Digitalisierung und als Ergänzung zu klassischen Vermessungen bietet sich der Einsatz von Mobile Mapping Systemen (MMS) an, die störungsfrei in die Zugfolgen integriert werden können und die Aufnahmen in den geforderten Qualitäten sicherstellen. Mit dem jetzt nach Richtlinie (Ril) 883 freigegebenen Multisensorsystem (MSS) AllTerra-Trimble MX9 können Gleise, Topografie und Lichtraum schnell und präzise erfasst werden. Das System wird auf Zügen oder anderen Schienenfahrzeugen vor dem Einsatz montiert und erfasst während der Fahrt große Abschnitte des Gleisnetzes.

Einleitung

Der sichere Eisenbahnverkehr und die gewünschte Erhöhung von Transportkapazitäten

auf der Schiene erfordern regelmäßige Gleisvermessungen und eine Digitalisierung der Schieneninfrastruktur. Die gestiegene Netzauslastung und strengere Sicherheitsvorschriften erschweren zunehmend die Arbeiten im Gleisbereich. Hinzu kommen gestiegene Anforderungen an die Produktivität und den Detaillierungsgrad.

Für die Vermessung der Gleise und die Bestandsaufnahme zur Digitalisierung und als Ergänzung zu klassischen Vermessungen bietet sich der Einsatz von MMS an, die störungsfrei in die Zugfolgen integriert werden können und die Aufnahmen in den geforderten Qualitäten sicherstellen.

Die Erfassung der Gleislage und Aufnahme der Zwangspunkte der Trassierung entsprechend der Ril 883 [1] erfolgt heutzutage nach wie vor oftmals klassisch in Form einer geodätischen Bestandsaufnahme mittels Tachymeter. Zusätzlich kommen handgeschobene Gleismesssysteme wie das Trimble GEDO IMS-Scan-System zur Bestimmung der Gleislage und hochauflösenden Erfassung der gleisnahen Umgebung zum Einsatz [2].

Mit dem MSS AllTerra-Trimble MX9 (MX9) können Gleise, Topografie und Lichtraum schnell und präzise erfasst werden. Das System wird auf Zügen oder anderen Schienenfahrzeugen vor dem Einsatz montiert und erfasst während der Fahrt große Abschnitte des Gleisnetzes.

Produktfreigabe durch die DB Netz AG – Anwendungsfelder

Nach umfangreichen Prüfungen und zusätzlicher Bewertung durch ein wissenschaftliches Institut hat die DB Netz AG (DB Netz) dem MX9 die Produktfreigabe [3] erteilt. Es ist bisher das einzige mobile, nicht fest mit einer Lokomotive verbundene MSS, dem die Produktfreigabe für die Nutzung bei der DB Netz erteilt wurde.

Das MSS MX9 hat eine Produktfreigabe für folgende Anwendungen (Abb. 1):

- Aufnahme Gleis
- Aufnahme Zwangspunkte
- Aufnahme Lichtraum
- Aufnahme topografische Objekte
- Aufnahme Panoramabilder.

Aufnahme Gleis	Aufnahme Zwangspunkte	Aufnahme Lichtraum für Lichtraumdatenbank	Aufnahme topografische Objekte	Aufnahme Panoramabilder
Geltungsbereich:				
DB Strecken mit $V_e \leq 230$ km/h	DB Strecken mit $V_e \leq 230$ km/h	DB Strecken	DB Strecken	DB Strecken
Aufnahmesystem AllTerra-Trimble MX9				
Auswertesoftware Applanix POSPac und Trimble TBC				
Kalibrierung: zuletzt maximal 12 Monate vor Aufnahmedatum				
Geschwindigkeit bei der Aufnahme: $40 \text{ km/h} \leq V_{\text{Aufnahme}} \leq 100 \text{ km/h}$				
Auswertung Trajektorie: IMU + GNSS + GNSS-Referenzstationsdaten				
Genauigkeit der Trajektorie im ETRS89 ohne Passpunkte und bei gutem GNSS-Empfang: $\sigma \leq 6 \text{ cm}$				
Kontrollierte Aufnahme				
Auswertestrategie (Kapitel 7.6) oder zweite Befahrung	Befahrung im Fahrgleis und visuelle Prüfung im Panoramabild	Befahrung im Fahrgleis und visuelle Prüfung im Panoramabild	Befahrung im Fahrgleis	entfällt, wenn die Aufnahmequalität der Erstaufnahme ausreichend ist
GVP vorab geodätisch überprüfen und GV-Targets verwenden				
für alle GVP erforderlich	alle GVP im Zwangspunktbereich	nicht erforderlich	Passpunktpaare	nicht erforderlich
Geodätisches Bezugssystem der finalen Punktwolke				
Entsprechend Gleisvermarkung	Entsprechend Gleisvermarkung	Lokales Gleiskoordinatensystem	DB_REF2016	entfällt
Genauigkeit der finalen Punktwolke im geodätischen Bezugssystem				
$\sigma_{rL} \leq 5 \text{ mm}$ $\sigma_{rH} \leq 5 \text{ mm}$	$\sigma_{rL} \leq 5 \text{ mm}$ $\sigma_{rH} \leq 5 \text{ mm}$ $\sigma_u \leq 5 \text{ mm}$	$\sigma_{YZ} \leq 15 \text{ mm}$ $\sigma_X \leq 500 \text{ mm}$ $\sigma_e \leq 15 \text{ mm}$ $\sigma_u \leq 2 \text{ mm}$	$\sigma \leq 0,1 - 0,2 \text{ m}$ (objektabhängig) $\sigma \leq 3 \text{ cm}$ (Passpunkte)	entfällt

