

Eisenbahngeodäsie: Mobile Mapping / Digitaler Zwilling mit ± 5 mm bei 80 km/h

Volker Wegener¹

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. Klassische Aufnahmemethoden kommen aufgrund Fachkräftemangel, hoher Streckenauslastung und Kosten an ihre Grenzen. Fahrzeuggebundene Multi-Sensor-Systeme (MSS, Mobile Mapping) ermöglichen Messungen im regulären Zugbetrieb mit einer Genauigkeit von ± 5 mm. Der Beitrag beschreibt Rahmenbedingungen und Workflow von der Vorbereitung über die Befahrung bis zur geodätischen und topografischen Auswertung sowie die webbasierte Bereitstellung großer Punktwolken- und Bilddatensätze. Zwei Innovationsbausteine – kinematische Prüfung/Koordinierung von Gleisvermarkungspunkten (GVP) und hochauflösungsbildgestützte Weichenvermessung – zeigen, wie Prozesse weiter automatisiert und Risiken für Personal reduziert werden können.

Schlagwörter Mobile Mapping · Multi-Sensor-System · Bahnvermessung · Digitaler Zwilling · Gleisachse · Lichtraum

1 Einführung

Die sichere Durchführung des Eisenbahnbetriebs erfordert, dass die örtliche Position von Gleisen und Weichen über den Lebenszyklus hinweg den Planungen entspricht. Nur so können freigegebene Geschwindigkeitsprofile ausgeschöpft und Zwangspunkte (z. B. Bahnsteige, Brücken, Signalanlagen) mit ausreichenden Sicherheitsabständen passiert werden.

Terrestrische, tachymetrische Vermessungen sind hochgenau, erfordern jedoch den Aufenthalt im Gefahrenbereich und damit Sicherungsmaßnahmen und häufig Gleissperrungen. In einem stark ausgelasteten Netz führt dies zu hohen Kosten, langen Vorlaufzeiten und eingeschränkter Aktualität der Bestandsdaten.

Moderne fahrzeuggebundene Multi-Sensor-Systeme (MSS) schaffen Abhilfe: Sie kombinieren GNSS, IMU, LiDAR und Kameras und erfassen Infrastruktur im Regelbetrieb bei Geschwindigkeiten bis 80–100 km/h. Durch robuste Georeferenzierung im geodätischen Referenzrahmen sind Achs- und Objektbestimmungen mit Standardabweichungen im Bereich von 5 mm möglich.

2 Grundlagen der MSS-Bahnvermessung

MSS vereinen mehrere Sensorsysteme in einer Trägerplattform und erfassen Geometrie und Bildinformationen zeit- und lagekorreliert. Kernkomponenten sind:

- GNSS-Empfänger zur absoluten Positionierung im Referenzsystem
- IMU zur Bestimmung der Orientierung (Roll, Pitch, Yaw) und zur Trajektorienglättung
- LiDAR-Scanner zur hochdichten 3D-Geometrieaufnahme
- Kamera-/Panoramasysteme zur visuellen Interpretation und Objekterkennung (siehe Abb. 1)



Abbildung 1 MSS auf Trägerplattform, kombiniert mit Zusatzkameras und GV-Target (Beispiel).

¹ DataDEV GmbH, Herzog-Bernd-Str. 2–4, 29614 Soltau, Deutschland, E-Mail: wegener@datadev.de

Die Sensorfusion liefert georeferenzierte Punktwolken und Bilddaten, die für geodätische Auswertungen und für GIS/BIM-Anwendungen genutzt werden können.

3 Geodätisches Bezugssystem und Festpunktfeld

Die DB InfraGO nutzt das DB-Referenznetz (DB_REF) als geodätischen Referenzrahmen. Entlang der Strecken ist das Netz durch Grundnetzpunkte und Basispunkte verdichtet. Für hochpräzise Anwendungen werden Gleisvermarkungspunkte (GVP) als höchste Verdichtungsstufe genutzt; sie werden typischerweise an Oberleitungsmasten mit GV-Bolzen vermarktet und liegen im Abstand von etwa 50–80 m. Für MSS-Befahrungen werden an den GVP dauerhaft erkennbare Targets montiert, um eine eindeutige Identifikation in Punktwolke und Bilddaten zu ermöglichen (siehe Abb. 2).

