



Pilotprojekt in der Zugbildungsanlage Mannheim

Georeferenzierte Abnahme von LST-Elementen

Foto: DB AG/Volker Eijerleben

Dr. Danny Kreyenberg und **Henning Nitzschke**,
beide DB InfraGO AG, Berlin

Digitalisierung ist ein zentraler Hebel zur Weiterentwicklung der Leistungsfähigkeit und Resilienz der Infrastruktur. Moderne, digitale Stellwerksplattformen und ETCS L2 (European Train Control System Level 2) ohne Signale sind dafür die zentralen Technologien. Während der Rollout dazu begonnen hat und deutlich beschleunigt werden soll, verharren die unterstützenden Prozesse – insbesondere die Abnahmeprüfung – häufig noch in analogen, ressourcenintensiven Strukturen. In Verbindung mit zunehmendem Fachkräftemangel bei Prüfsachverständigen ist ein Paradigmenwechsel hier zwingend erforderlich.



In diesem Fachbeitrag wird am konkreten Beispiel der Zugbildungsanlage (ZBA) Mannheim gezeigt, wie man durch die synergetische Nutzung von Multisensor-Erfassungen, intelligenten Softwareplattformen und angepassten Regelwerken eine absolute, georeferenzierte Abnahme von LST realisieren kann, was zu einer signifikanten Effizienzsteigerung und Qualitätsverbesserung führt.

Diskrepanz zwischen Technologie und Prozess

In der „Agenda für zufriedene Kunden auf der Schiene“ der Bundesregierung ist das Vorantreiben der Digitalisierung im Schienenverkehr als klare Zielvorgabe verankert.^[1] Im Zentrum dieser Bestrebungen stehen die Ausrüstung des Netzes mit ETCS und die Ablösung der konventionellen Stellwerkstechnik durch moderne Stellwerksplattformen. Diese technologische Evolution generiert jedoch eine enorme Menge an Projekten, die nicht nur geplant und gebaut, sondern auch formal abgenommen und sicherheitstechnisch freigegeben werden müssen.^[2]

Die Realität der Projektabwicklung offenbart aktuell einen signifikanten Engpass: die Abnahmeprüfung. Traditionell basiert die Validierung der Außenanlagen – also die Überprüfung, ob ein Signal, eine Balise oder ein Achszähler korrekt installiert wurde – auf manuellen Tätigkeiten und physischen Begehungen. Prüfsachverständige (PSV) laufen die Strecken ab, messen Abstände mit Maßband oder Messrad und dokumentieren die Ergebnisse handschriftlich oder in isolierten digitalen Dokumenten. Dieses Verfahren bindet nicht nur wertvolle, hochqualifizierte Personalressourcen, sondern erfordert auch Sperrpausen, die den ohnehin stark ausgelasteten Bahnbetrieb zusätzlich belasten.^[3]

Untersuchungen zur Optimierung der Abnahmeprüfung zeigen, dass der herkömmliche Prüfaufwand bei LST/ETCS-Projekten einen hohen manuellen Aufwand erfordert. Ein erheblicher Teil dieser Zeit entfällt auf die reine Lageüberprüfung der Außenanlagen. Hinzu kommt, dass die Anzahl der zugelassenen PSV nicht im gleichen Maße wie das Projektvolumen wächst, was zu einem Risiko für den Zeitplan der LST-Projekte führt.