Abb. 1: Übersicht Anwendungen und Anforderungen

Quelle: DB Netz AG



Abb. 2: Aufbauvarianten Bahn

Quelle: Allterra Deutschland GmbH

Systembeschreibung

Das MX9 kann auf unterschiedlichsten Vehikeln wie Pkw, Booten, Draisinen oder Kleinstfahrzeugen aufgebaut werden. Für den Einsatz auf dem Gleis wird das System mit einer entsprechenden Unterkonstruktion auf dem jeweiligen Schienenfahrzeug montiert (Abb. 2).

Die Produktfreigabe für das System erstreckt sich über den Fahrtgeschwindigkeitsbereich von 40 km/h bis 100 km/h. Dies ermöglicht die Messung im laufenden Verkehr, ohne eine Sperrung zu benötigen. Das macht den Ein-

satz besonders auf stark frequentierten Strecken sehr interessant.

Das MX9 ist mit zwei Laserscannern ausgestattet, die in einer Butterfly-Anordnung installiert sind und jeweils maximal 1,8 Mio. Punkte/Sekunde aufzeichnen können. Durch diese spezielle Anordnung werden Abschattungen im Datensatz vermieden, und es entsteht eine dichte und homogene Punktwolke. Weiterhin verfügt das System über eine Panoramakamera und drei planare Kameras – zwei Seitenkameras und eine nach unten auf das Gleisbett gerichtete Kamera. Der Aufbau des Systems

und die Systemkomponenten sind in Abb. 3 abgebildet. Bei Bedarf können weitere hochauflösende AllTerra Aquiview Kameras [4], z. B. für die gezielte Aufnahme der Schienenköpfe, ergänzt werden.

Über einen GNSS-Empfänger, kombiniert mit einer hochpräzisen Inertial-Einheit (IMU) und einem optischen Odometer, wird die Raumtrajektorie der Messfahrt bestimmt.

Das geringe Systemgewicht von 37 kg erlaubt einen schnellen Auf- und Abbau. Die Befestigung erfolgt über ein spezielles Aufnahmesystem mit vier Befestigungspunkten, das eine schnelle und sichere Montage garantiert. Die Montage auf Schienenfahrzeugen erfolgt in der Regel auf einer individuell einstellbaren Halterung. Alternativ sind fahrzeugspezifische Lösungen möglich.

Datenaufnahme

Das MX9 kann sowohl autark mit Batterien als auch direkt über das Bordnetz des Fahrzeugs betrieben werden. Vor jeder Befahrung wird eine kurze Initialisierung durchgeführt. Nach der Initialisierung wird mit der Datenaufnahme – der Befahrung – begonnen.

Die Datenaufzeichnung erfordert außer dem Starten und Stoppen per Klick keine weiteren Eingriffe. Es sind einzig Protokolle über die befahrenen Strecken, Auffälligkeiten und Ereignisse zu führen.

Zum Ende der Befahrung erfolgt eine kurze De-Initialisierung des Systems, bei der für fünf Minuten im Stillstand GNSS-Daten an einem Ort mit wenig Abschattungen aufzuzeichnen sind. Nach dem Herunterfahren des Systems stehen die Daten für die weiteren Auswertungen zur Verfügung.