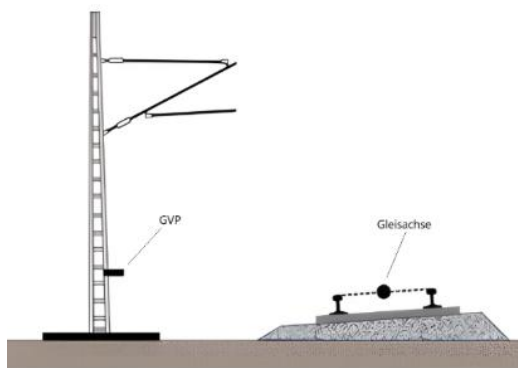


Abbildung 2 Prinzipielle Anordnung von GVP und Gleisachse (schematisch).

4 MSS-Befahrungen und Datenverarbeitung

Der Workflow gliedert sich in Vorbereitung, Befahrung, Trajektorienverarbeitung, Georeferenzierung, Punktwolkenvorverarbeitung sowie Auswertung und Bereitstellung.

Für Einsätze bei der DB sind Produktfreigaben erforderlich, die Zuverlässigkeit und Genauigkeit des Systems nachweisen. In der Verarbeitung werden GNSS- und IMU-Rohdaten per Post-Processing (u. a. mit Referenzstationsdaten) zu präzisen Trajektorien kombiniert (siehe Abb. 3). Anschließend werden die Punktwolken je Sensorlauf auf GVP/Targets referenziert und überlappende Befahrungen gematcht, um Konsistenz über lange Projektabschnitte herzustellen. Qualitätskontrollen (z. B. maximale Abweichungen zwischen Einzelbestimmungen) sind entscheidend, weil

Fehler in der Georeferenzierung unmittelbar zu systematischen Abweichungen in allen Folgeprodukten führen.

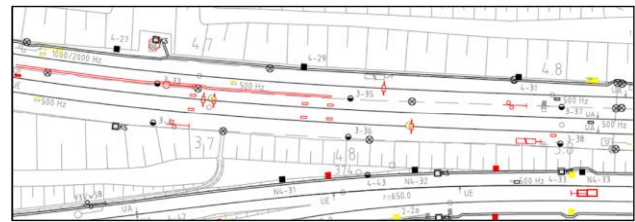


Abbildung 3 Beispiel einer bereinigten und klassifizierten Punktwolke (Auszug).

5 Standardauswertungen

5.1 Geodätische Auswertungen

Zentrale geodätische Ergebnisse sind die Ableitung der Gleisachse, die Erfassung von Zwangspunkten der Trassierung sowie die Berechnung von Profilen (Lichtraum, Engstellen, Vegetation).

5.1.1 Gleisachse

Die Gleisachse wird aus den Schienen in der Punktwolke abgeleitet. Dazu werden Messpunkte in definierten Intervallen (z. B. 3 m) bestimmt und Schienenprofile modellbasiert an die Punktwolke gefittet. Aus den Schienenoberkanten werden Lage, Höhe und Überhöhung ermittelt. Die Achspunkte dienen u. a. der Bestimmung von Soll-Ist-Abweichungen und der Planung von Gleisdurcharbeitungen (Dua).

5.1.2 Zwangspunkte der Trassierung

Zwangspunkte wie Bahnsteigkanten oder Brückenaufleger werden mit vergleichbaren Genauigkeitsanforderungen erfasst. Für Kantenbestimmungen werden aus der Punktwolke Flächenpunkte selektiert und ausgleichend modelliert; Schnittlinien liefern präzise Kantenverläufe. Änderungen an Zwangspunkten sind vor Instandhaltungsmaßnahmen kritisch, um Lichtraumverletzungen nach Gleisverschiebungen zu vermeiden.

5.1.3 Profile und Lichtraum

Aus Gleisachse und Objektpunkten werden Profile im lokalen Achssystem abgeleitet (siehe Abb. 4). Damit lassen sich Mindestlichtraum, absolute Grenzlinsen und spezielle Nachweise (z. B. Engstellen, Vegetation) effizient prüfen und dokumentieren.

