

Eisenbahngéodäsie – 5 mm bei 80 km/h

Ein modernes Verfahren zur effizienten und präzisen Vermessung und Digitalisierung der Eisenbahn-Infrastruktur

Railway Geodesy – 5 mm at 80 km/h

A Modern Method for Efficient and Precise Surveying and Digitization of Railway Infrastructure

Volker Wegener

Zusammenfassung

Für die Deutsche Bahn sind aktuelle Bestands- und Zustandsdaten der Infrastruktur ein strategisches Instrument zur Erfüllung ihrer Kernziele: Sicherheit, Effizienz, Verfügbarkeit, Kundenzufriedenheit, Nachhaltigkeit und Innovationsfähigkeit.

Die präzise, digitale Erfassung der Infrastruktur ist somit ein zentraler Baustein für die Zukunft der Schienenmobilität. Klassische Aufnahmemethoden kommen aufgrund Fachkräftemangel, hoher betrieblicher Streckenauslastungen und der Kosten an ihre Grenzen.

Neue Technologien der fahrzeuggebundenen Multi-Sensor-Systeme (MSS; auch Mobile Mapping Systeme) etablieren sich als die Schlüsseltechnologie, mit der Messungen im regulären Zugbetrieb mit einer Genauigkeit von ± 5 mm durchgeführt werden können. Neben der Aufnahmetechnik gehören innovative Lösungen für die Auswertung und Bereitstellung der aufgenommenen Daten zur Gesamtlösung. Dieser Beitrag beschreibt die Rahmenbedingungen, den Ablauf von der Vorbereitung über die Aufnahme mit MSS bis zur datenverarbeitenden Auswertung und digitalen Bereitstellung über Web-Technologien. Praktische Erfahrungen, Anforderungen und Herausforderungen werden diskutiert, wobei der Fokus auf der Nutzung von MSS-Daten für präzise Vermessungen unter Einhaltung der strengen DB-Qualitätsstandards gemäß DB-Handbuch 88301 »Gleis- und Bauvermessung« (HB 88301) liegt. Zusätzlich werden zwei innovative Ansätze vorgestellt.

Schlüsselwörter: Mobile Mapping/Multi-Sensor-System, Bahnvermessung, Digitaler Zwilling, Gleisachse, Zwangspunkte der Trassierung

Summary

For Deutsche Bahn, up-to-date inventory and condition data on its infrastructure is a strategic tool for achieving its core objectives: safety, efficiency, availability, customer satisfaction, sustainability, and innovation.

Precise, digital recording of infrastructure is therefore a key component for the future of rail mobility. Traditional recording methods are reaching their limits due to a shortage of skilled workers, high operational route utilization, and costs.

New technologies in vehicle-mounted Multi-Sensor-Systems (MSS; also known as Mobile Mapping systems) are establishing

themselves as the key technology for performing measurements during regular train operations with an accuracy of ± 5 mm. In addition to the recording technology, innovative solutions for the evaluation and provision of the recorded data are part of the overall solution. This article describes the framework conditions, the process from preparation to recording with MSS to data processing evaluation and digital provision via web technologies. Practical experiences, requirements, and challenges are discussed, with a focus on the use of MSS data for precise measurements in compliance with the strict DB quality standards according to DB Manual 88301 »Track and Construction Surveying« (HB 88301). In addition, two innovative approaches are presented.

Keywords: mobile mapping/multi-sensor system, railway surveying, digital twin, track axis, constraint points of the route alignment

1 Einleitung

Die sichere Durchführung des Eisenbahnbetriebs macht es erforderlich, dass die örtliche Position der Gleise über den Lebenszyklus hinweg den Planungen entspricht. Dann können die freigegebenen Geschwindigkeitsprofile ausgeschöpft werden und die sichere Vorbeifahrt an Zwangspunkten ist gewährleistet.

Die geodätischen Vermessungen für Bau und Überwachung erfolgen auf Basis eines geodätischen Festpunktfeldes (DB_REF). Die Ausführung der tachymetrischen Vermessungen erfordert den Aufenthalt im Gefahrenbereich der Bahnanlagen und darf somit nur unter besonderen Sicherungsauflagen erfolgen. In einem betrieblich stark genutzten Streckennetz wie dem der DB ist es nur mit langem Vorlauf und hohem Aufwand möglich, erforderliche Gleissperrungen für die örtlichen Vermessungen zu erreichen.

Moderne Technologien schaffen hier Abhilfe: Durch den Einsatz leistungsstarker Multi-Sensor-Systeme (MSS) ist es möglich, die Position der MSS-Trägerplattform zu bestimmen und zugleich die Umgebung zu erfassen (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM). Das MSS wird auf einem Zug montiert und reiht sich mit seiner

Aufnahmegergeschwindigkeit von 80 km/h in den Bahnbetrieb ein. Dabei werden die geforderten Aufnahmegergenauigkeiten für Lage und Höhe der Gleise von ± 5 mm (Standardabweichung mit einem Vertrauensbereich von $P = 68\%$) erreicht. MSS erlauben es, lange Streckenabschnitte schnell und ohne Gleissperrungen zu erfassen. Neben der Nutzung für Planungen und Instandhaltungen ermöglichen sie Effizienzsteigerungen durch prognostische Analysen. Das Störungsrisiko wird minimiert.