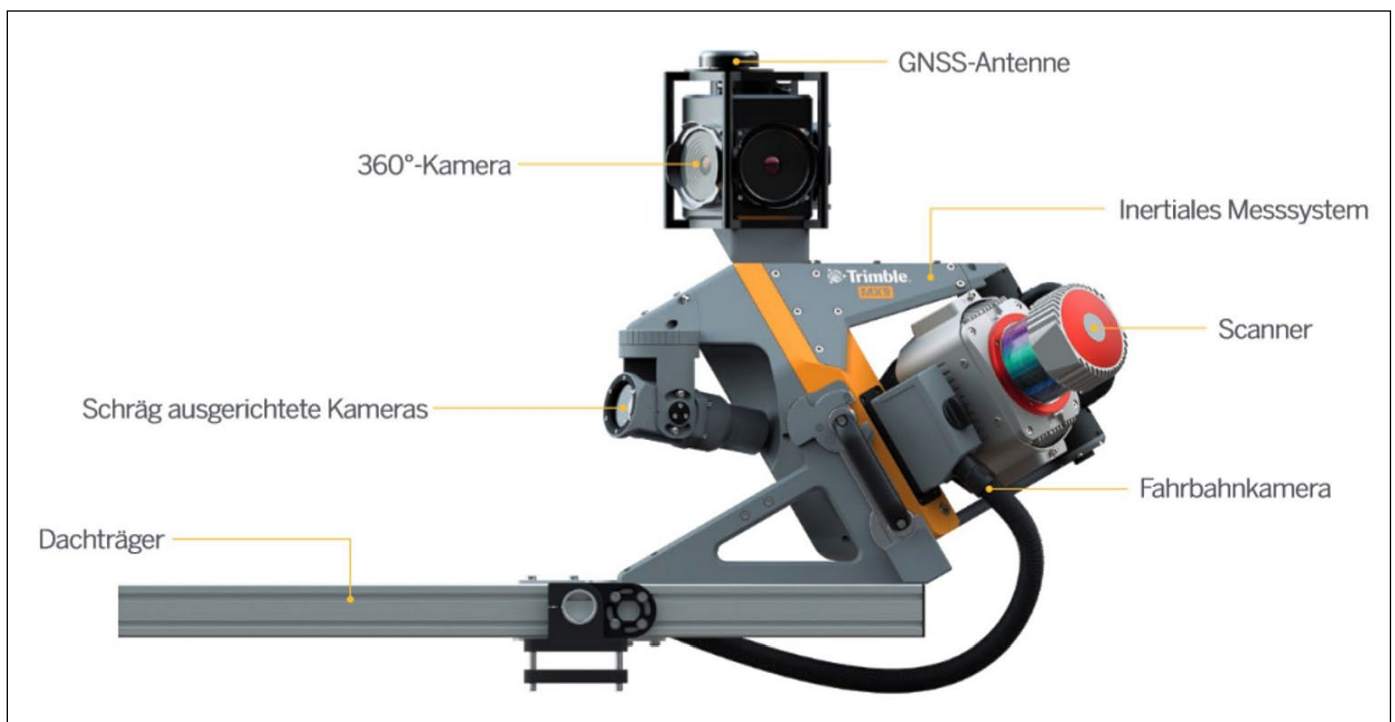


Abb. 3: Systemkomponenten Trimble MX9

Quelle: Trimble



Abb. 4: Zieltafel für kinematische Messsysteme

Quelle: DB Netz AG

Witterungsbedingungen

Bei der Planung einer Befahrung ist die Wetterlage ein wichtiger Faktor. Optimale Befahrungsbedingungen sind sonniges Wetter oder auch bewölkter Himmel und eine Temperatur zwischen 0 °C und 40 °C.

Durch die IP Schutzklasse IP 64 kann das System auch bei schlechteren Wetterbedingungen ohne Beschädigung betrieben werden. Es ist z.B. möglich, das System bei Regen aufzubauen, damit ins Aufnahmegebiet zu

fahren, die Systeme zu starten und zu initialisieren – und dann bei Regenspauzen nach dem trocknen/säubern der Laser- und Kamera-Schutzgläser sofort mit der Datenaufnahme zu beginnen.

Passpunkte

Vor der Befahrung ist abzuschätzen, in welchem Umfang für die Erreichung der vorgegebenen Qualitätsanforderungen die Verwendung von Passpunkten für die Geo-

Referenzierung – der per GNSS-/IMU-Auswertung und Transformation in das geodätische Bezugssystem referenzierten Messdaten – notwendig ist. Für die Ril 883-Anwendungsfälle variieren die Abstände je nach Qualitätsanforderung.

Ideal ist die Nutzung von bahnseitig verbauten, systemunabhängigen Signalisierungen an den Gleisvermarkungs- bzw. Gleiskontrollpunkten (GVP / GKP) entsprechend Abb. 4. Diese haben den enormen Vorteil, dass bei allen Befahrungen einheitliche und reproduzierbare Grundlagen für Auswertungen vorliegen. Im Sinne der Qualitätssicherung ist dies eindeutig die beste Variante.

Sofern es keine fest verbauten Signalisierungen gibt, sind temporäre Signalisierungen unter Einhaltung der geltenden Sicherungsvorschriften anzubringen bzw. zu erstellen.

Auswertung

Geo-Referenzierung

Der Auswerteprozess muss für jede Fahrt wie folgt durchgeführt werden:

- Bestimmung der Trajektorie ausschließlich mit GNSS-Messdaten, GNSS-Referenzstationsdaten und IMU-Daten
- Berechnung der Koordinaten jedes Passpunktes mit beiden Laserscannern unabhängig voneinander („doppeltes polares Anhängen“)
- Vergleich der Koordinaten jedes Passpunktes zwischen den Ergebnissen aus beiden Laserscannern. Als Maximale Abweichung ist im Mittel 3 mm in der Standardabweichung erlaubt
- Kontrolle der inneren Geometrie
 - erforderlich bei Aufnahme Gleis, Zwangspunkt, Lichtraum für Lichtraumdatenbank
 - bei zweiseitiger Gleisvermarkung (GV): Kontrolle des horizontalen und vertikalen Abstandes zwischen den GVP aus Messung mit dem MX9 und den Sollwerten der DB Netz. Bei zweiseitiger GV ist das Spanmaß der horizontale Abstand zwischen gegenüberliegenden GVP.
 - bei einseitiger GV: Prüfung der inneren Geometrie mit den Daten aus beiden Aufnahmefahrten
- Finale Transformation in das geodätische Bezugssystem der Passpunkte.