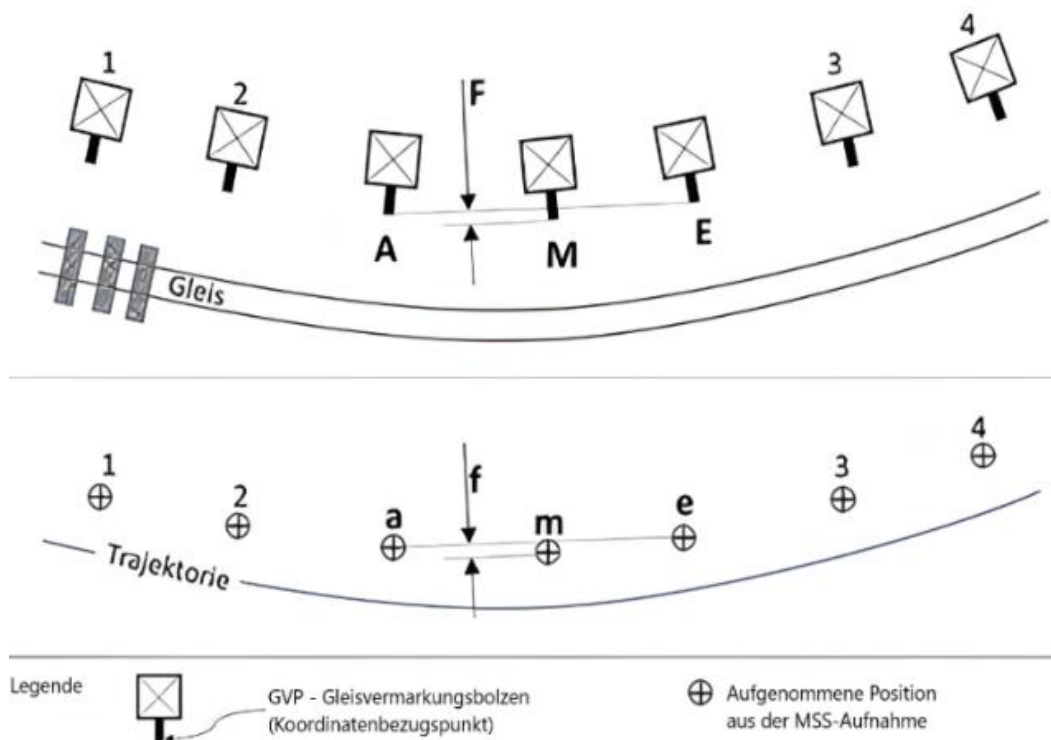


Abbildung 4 Lichttraumprüfung auf Basis von MSS-Daten (Beispielauswertung).

5.2 Topografische Auswertungen, GIS und BIM

Neben dem Fahrweg werden umgebende Assets (Signale, Masten, Bahnübergänge, Brücken, Tunnel, Wege usw.) aus der Punktwolke erfasst und attribuiert. Die Ergebnisdaten können als GIS- oder CAD/BIM-Objekte (u. a. GeoPackage/SQLite, DWG/DXF, IFC) bereitgestellt und mit Bestandsdaten (z. B. Kataster oder Netzdaten) integriert werden.

6 Datenbereitstellung über Web-Technologien

MSS-Projekte erzeugen sehr große Datenmengen (mehrere TB pro 100 km). Webbasierte Viewer ermöglichen den Zugriff ohne lokale Datenkopien und machen Punktwolken und Panoramen für eine breite Nutzergruppe verfügbar – vergleichbar in der Bedienung mit Street-View-Ansätzen, jedoch metrisch auswertbar. Mess- und Exportfunktionen unterstützen Planung, Bau und Betrieb.

7 Innovationen: kin-GV-PB und Weichenvermessung

7.1 Kinematische GVP-Prüfung und -Bestimmung (kin-GV-PB)

Die regelmäßige Prüfung des GVP-Festpunktfeldes ist geodätisch zwingend, wird klassisch aber mit aufwendigen terrestrischen Messungen durchgeführt. Der Ansatz „kin-GV-PB“ nutzt MSS-Daten selbst zur Detektion von Lage- und Höhenänderungen sowie zur Neukoordinierung über Abschnitte bis ca. 500 m, ohne Betreten des Gefahrenbereichs (siehe Abb. 5). Eine wandernde Sehne über benachbarte GVP erlaubt die robuste Identifikation signifikanter Abweichungen, die nur in Ausnahmefällen terrestrisch nachzuprüfen sind.



Abbildung 5 Prinzip der kin-GV-PB (schematisch).