Die MSS-Daten sind standardisierte Basis der Digitalisierung. Damit können bislang manuelle, zeitaufwändige und kostenintensive Prozesse bei der Analyse und Unterhaltung der Bahn-Infrastruktur automatisiert und beschleunigt werden. KI-Technologien können dies unterstützen und neue Anwendungsfelder auf der gemeinsamen Datenbasis eröffnen.

Dieser Artikel beleuchtet die Anforderungen, den Ablauf und die praktische Umsetzung von MSS-Vermessungen im Kontext der Deutschen Bahn sowie die daraus resultierenden Möglichkeiten für Planung, Bau und Instandhaltung der Eisenbahn-Infrastruktur.

2 Grundlagen der MSS-Bahnvermessung

Multi-Sensor-Systeme kombinieren mehrere Sensortechnologien, um eine umfassende dreidimensionale Auf-



Abb. 1: MSS kombiniert mit JAWESO-Kamerasystemen und GV-Target

nahme der Bahnstrecke zu ermöglichen. Die Kernkomponenten bestehen aus geodätischen GNSS-Empfängern, kombiniert mit einer inertialen Messeinheit (IMU), Laser-Scannern und Kamera-Systemen. GNSS liefert absolute Positionierungen im geodätischen Bezugssystem, die IMU die Orientierung der MSS-Trägerplattform; kombiniert stehen somit die sechs »Degrees of Freedom« (DoF – Lage/Höhe und räumliche Ausrichtung) zur Verfügung. Die Laser-Scanner erfassen die geometrischen Strukturen der Umgebung mit hoher Punktdichte. Die Kameras unterstützen durch Bilddaten die Identifikation von Weichen, Signalen und anderen Objekten. Diese Sensorfusion ermöglicht hochpräzise, georeferenzierte Punktwolken und Bilddaten (Panoramabilder, Einzelbilder, ...).

Das MSS, fallweise kombiniert mit Zusatzkameras, kann mit dem PKW zum Einsatzort gebracht werden. Für die Aufnahme wird es auf einem Eisenbahnfahrzeug montiert (Abb. 1). Die Fahrtgeschwindigkeit während der Aufnahme kann bis 100 km/h betragen. Damit können die Fahrten in den fahrplanmäßigen Betrieb integriert werden und verursachen somit keine betrieblichen Einschränkungen. Alle Einzelsensoren erfassen die Daten simultan und sind zeitsynchronisiert.

3 Geodätisches Bezugssystem

Das geodätische Bezugssystem der DB InfraGO ist das DB_Refenznetz (DB_REF). Das geodätische Datum des DB_REF ist gleich dem ETRF89. Für die Verebnung ist eine Gauß-Krüger-Abbildung mit 3°-breiten Meridiansteifen auf einem bestanpassend gelagerten Bessel-Ellipsoid gewählt. Die Höhenabbildung erfolgte seit 2003 ebenfalls auf diesem Ellipsoid unter Verwendung des EGG97-Geoids. 2016 wurde die Höhenabbildung auf das GRS80-Ellipsoid und die Verwendung des GCG2016-Geoids umgestellt.

Der geodätische Referenzrahmen ist durch die DB_REF-Grundnetzpunkte (DB_REF-GGP) gegeben, die im Abstand von rund 4 km entlang der DB-Strecken vermarkt sind und deren Positionsbestimmung ausschließlich durch GNSS-Messungen erfolgt. Verdichtet wird dieses Netz durch Basispunkte (DB_REF-BP) im Abstand von maximal 1000 m. Die Genauigkeitsanforderungen sind ± 10 mm (DB_REF-GGP) bzw. ± 15 mm (DB_REF-BP) für die ETRS89-Koordinate (Standardabweichung 3D, 1σ).

Gleisvermarkungspunkte (GVP) sind die höchste Verdichtungsstufe des Referenzrahmens. Die geforderte Genauigkeit ist ± 10 mm für die Lage und ± 5 mm für die Höhe (Standardabweichung, 1σ) zum umgebenden DB_REF-Festpunktfeld. GVP werden entlang der Strecken an den Masten der Oberleitung mit horizontalen Bolzen (GV-Bolzen, ø 12 mm) vermarkt (Abb. 2). Der Abstand längs des Gleises beträgt damit 50 m bis 80 m. Außerhalb der elektrifizierten Strecken erfolgen bodengleiche Vermarkungen (z. B. Granitpfiler) oder Gleisvermarkungspfosten (GV-Pfosten). Letztere sind Alu-Profilen, die einbe-

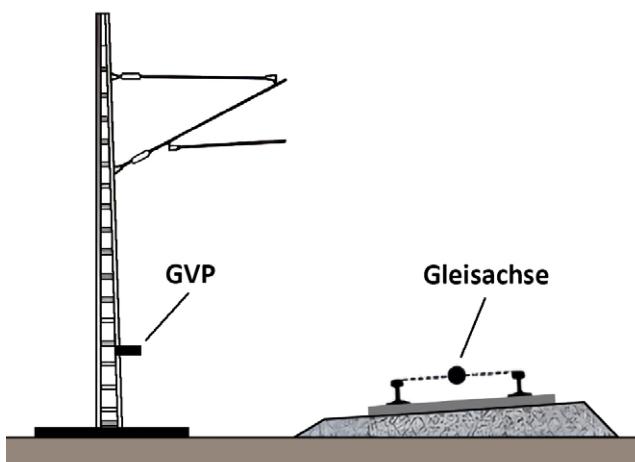


Abb. 2: Anordnung GVP und Gleisachse

toniert sind und 1,2 m über die Geländeoberkante ragen. Sie ermöglichen ebenfalls das Anschrauben der GV-Bolzen.