Die Geo-Referenzierung beginnt immer mit der Berechnung der GNSS-IMU-Trajektorien. Anschließend wird die finale Einpassung über die GVP durchgeführt. Je nach Anwendungsfall sind unterschiedliche Maximalabstände der GVP in der Auswertung vorgegeben, um die jeweils notwendigen Genauigkeiten sicher zu erreichen. Bei den verschiedenen Schritten sind Qualitätsprüfungen durchzuführen. Hierzu gehören die Prüfung der Trajektorien-Genauigkeit nach der GNSS-/IMU- Prozessierung (siehe weiter unten), die weiter oben aufgeführten Kontrollen sowie die Analyse der Restklassen der GVP, um eventuelle GVP-Koordinatenfehler zu identifizieren.

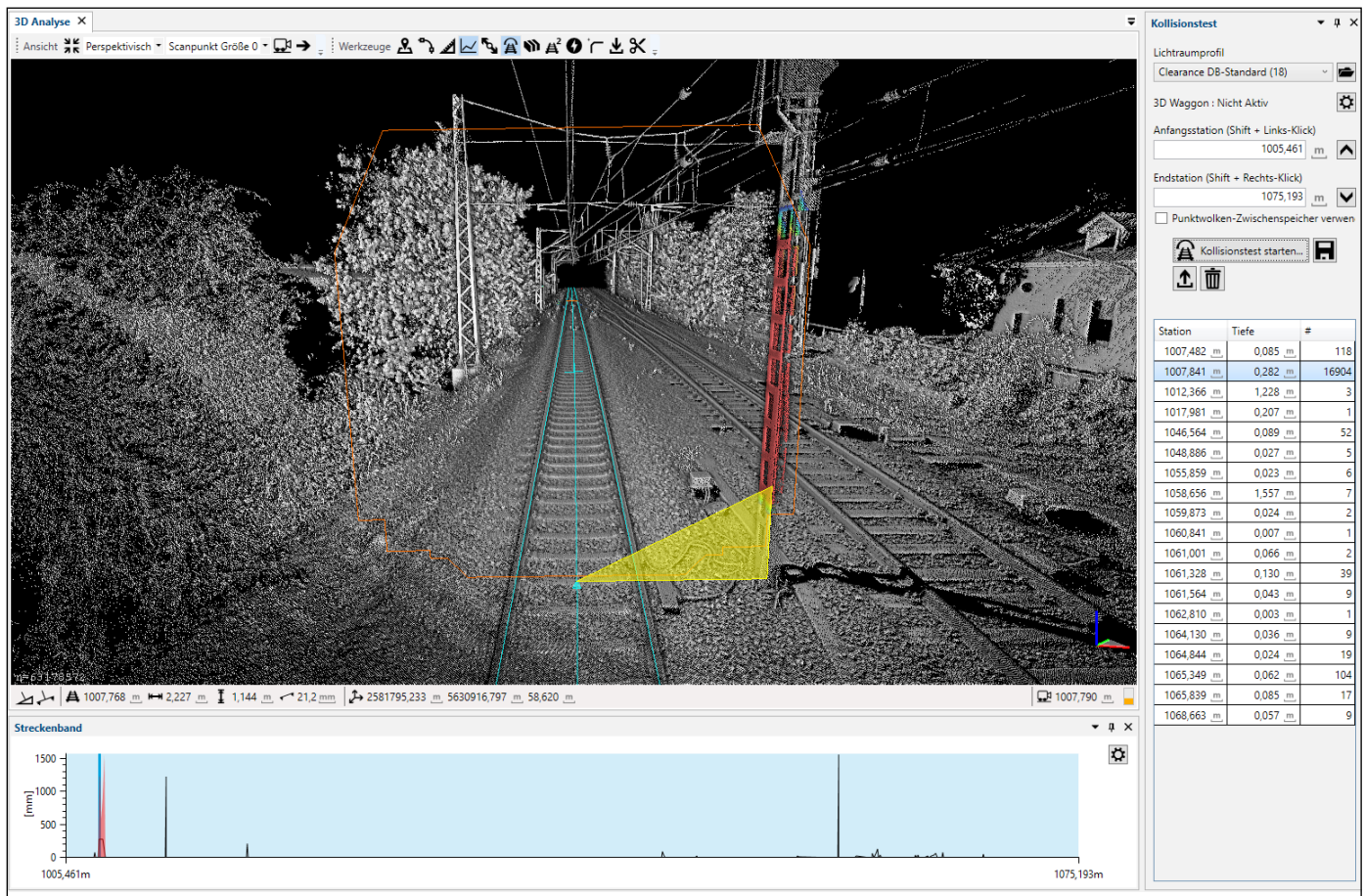


Abb. 5: Ergebnis Kollisionsprüfung in der 3D-Ansicht

Quelle: Trimble

Die Trajektorien der Befahrungen werden mit der Applanix POSpac Software im Post-Processing mit GNSS-Referenzstationsdaten von Trimble VRS Now oder SAPOS berechnet. Das Messsystem zeichnet Daten von allen verfügbaren GNSS-Systemen (GPS, GLONASS, Galileo, Beidou) auf. Um diese Daten möglichst gewinnbringend einzusetzen, sollen Referenzstationsdaten, die ebenfalls Daten von allen GNSS-Systemen aufzeichnen, verwendet werden. Dies ist für Trimble VRS Now deutschlandweit gegeben, bei SAPOS in den meisten Bundesländern. In die Auswertung fließen neben den GNSS auch die IMU- und ggf. Odometer-Daten mit ein.

Nach dem Post-Processing und der Anbringung von DB-Transformationen stehen die Trajektorien im Bezugssystem DB_REF2016 gemäß Anforderung nach Ril 883.2000 [1] zur Verfügung. Die Genauigkeit der Trajektorie im ETRS89 muss nach der Auswertung mindestens $\sigma \leq 6$ cm ($P=68\%$) betragen.

Anschließend werden Punktwolken und Bilder mit zugehörigen Orientierungen mit Trimble Business Center (TBC) auf die neu berechneten Trajektorien geo-referenziert.

Nach der Geo-Referenzierung der aufgenommenen Daten „Laser-Punktwolke“ und „Panorama-Bilder“ beginnt die Fachauswertung. Für die verschiedenen Anwendungsfälle können unterschiedliche Softwarepakete genutzt werden.

Auswertungen für Fachanwendungen

Der Einsatz des MSS Allterra Trimble MX9 erfasst Daten, die für verschiedene Fachanwendungen genutzt werden können. Zur Auswertung und Extraktion der relevanten Informationen kommt die Trimble GEDO Scan Office Software (GSO) zum Einsatz.