7.2 Weichen-Vermessung mit Zusatzbilddaten

Weichenaufnahmen sind heute häufig manuell-tachymetrisch, weil markante Kennpunkte (Bohrungen/Körner) in Standard-Punktwolken teilweise nicht sicher identifizierbar sind. Durch zusätzliche hochauflösende, kurz belichtete Bildaufnahmen (z. B. nahe am Gleis) und strenge Synchronisierung mit dem MSS können Weichenanfänge/-enden, Zungenspitzen usw. im Bild identifiziert und metrisch über die referenzierte Punktwolke bestimmt werden (siehe Abb. 6). So lassen sich die Genauigkeitsanforderungen für absolute und relative Weichenmaße einhalten und Risiken sowie Kosten deutlich reduzieren.

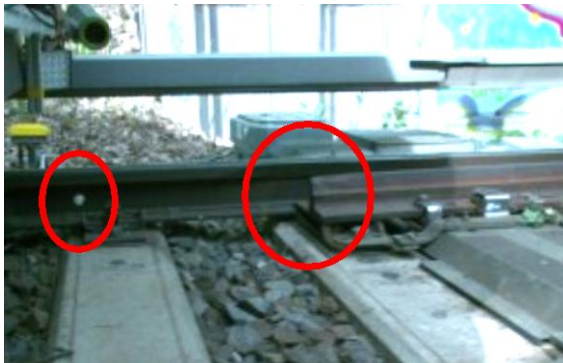


Abbildung 6 Identifikation eines Weichenmerkmals in hochauflösenden Bilddaten (Beispiel).

8 Aktuelle Entwicklungen 2025/2026

Die Digitalisierung der Schieneninfrastruktur gewinnt weiter an Dynamik. DataDEV berichtet Ende Januar 2026 über einen erstplatzierten Zuschlag in einem Rahmenvertrag der DB zur Digitalisierung der Bahninfrastruktur, u. a. für topografische Aufbereitung als Planungsgrundlage (BIM) und die Bereitstellung eines Punktwolken-Viewers (DataDEV, 2026).

Parallel dazu betont die DB in ihrem Zwischenbericht 2025 den hohen Bau- und Erneuerungsumfang im Netz im Rahmen des Restrukturierungsprogramms („S3“) und die Notwendigkeit, Infrastruktur- und Betriebsqualität nachhaltig zu verbessern (Deutsche Bahn, 2025). Solche Programme erhöhen den Bedarf an schnellen, sicheren und hochgenauen Bestandsdaten für Planung, Bauphasenkoordination und Instandhaltung.

Übergreifend verfolgt die Initiative Digitale Schiene Deutschland den Ausbau digitaler Leit- und Sicherheitstechnik; Volumen- und Rahmenverträge sollen die Umsetzung beschleunigen (Digitale Schiene Deutschland, 2025). Auch wenn diese Maßnahmen nicht unmittelbar Mobile Mapping betreffen, entsteht dadurch zusätzlicher Integrationsbedarf für georeferenzierte Bestands- und Projektgeometrien – eine Kernstärke von Mobile-Mapping-Workflows.

9 Fazit & Ausblick

Fahrzeuggebundene Multi-Sensor-Systeme sind heute das effizienteste Verfahren zur hochgenauen Erfassung linienförmiger Eisenbahninfrastruktur. Sie reduzieren betriebliche Einschränkungen und Sicherheitsrisiken, liefern die Datenbasis für digitale Zwillinge und ermöglichen standardisierte geodätische Produkte (Gleisachse, Lichtraum, Assets) im DB_REF. Weiterentwicklungen in Richtung KI-gestützter Automatisierung, wiederholter Befahrungen (Change Detection) und prozessintegrierter Webbereitstellung werden die Skalierbarkeit weiter erhöhen.

Literaturverzeichnis

- DataDEV. (2026). DataDEV awarded top-ranking contract for Deutsche Bahn’s rail infrastructure digitalization. DataDEV Blog. <https://datadev-ds.com/datadev-awarded-top-ranking-contract-for-deutsche-bahns-rail-infrastructure-digitalization/>
- Deutsche Bahn AG. (2025). Integrated Interim Report January–June 2025. Deutsche Bahn AG. https://ir.deutschebahn.com/fileadmin/Deutsch/2025/DB_ZB25_e_web.pdf
- Digitale Schiene Deutschland. (2025). Volume contract worth EUR 6.3 billion concluded between DB and the rail industry – a milestone for faster realisation of digital control and safety technology. Deutsche Bahn AG. <https://digitale-schiene-deutschland.de/en/news/2025/volume-contract>