Ausgehend von den GVP erfolgen Absteckung, Abnahme und Überwachung der absoluten Geometrie der Gleise und Weichen. Umwelteinflüsse (Temperatur, Nässe, ...) und betriebliche Nutzung (Achslasten, Seitenbeschleunigungen, ...) führen zu Veränderungen am Bahnkörper. Neben der Kontrolle der absoluten Gleisgeometrie mit Bezug zu den GVP ist daher auch die regelmäßige Kontrolle der GVP auf Positionsänderungen erforderlich. Diese Prüfung des Festpunktfeldes entspricht geodätischen Grundsätzen und ist zwingend erforderlich, um davon abgeleitete Positionsbestimmungen der Gleise zuverlässig ausführen zu können.

Klassisch erfolgt die Prüfung und ggf. Neukoordinierung durch tachymetrische Vermessung mit freier Stationierung und überlappenden Aufnahmebereichen durch Vermessungsstruppen im Gleisbereich. Die Ausgleichung der Messdaten erlaubt die Detektion veränderter Punkte, deren Koordinaten dann aktualisiert werden. Der Aufwand ist hoch.

Für die MSS-Aufnahmen werden an den GVP standardisierte Targets (GV-Targets) angebracht, die dauerhaft verbleiben und so für nachfolgende Aufnahmen zur Verfügung stehen (Abb. 1). Die Montage der GV-Targets wird mit Fotodokumentation begleitet, um später die Zuordnung in den Messdaten zu erleichtern.

4 MSS-Befahrungen und Datenverarbeitung

4.1 Zulassung des MSS

Für die Aufnahme mit MSS dürfen bei der DB InfraGO AG nur Systeme eingesetzt werden, die über eine sogenannten Produktfreigabe verfügen. Diese besagt, dass das MSS für die zu erfüllenden Aufnahmen geeignet ist (Zuverlässigkeit, Genauigkeit, Robustheit, ...). Das Zulassungsverfahren wird durch wissenschaftliche Expertise begleitet.

Damit ist einerseits gewährleistet, dass das MSS die geodätischen Anforderungen erfüllt und andererseits können Prüfingenieure die MSS-Daten nutzen, ohne die Eignung des MSS im Einzelprojekt bewerten zu müssen.

4.2 Geo-Referenzierung der MSS-Messdaten

Die Auswertung der Messobjekte (Gleisachse, Zwangspunkte, technische Objekte, ...) erfolgt im geodätischen Bezugssystem DB_REF. Die Bestimmungsgenauigkeiten sind im DB-Handbuch 88301 »Gleis- und Bauvermessung« (HB 88301) dokumentiert. Damit diese erfüllt werden können, muss die Georeferenzierung der Punktfolke mit einer Standardabweichung von mindestens 5 mm (1σ) erfolgen. Dies ist bei Projektängen von bis zu einigen hundert Kilometern Streckenlänge eine Herausforderung. Der Prozess der Geo-Referenzierung der MSS-Daten ist daher sorgfältig und begleitet von durchgreifenden Qualitätskontrollen durchzuführen. Mängel führen unweigerlich zu Problemen in den Folgeauswertungen.

Die MSS-Daten durchlaufen bei der Geo-Referenzierung einen mehrstufigen Verarbeitungsprozess. Zunächst werden die GNSS- und IMU-Daten mit Hilfe von GNSS-Referenzstationsdaten im Post-Processing nachbearbeitet, um präzise Trajektorien zu erzeugen. Je Fahrt und Laser-Scanner werden anschließend die Koordinaten der GVP im System der Messdaten bestimmt. Die maximal zulässige Abweichung zwischen den Einzelbestimmungen ist 3 mm. Die GVP sind durch die GV-Targets in den Daten eindeutig identifizierbar. Für die absolute Georeferenzierung in DB_REF werden die Punktfolken auf die GVP referenziert. Um dem geodätischen Grundsatz der Nachbarschaft Genüge zu tun, müssen anschließend überlappende Punktfolken »gematcht« werden, um Inkonsistenzen zu vermeiden und fehlerhafte GVP-Koordinaten zu identifizieren. Abschließend ist die gematchte Punktfolke erneut auf die als fehlerfrei identifizierten GVP zu referenzieren.

Die Lidar- und Bilddaten werden anschließend auf die neu berechneten Trajektorien transformiert.

Abschließender Prozess der MSS-Daten-Vorverarbeitung ist die Bereinigung der Punktfolken von Störelementen und die Klassifizierung (Abb. 3). Die Klassen sind von der DB vorgegeben.