Im Gegensatz zu klassischen geodätischen Messmitteln wie Gleismesslatte oder einem Gleismesswagen wie dem Trimble GEDO System erfolgt die Bestimmung der Gleislage auf Basis der Laserscandaten. Dies ist notwendig, da das System nicht spurgeführt eingesetzt wird, d.h. keine feste Referenz zu den Schienen hat. Da das befahrene Gleis aus einer 2 m bis 4 m hohen Position über dem Gleis gescannt wird, sind die Schienenköpfe von oben und im oberen Bereich von innen sichtbar. Zur Bestimmung der dreidimensionalen Gleislage werden die Schieneninnenkante der linken und der rechten Schiene aus den Scandaten detektiert. Die Detektion erfolgt über das Einpassen eines vorgegebenen Schienenkopfes in die Punktwolke. Die Einpassung erfolgt mittels eines ICP-Algorithmus (Iterative Closest Point). Als Profil für das befahrene Gleis wird der obere Bereich des Schienenprofils verwendet.

Die Gleislage wird mit diesem Verfahren üblicherweise alle drei Meter bestimmt. Die so entstehenden Trajektorien für die linke und rechte Schiene repräsentieren die dreidimen-

sionale Gleislage im für die Erfassung und Prozessierung verwendeten Koordinatensystem. Über diese lassen sich die Lage der Gleismitte, die Spurweite, die Überhöhung und Höhe bestimmen.

Zwangspunkte für die Trassierung können direkt aus der Punktwolke abgegriffen und mit Code-Information gespeichert werden. Ebenso kann der Abstand zwischen Objekten und der aktuellen Gleislage sowie gegenüber einer neu geplanten Trasse bestimmt werden.

Neben den manuellen Abstandsmessungen ermöglichen die gewonnenen Daten eine automatische Kollisionsprüfung des Lichtraums. In GSO wird ein Lichtraumprofil entlang der Trajektorie durch die Punktwolke geschoben, und Einragungen werden farblich gekennzeichnet (Abb. 5). An den so detektierten Stellen wird ein Querprofil erstellt. Das verwendete Profil wird hierbei entsprechend der Überhöhung gedreht. Bei der Erstellung des Querprofils werden die Laserscanpunkte über einen vorgegebenen Bereich entlang der Gleisachse (i.d.R. 0,5 m) auf ein Profil zusammengefasst und dargestellt. Auf Basis dieses Profils erfolgt die Engstellendokumentation für die Lichtraumdatenbank LIRA der Deutsche Bahn AG (DB). Die Lichtraumprüfung kann wahlweise gegenüber der Istgleislage oder einer Sollgleislage erfolgen. Letzteres ist wichtig, wenn