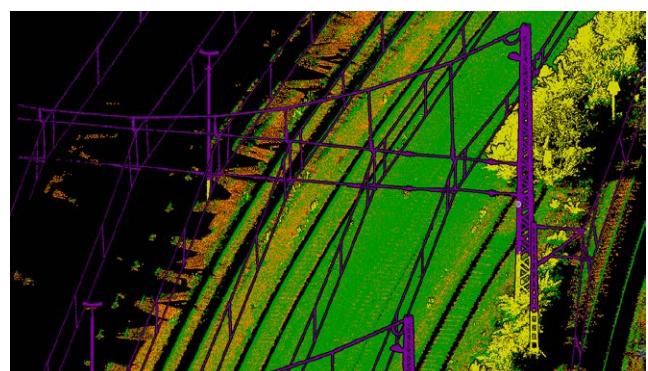


Abb. 3: Bereinigte und klassifizierte Punktfolke

5 Standardauswertungen für die Deutsche Bahn

5.1 Geodätische Auswertungen

Gegenstand dieser Auswertungen sind Punkte der Gleisachse, Zwangspunkte der Trassierung sowie die Bestimmung von Profilen.

5.1.1 Gleisachse

Zentrales Element aller Auswertungen ist die Position der Gleise. Gleise sind definiert durch die relative Gleisgeometrie, d.h. eine Aneinanderreihung geometrischer Elemente (Geraden, Bogenelemente, Übergangsbogen) für Grundriss, Gradienten und Überhöhung. Die absolute Gleisgeometrie ergänzt die relative Gleisgeometrie um Koordinaten der Achshauptpunkte im geodätischen Bezugssystem. Die relative Gleisgeometrie ist maßgebend für die fahrdynamischen Anforderungen, die absolute für die Position zu anderen Objekten (Lichtraumfreiheit).

Die Gleisachse verläuft im halben Abstand der Regelspurweite (1435 mm/2) von der bogenäußersten Schiene zur Gleismitte hin. Dies gilt auch im Bereich enger Radien, wo Spurerweiterungen erforderlich sind. Die Gradienten der Gleise ist auf den tiefen Schienenstrang bezogen, da in Bögen die Überhöhung durch Abhebung der bogenäußersten Schiene hergestellt wird.

Zur Auswertung von Lage, Höhe und Überhöhung der Gleise ist es somit erforderlich, die Schienen in den Punktwolken präzise zu identifizieren und die Messpunkte in definiertem Abstand (z.B. 3 m-Intervall in Längsrichtung) zu bestimmen. Dazu können CAD-Modelle des jeweiligen Schienenprofils (Schienenquerschnitt mit Schienenkopf-, -steg und -fuß) in die Punktwolke gefügt werden. Die geforderte Bestimmungsgenauigkeit von ± 5 mm (1σ) für die Gleisachse (Lage und Höhe) und die Überhöhung werden erreicht.

Die Nutzung dieser Gleisachsenpunkte ist Grundlage für Trassenoptimierungen aus geänderten betrieblichen Anforderungen oder die Bestimmung der Soll-Ist-Abweichungen der aktuellen Gleistrasse. Letztere sind Grundlage für Instandhaltungsarbeiten (sog. Gleisdurcharbeiten, »Dua«), um ein Überschreiten der Positionstoleranzen zu vermeiden und so den fahrdynamisch freigegebenen Bahnbetrieb sicher durchführen zu können.

5.1.2 Zwangspunkte der Trassierung

Zwangspunkte der Trassierung beschreiben Objekte, die einen unmittelbaren Einfluss auf die Linienführung der Gleise und Weichen ausüben. Brücken mit Gleisen auf Brückenschwellen erlauben im Gegensatz zu Brückengleisen auf Schotteroerbau nur sehr geringe Positionsänderungen. Bei Trassierungen sind diese Gleisabschnitte Zwangspunkte. Objekte im lichtraumrelevanten Abstand zum Gleis müssen bei der Trassierung mit Mindestabständen berücksichtigt werden. Hierzu gehören insbesondere die Bahnsteigkanten.

Die Erfassung der Zwangspunkte der Trassierung erfolgt mit den Genauigkeitsanforderungen der Gleise (± 5 mm bei 1σ für Lage und Höhe). Zur genauen Erfassung von Kanten, insbesondere Bahnsteigkanten, werden aus der Punktwolke die Punkte selektiert, welche die horizontale bzw. vertikale Fläche beschreiben. Ausgleichende Flächen beider Gruppen werden zum Schnitt gebracht, und so die Bahnsteigkante erhalten. Bei unstetigem Verlauf der Bahnsteigkante sind entsprechend kurze Abschnitte in Längsrichtung zu wählen.

Da auch diese Objekte Veränderungen unterliegen, ist ihre Bestimmung insb. vor Instandhaltungsmaßnahmen (Dua) erforderlich, um Verletzungen des Lichtraumprofils nach Veränderung der Gleisposition zu vermeiden.

5.1.3 Profile

Profile sind Aufriss-Darstellungen in einem örtlichen kartesischen Koordinatensystem: Die X-Achse entspricht der Gleisachse, die Y-Achse verbindet gegenüberliegende Punkte der Schienenoberkanten mit gleichem X-Wert, die Z-Achse steht senkrecht im Schnittpunkt von X- und Y-Achse. Damit erfolgt die Profildarstellung in der Y-Z-Ebene.

Profile sind Darstellungsformen, die aus den Daten der Gleis- und der Objektposition abgeleitet werden. Der Bezug zur Gleisachse erlaubt den Vergleich mit Referenzprofilen. Referenzprofile sind z.B.

- der Mindestlichtraum (Abstände baulicher Anlagen mit Berücksichtigung von Gleislagetoleranzen, Abb. 4),
- die absolute Grenzlinie (Mindestabstände für Zugfahrten, unmittelbar sicherheitsrelevant, Abb. 4),
- der Raum für den Engstellennachweis (seitliche Objekte zur Planung lademaßüberschreitender Transporte, Nachweispflicht für alle Hauptgleise und besonders benannte Nebengleise),
- Vegetationsprofile (Planung von Gehölzrückzugschnitt seitlich der Gleise).

Profildarstellungen aus den MSS-Punktwolken sind somit eine effiziente und belastbare Bewertungs- und Planungsgrundlage für die vorgenannten Anwendungsfälle.

Für die Planung neuer Anlagen (z.B. Bahnsteigverlängerung) werden digitale Geländemodelle aus den MSS-Punktwolken abgeleitet.

5.2 Topografische Auswertungen, GIS und BIM

Planung und Instandhaltung der Bahnanlagen erfordern neben der Kenntnis des unmittelbaren Fahrweges (Gleise, Weichen, Kreuzungen) auch die Informationen über umgebende Objekte. Der Umfang des Nachweises ist in den DB-Richtlinien 885 »Vorhaltung technischer und raum-

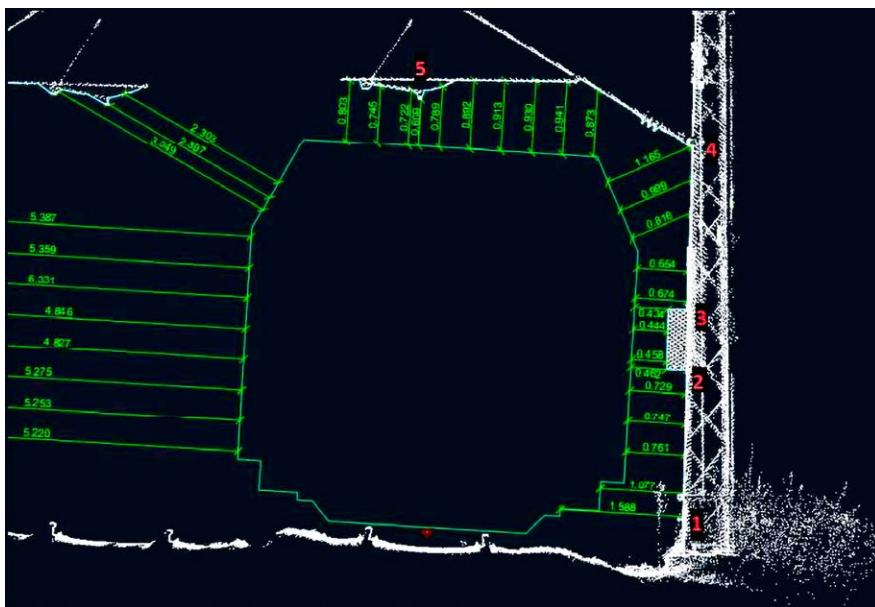


Abb. 4:
Prüfung der Lichtraumfreiheit auf Basis
von MSS-Daten

bezogener Bestandsdaten« nachgewiesen. Er umfasst insbesondere Signalanlagen, Brücken, Bahnübergänge, Tunnel, Wege usw.

Die Objekte können ebenfalls aus den MSS-Punktwolken erfasst werden. Die Objekterkennung und Zuordnung der Attribute erfolgt entsprechend der DB-Bestandsdatenspezifikation. Die optischen MSS-Daten (Panoramabilder, Video, ...) unterstützen dabei die Interpretationssicherheit. Die Auswertung kann gleichermaßen für 2D-Darstellungen (Abb. 5) als auch für 3D-BIM-Modelle erfolgen. Die Ableitung von Lageplänen ist möglich.

Die Übergabe der Objektdatenbank erfolgt in den vier folgenden Dateiformaten:

- SQLite-Format mit SpatiaLite-Aufsatz,
- natives SQLite-Format,
- qlr-Format (QGIS-Projektdatei),
- gpkg-Format (GeoPackage).

Bei jedem Objekt sind weitere Attribute (z. B. technischer Platz) aus den Geo-Basisdaten (z. B. AVANI GeoPackage) im dort nachgewiesenen Umfang zu übernehmen.

6 Datenbereitstellung – Web-Viewer

Mit MSS können Bild- und Punktwolken-Daten für sehr lange Streckenabschnitte in kurzer Zeit effizient aufgenommen werden. Dabei entstehen pro 100 km mehrere Terabyte an Daten. Mit spezieller Software, die auf leistungsfähigen Computern läuft, führen Spezialisten z. B. die oben beschriebenen Auswertungen durch und erstellen Karten und GIS- bzw. BIM-Datensätze, die mit anderer Software weiterverarbeitet werden.

Die Trennung von Datenbasis und Vorauswertungen ist für die großflächige und einfache Nutzung ungeeignet, zumal sehr große Datenmengen nicht ohne Weiteres kopiert und verfügbar gemacht werden können. Auch ist die große Masse der potenziellen Fachnutzer von Geoinformationen nicht in der Verarbeitung von Bild- und Punktwolkeninformationen ausgebildet – sei es der Angebotskalkulator, der sich einen schnellen Überblick über die Lage vor Ort machen möchte oder der Tiefbauer, der prüfen möchte, ob ein Weg breit genug für einen Graben ist, um eine Leitung zu verlegen.