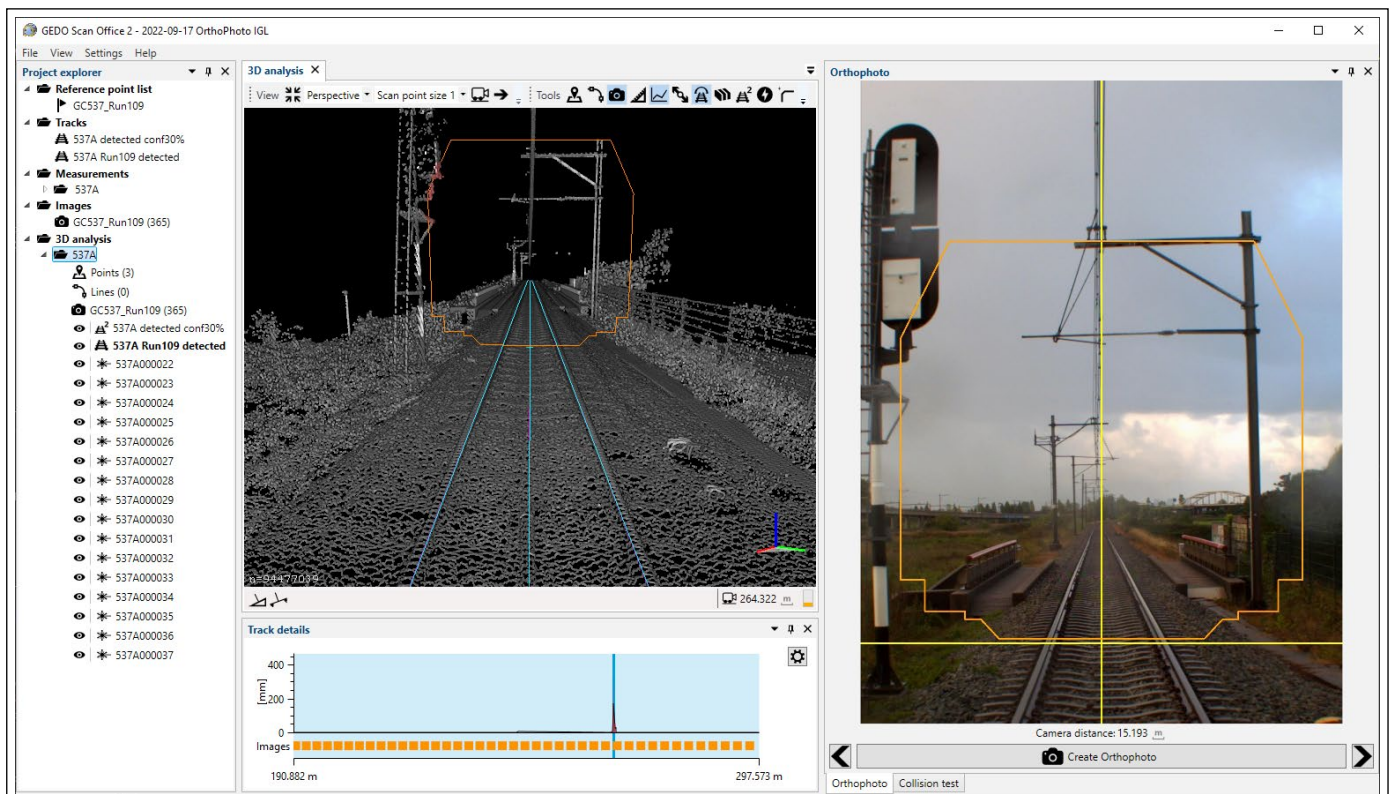


Abb. 6: Engstellenprüfung auf Basis der Punktwolke mit zugehörigem Orthophoto

Quelle: Trimble

das Gleis in die geplante Lage überführt werden soll.

Da es sein kann, dass bei der üblichen Fahrgeschwindigkeit die Punktdichte im Gegensatz zu handgeschobenen Systemen nicht ausreicht, muss anhand der zusätzlich erfassten

Panoramabilder geprüft werden, dass die Kontur des Objektes vollständig in der Punktwolke repräsentiert ist (z.B. Kilometrierungstafeln). Wird das Messsystem mit den gerichteten Einzelkameras betrieben, können diese zusätzlich für die Engstellenkontrolle genutzt werden.