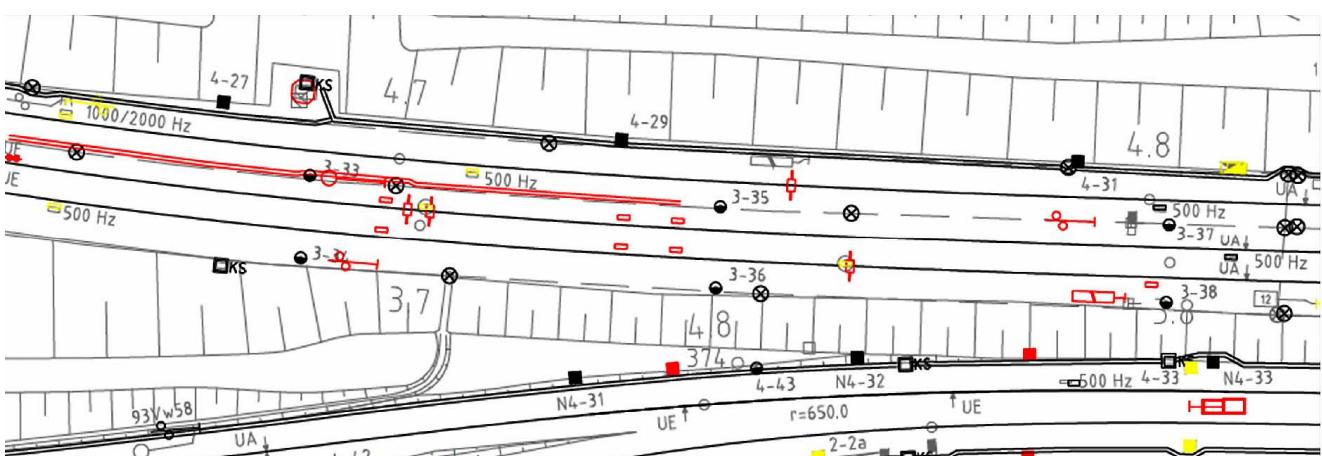


Abb. 5: Beispielhafter Planausschnitt

Hier bieten webbasierte Lösungen wie der DataDEV Viewer Zugriff auf die enorm großen Datenmengen, ohne sie kopieren zu müssen. Die Bedienung ist ähnlich intuitiv wie Google-Streetview, sodass keine langwierige Einarbeitung notwendig ist.

Hauptmerkmale sind:

- Realitätsnahe Visualisierung der Umgebung
 - Panorama-Aufnahmen bieten eine fotorealistische 360°-Ansicht der erfassten Umgebung. Dies ermöglicht eine intuitive und visuelle Inspektion, ähnlich wie bei einem Vor-Ort-Termin – ohne physisch vor Ort sein zu müssen.
 - Die Kombination mit Punktwolken erlaubt eine maßstabsgetreue 3D-Analyse der Umgebung.
- Effiziente Planung und Entscheidungsfindung
 - Infrastrukturunternehmen können Planungen direkt auf Basis der erfassten »Realität« durchführen.
 - Ingenieure, Planer und Entscheider können Maße nehmen, Objekte identifizieren und räumliche Beziehungen verstehen, ohne zusätzliche Vermessungen beauftragen zu müssen.
- Integration von GIS- und CAD-Daten
 - Tools wie der DataDEV-Viewer ermöglichen die Überlagerung von Geodaten, Leitungsinformationen oder Katasterdaten.
 - Dadurch entsteht eine integrierte Datenbasis, die sowohl geografische als auch technische Aspekte vereint.
- Reduzierung von Vor-Ort-Terminen
 - Dank der hochauflösenden Visualisierungen lassen sich viele Begehungen durch virtuelle Ortsbesichtigungen ersetzen – das spart Zeit, Sicherungspersonal, Geld und Ressourcen.
- Unterstützung von Bestandsdokumentation und Asset Management
 - MSS-Daten in solchen Viewern ermöglichen eine genaue Inventarisierung von Assets wie Schildern, Masten, Schächten oder Oberleitungen.
 - Diese Informationen lassen sich automatisch oder halbautomatisch extrahieren und in Asset-Management-Systeme integrieren.
- Kollaboration und Datenzugänglichkeit
 - Viewer erlauben mehreren Nutzern den gleichzeitigen Zugriff auf aktuelle Daten – standortübergreifend und rollenbasiert.
 - Das erleichtert die Zusammenarbeit zwischen Projektbeteiligten, auch über verschiedene Fachbereiche hinweg.
 - Jeder Nutzer kann die Datenbasis unter seinen fachlichen Gesichtspunkten interpretieren.
- Zeitnahe Aktualität und Änderungsverfolgung
 - MSS-Daten lassen sich regelmäßig erfassen. Durch die zeitliche Vergleichbarkeit in Viewern können Veränderungen im Bestand (z. B. neue Bauten, Schäden, Baustellen) einfach erkannt und dokumentiert werden.

Viewer verwandeln MSS-Daten in zugängliche, interaktive Werkzeuge, die Infrastrukturunternehmen helfen, ihre Prozesse zu digitalisieren, effizienter zu planen und fundiertere Entscheidungen zu treffen – auf einer visuell und räumlich genauen Basis.

7 Neu-Entwicklungen und Innovationen

Künftige Entwicklungen fokussieren sich auf die Erweiterung der Sensortechnik, verbesserte KI-gestützte Auswertungen und eine noch stärkere Automatisierung der Datenverarbeitung. Soll-Ist-Vergleiche zwischen unterschiedlichen Aufnahmepochen lassen das Änderungsverhalten der Bahnanlagen erkennen und prognostizieren. Ziel ist die Etablierung einer datengetriebenen, effizienten Infrastrukturverwaltung und -instandhaltung. Manuelle zeitraubende und gefährliche Arbeiten im Gleisbereich können weiter durch MSS-Vermessungen substituiert werden.

7.1 GV-Prüfung und -Bestimmung

Die Überprüfung des GVP-Festpunktfeldes kann künftig anstelle aufwändiger und risikobehafteter tachymetrischer Messungen mit der von der Firma DataDEV neu entwickelten Lösung »*kinematische GVP-Prüfung und Bestimmung (kin-GV-PB)*« über die MSS-Daten selbst erfolgen. Die Lösung ermöglicht auch die Neu-Koordinierung der GVP über Abschnitte von bis zu 500 m ohne tachymetrische Vermessungen – ohne Betreten des Gefahrenbereichs der Gleisanlagen, ohne Sicherungstrupps und ohne Betriebsunterbrechungen. Prüfung und Koordinierung erfolgen mit der im HB 88301 geforderten Genauigkeit von $\pm 5 \text{ mm}$ (1σ).

Bei »*kin-GV-PB*« werden die Punktwolken und Bilder mit der IMU-Trajektorie fusioniert und GVP-Positionen aus den Daten extrahiert. Die Bestandskoordinaten der GVP dienen als Eingangsreferenz. Mittels einer »wandenden Analysesehne« über benachbarte GVP wird die gesamte Strecke analysiert und Veränderungen in der Lage und Höhe werden systematisch erkannt.

Abb. 6 zeigt das grundsätzliche Wirkprinzip: Auf die Sehne A-E wird die Position des Punktes M umgeformt. Das Abstandsmaß F aus den gegebenen Koordinaten wird mit dem korrespondierenden Abstandsmaß f aus der MSS-Aufnahme verglichen. Der Vergleich wird für die Lage und die Höhe durchgeführt.

Überschreiten die Differenzen die zulässigen Toleranzen nach HB 88301, werden die betroffenen GVP erneut geprüft und dann ggf. tachymetrisch neu koordiniert. Signifikante Abweichungen deuten auf Setzungen oder Verschiebungen hin, die bei Oberleitungsmasten nie ganz auszuschließen sind. Anschließend »wandert« die Sehne in die Position M,3 zur Analyse des Punktes E. Eine vollständige terrestrische Vermessung ist nur noch dort erforderlich,

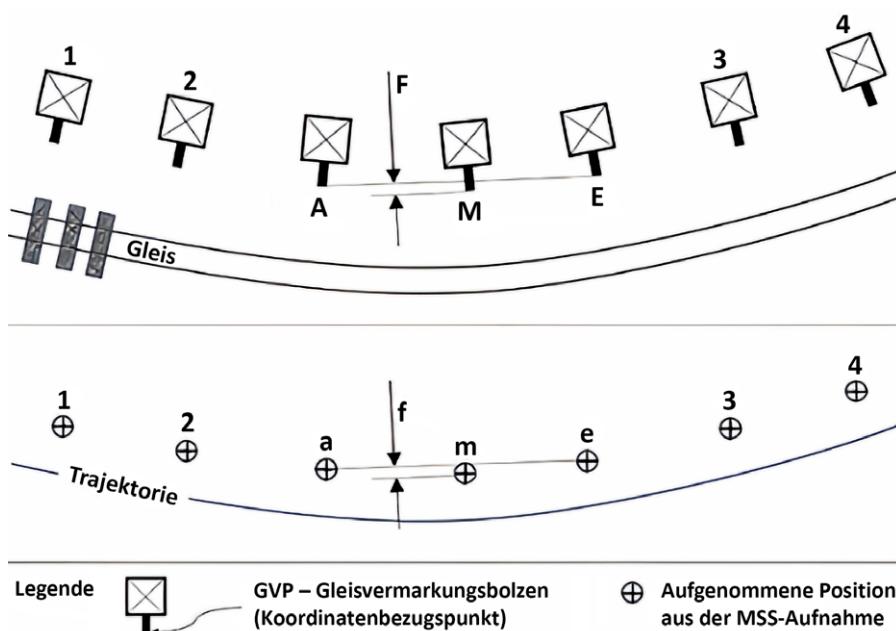


Abb. 6:
Prinzip der kin-GV-PB

wo mit *kin-GV-PB* über lange Streckenabschnitte Veränderungen nachgewiesen werden.

7.2 Weichen-Vermessungen

Für den Betrieb und die Wartung von Bahn-Infrastruktur gehört das Wissen über die Lage der Weichen dazu. Aufgrund der Komplexität erfolgt das Aufmaß heute in der Regel manuell per Tachymeter. Dafür ist es erforderlich, dass Menschen im Gleis Messungen durchführen. Dies ist gefährlich, aufwändig und teuer – und kann zu Verzögerungen im Bahnbetrieb führen.

Eine neu entwickelte Lösung, bei der Standard-MSS-Daten zusammen mit JAWESO-Bildaufnahmen ausgewertet werden, löst mehrere der oben beschriebenen Probleme und ist auf längeren Streckenabschnitten wesentlich effizienter.