Hierbei ist es möglich, ein Orthophoto in die jeweilige Engstelle zu projizieren und den Lichtraumrahmen mit einzublenden (Abb. 6). Die Erfassung topografischer Objekte erfolgt durch Picken von Scanpunkten und Codierung direkt aus der Punktwolke. Über die zugehör-

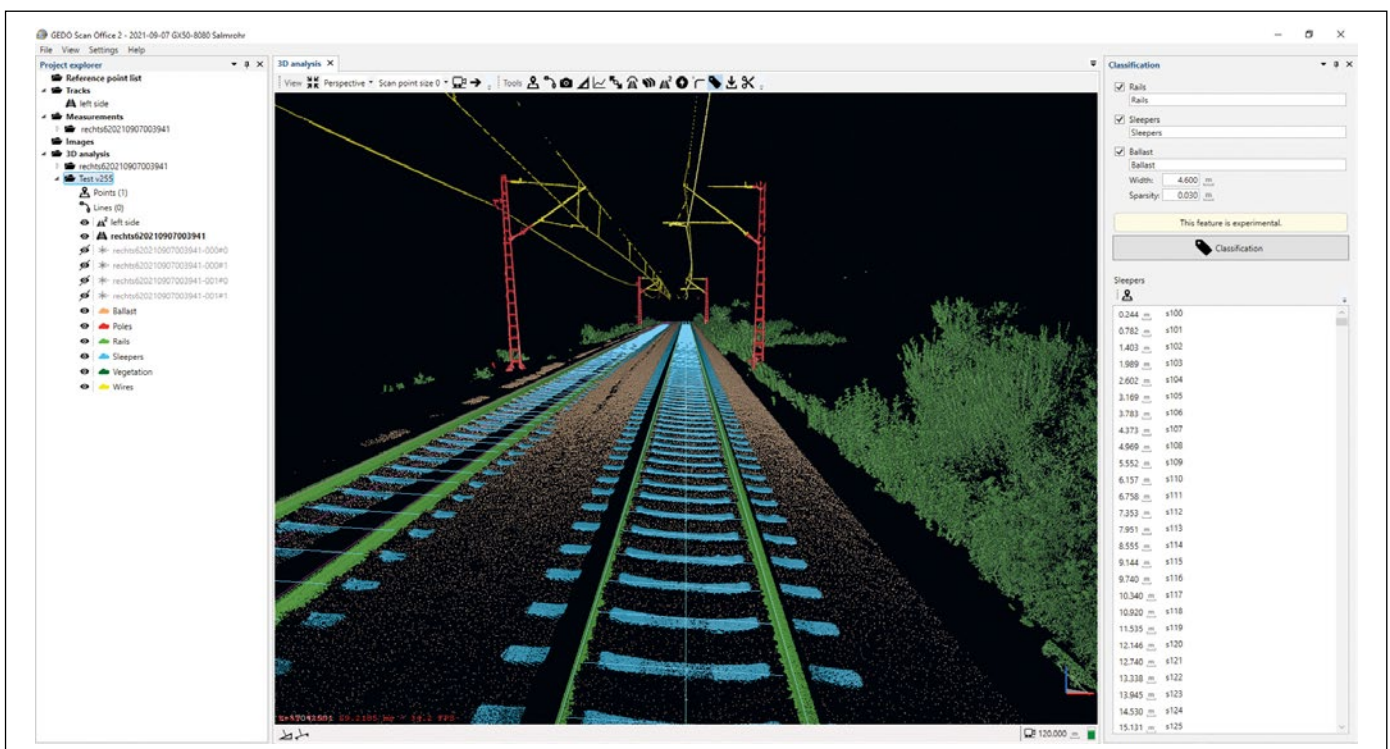


Abb. 7: Gleisspezifische Klassifikation einer Punktwolke auf Basis von Machine-Learning-Algorithmen