Bei der Deutschen Bahn werden Weichen-Anfänge und -Enden durch Bohrungen im Schienensteg oder Körnerschläge markiert. Diese Punkte sind in MSS-Punktwolken

meist nicht oder nur eingeschränkt identifizierbar – siehe Abb. 7. Abstandsmaße vom Weichen-Anfang zu Weichen-Zungen sind unsicher, wodurch z. B. die Vorfertigung von Ersatzweichen erschwert wird, was zu erheblichen Kostensteigerungen führen kann. Schweißnähte am Weichen-Anfang und -Ende ermöglichen keine genaue Identifikation des Aufnahmepunktes.

Bei dem neu entwickelten Lösungsansatz werden zusätzlich zur Standard-MSS-Aufnahme hochauflösende JAWESO-Bildaufnahmen verwendet. Die Kameras nehmen aus kurzen Entfernungsmitteln mit hoher Frequenz und sehr kurzen Belichtungszeiten u.a. die Schienen auf. Die Aufnahmen sind streng mit den MSS synchronisiert, sodass eine gegenseitige Referenzierung möglich ist. Diese wird im Post-Processing durchgeführt, weswegen keine strenge Kalibrierung am Fahrzeug notwendig ist. Damit ist das Verfahren sehr einfach und flexibel umsetzbar.

In den Bildern können dann Weichen-Anfänge und -Enden, Zungenspitzen usw. identifiziert und mit Hilfe der referenzierten MSS-Punktwolken gemessen werden (Abb. 8).



Abb. 7: MSS-Daten für einen Weichen-Anfang



Abb. 8: Bohrung und Weichenzunge in den JAWESO-Aufnahmen

Mit dem Verfahren können die Genauigkeitsvorgaben des HB 88301 für Weichen von ± 20 mm absolut (im ETRF89) und ± 5 mm relativ (1σ , zum umgebenden Festpunktfeld) eingehalten werden. Es ist möglich, alle Weichenelemente aus den Daten zu digitalisieren. Diese Lösung kann helfen, Gefahren für Menschen zu eliminieren, Kosten zu senken und einen reibungslosen Betrieb zu gewährleisten.

Es ist ein weiterer Baustein für die effiziente und flächendeckende Digitalisierung der Schieneninfrastruktur. Neben Weichen können auch andere kleinere Bauteile in den JAWESO-Aufnahmen identifiziert und digitalisiert werden (z.B. Komponenten der Leit- und Sicherungs-Technik (LST) oder Risse in Betonschwellen).

8 Rahmenverträge

Neben technischen Innovationen sind Prozessbeschleunigungen wichtig, weswegen die DB InfraGO AG Rahmenverträge für MSS-Einsatz und -Auswertung ausgeschrieben und vergeben hat.

Es wurden sechs Leistungspakte (Lose) definiert:

- Los 1: Vorbereitung der Gleisvermarkung,
- Los 2: Aufnahme mit fahrzeuggebundenen MSS,
- Los 3: Geodätische Auswertung der MSS-Befahrung,
- Los 4: Topografische Auswertung der MSS-Befahrung,
- Los 5: Auswertung Lichtraumprofile gemäß Ril 458.0108,
- Los 6: Bereitstellung Punktfolgen-Viewer.

Basierend darauf können nun alle zum DB-Konzern gehörenden Bereiche diese Leistungen ohne langwierige Ausschreibungen direkt abrufen.

Die Rahmenverträge verkürzen den Beauftragungsprozess um viele Monate. Durch Standardisierung der Leistungen sind zeitnahe Ergebnisbereitstellungen zu erwarten. Durch die gebündelte Ausschreibung hat die Deutsche Bahn sehr gute Konditionen für die Leistungen aushandeln können.

9 Fazit

Das fahrzeuggebundene Multi-Sensor-System stellt heute das effizienteste Verfahren zur Erfassung von Bahninfrastruktur bei linienförmigen Anlagen dar. Die Kombination aus GNSS, IMU, Laserscannern und Kameras erlaubt Messungen bei hohen Geschwindigkeiten ohne Beeinträchtigung des Bahnbetriebs. Die erfassten Daten erfüllen die strengen Qualitätsanforderungen der Deutschen Bahn und ermöglichen eine nachhaltige Digitalisierung der Infrastruktur. MSS sind somit ein zentraler Baustein der Eisenbahn der Zukunft.

Literatur

- DataDEV (2025): Kinematische GVP-Prüfung und Bestimmung.
Deutsche Bahn (2025): HB 88301 – Handbuch 883.01 Gleis- und Bauvermessung (DZD-Bestellservice@deutschebahn.com).
Deutsche Bahn (2025): Ril-Familie 885 – Vorhaltung technischer und raumbezogener Bestandsdaten.
Ramann, J. (2020): Digitaler Zwilling, EI-Zeitschrift, Januar 2020.
Wegener, V., Ramann, J., Sinning, A. (2023): Einführung von Mobile Mapping für die Gleisvermessung, EI-Zeitschrift, April 2023.
Zimmermann, J., Wunsch, S. (2023): Eisenbahnbau – Handbuch Ingenieurgeodäsie.

Kontakt

Volker Wegener
DataDEV GmbH
Herzog-Bernd-Straße 2-4, 29614 Soltau
wegener@datadev-ds.com

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter www.geodaeis.info.