Quelle: Trimble

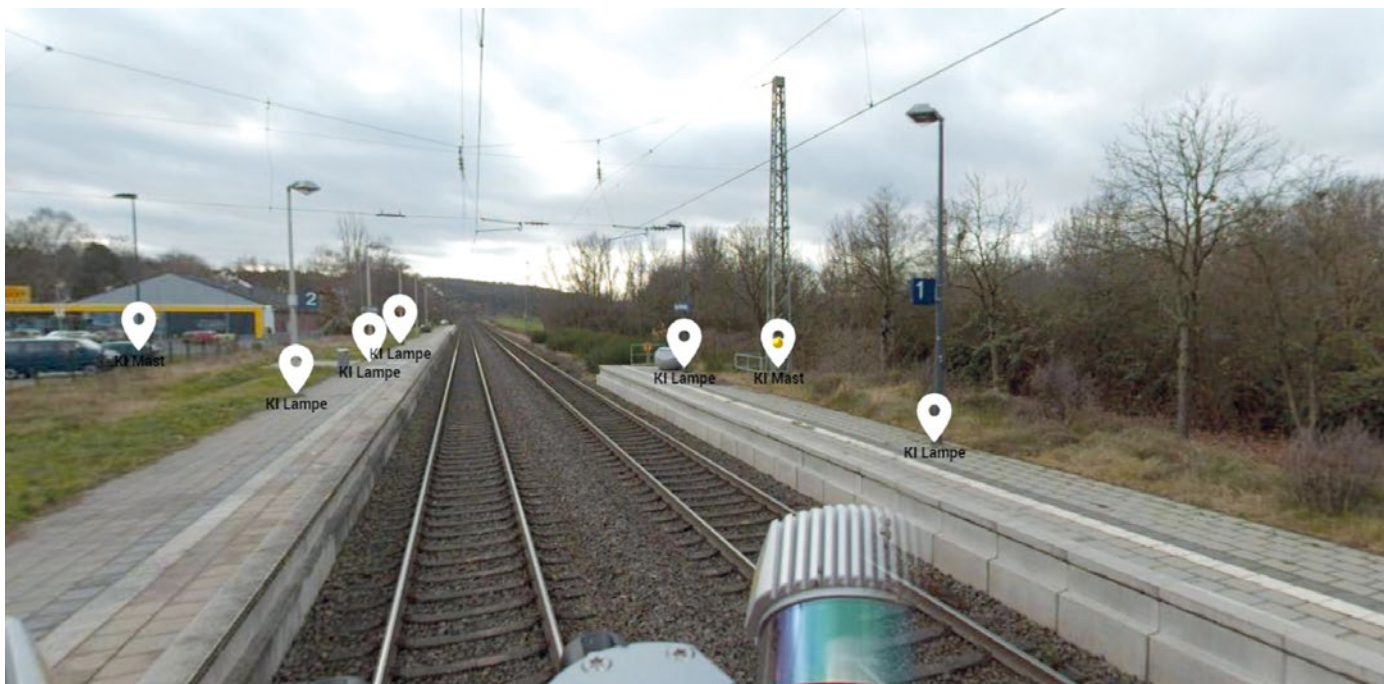


Abb. 8: Übersicht KI-Objekte

Quelle: AllTerra Deutschland GmbH

rige Panoramaaufnahme kann das Objekt verifiziert werden. Hierbei ist zu beachten, dass nur Messobjekte ausgewertet werden, die bei der Aufnahme vollständig erfasst wurden und weder durch Schnee, Eis, Sand, Laub, Schotter oder ähnliches verdeckt sind.

Die mit dem Trimble MX9-System erfassten Bilder können als Panoramaaufnahmen zur Verfügung gestellt werden. Hierbei können erkennbare Personen oder Fahrzeuginformationen im Rahmen der Vorverarbeitung automatisch so verpixelt werden, dass diese nicht mehr erkennbar sind. Für die geometrische Zuordnung der Bilder können diese in GSO mit der Kilometrierung verknüpft und visualisiert werden. Darüber hinaus können die Bilddaten für Objektklassifikationen und die Erstellung eines „Digitalen Zwillings“ verwendet werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Die mit dem MSS AllTerra-Trimble MX9 erfassten Daten erlauben die Nutzung für verschiedene Fachanwendungen bei der DB. Darüber hinaus können präzise „Digitale Zwillinge“ [5] erzeugt werden, die u. a. für „Vermessungen im Büro“ und Building Information Modeling (BIM) nutzbar sind. Verschiedene Softwareprodukte ermöglichen einen integrativen Arbeitsprozess, der vom Management der Daten über die Extraktion von Objekten bis hin zum Teilen der Daten mit tausenden parallelen Nutzern reicht. Semi-automatische und automatische Funktionen dienen der schnellen und einfachen Ermittlung von Objekten verschiedenster Art. Moderne Analysealgorithmen auf Basis von Machine Learning (ML) und Künstlicher

Intelligenz (KI) erlauben eine automatisierte Klassifikation der Daten und unterstützen die Auswertung (Abb. 7 und 8).

QUELLEN

- [1] Ril 88301: Handbuch Gleis- und Bauvermessung, DB Netz AG, Akt. 18, 01.09.2022
- [2] Naumann, K.; Sinning, A.: Einsatz moderner Messmethoden in der Bestandsaufnahme, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 10/2020
- [3] Produktfreigabe DB Netze PF-2022-00292 vom 08.11.2022
- [4] Mobile Mapping | Aquiview-Kameras – <https://allterra-dno.de/mobile-mapping-aquiview-kameras/>, 17.02.2023, 08:50 Uhr
- [5] Ramann, J.: „Digitaler Zwilling“ – (BIM-) Bestandsdatenerfassung und Lichttraumprofilprüfung, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 1/2020

VDE Fachausschuss
GEODÄSIE UND INFORMATIK



Janine Ramann
Vertriebsingenieurin
AllTerra Deutschland GmbH,
Berlin
ramann@allterra-dno.de



Andreas Sinning
Geschäftsführer
Trimble Railway GmbH, Wiesentheid
andreas_sinning@trimble.com



Volker Wegener
Geschäftsführer
AllTerra Deutschland GmbH, Wunsdorf
wegener@allterra-dno.de

Ohne Umwege zu Ihren Fachartikeln

35.000 Beiträge

laufende Aktualisierung

individuelle Suchoptionen

Volltextsuche

Sofort-Download

Abonnenten
erhalten bis zu
50% Rabatt

www.eurailpress.de/fachartikel