Durchgängig digitale Datenhaltung

Parallel zu den Herausforderungen in der Abnahme hat das Konzernprojekt D3iP („Durchgängig digitale Datenhaltung im Planungsprozess“) die Grundlagen für eine datenzentrierte Arbeitsweise geschaffen. Das Ziel ist die Überwindung von Medienbrüchen. Wo früher Papierpläne oder nicht maschinenlesbare Dateien zwischen den Projektphasen ausgetauscht wurden, sollen heute strukturierte Datenmodelle (IFC/BIM, PlanPro-XML) den gesamten Lebenszyklus eines LST-Elements begleiten – von der Planung und Montage bis hin zur Abnahme und Instandhaltung.^[4]

Die Kernhypothese dieses Beitrags lautet: Wenn die Planung bereits auf hinreichend genauen, georeferenzierten Daten basiert und die Montage mittels moderner GNSS-Methoden (Global Navigation Satellite System) erfolgt, dann kann auch die Abnahme weitgehend digitalisiert und „vom Schreibtisch aus“ durchgeführt werden. Die physische Präsenz im Gleis wird auf sinnvolle Stichproben und komplexe Sonderfälle reduziert.

Der Grundstein für die optimierte Abnahme mit den Pilotprojekten, erforderlichen Regelwerksanpassungen und der Sicherheitsargumentation wird durch das Projekt OpAL gelegt. OpAL steht für „Optimierte Abnahme LST/ETCS“ und adressiert primär die Frage: Wie können wir die Lagegenauigkeit der Anlage überprüfen, ohne jedes Objekt aufwendig manuell aufzunehmen?

Mit dem in diesem Artikel behandelten Pilotprojekt in der ZBA Mannheim wird ein weiterer Machbarkeitsnachweis für dieses neuartige Vorgehen auf Basis von Multisensor-Erfassungen sowie intelligenten Softwareplattformen wie DRVito (Digital Register Visualisierungs-Tool) erbracht.

Technologische Grundlagen der georeferenzierten Bestandsaufnahme

Eine belastbare digitale Abnahme steht und fällt mit der Qualität der zugrunde liegenden Daten. Der Begriff „Georeferenzierung“ beschreibt die geodätisch exakte Verortung von Infrastrukturelementen in einem einheitlichen Referenzsystem. Grundlage für die georeferenzierte Abnahme ist ein präzises digitales Abbild der Realität. Hierfür kommen auch Multisensor-Systeme (MSS) zum Einsatz, wie sie beispielsweise im Bereich der Gleisvermessung bereits nach der Richtlinienfamilie 883 freigegeben sind.^[5]

Das Multisensorsystem (MSS) als Datengrundlage

Der erste Schritt zur Digitalisierung des Bestandes in der ZBA Mannheim und anderen Projekten der DB InfraGO ist die Erfassung der Ist-Situation mittels hochspezialisierter Multisensor-Systeme, die auf Trägerfahrzeugen (Züge, Zweiwegefahrzeuge) montiert werden. Ein für die DB InfraGO nach Richtlinien(Ril)-Familie 883 freigegebenes Referenzsystem ist das Trimble MX9.^[6] Dieses System generiert durch eine hochpräzise Laserabtastung eine detaillierte Punktwolke, welche die Grundlage für ein exaktes digitales Abbild der Infrastruktur bildet.

Die technische Architektur eines solchen Systems ist darauf ausgelegt, bei Fahrgeschwindigkeiten zwischen 40 km/h und 100 km/h eine Datendichte und Genauigkeit zu liefern, die konventionellen Vermessungsmethoden ebenbürtig ist.

Geodätische Referenzierung: DB_REF2016

Das Messsystem nutzt zur Datenaufzeichnung die Signale aller verfügbaren GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, Beidou). Die Rohdaten des Scanners liegen zunächst im WGS 84 (World Geodetic System 1984) vor. Für eine regelwerkskonforme Abnahme müssen diese Daten in das offizielle Bezugssystem der Deutschen Bahn, das DB_REF2016, transformiert werden.

Das DB_REF2016 ist eine Realisierung des Europäischen Terrestrischen Referenzsystems 1989 (ETRS89). Es unterscheidet sich von den Landesvermessungssystemen durch eine spezifische, spannungsfreie Umsetzung, die auf dem Festpunktfeld der Deutschen Bahn basiert.

Das DB_REF2016 wird am Gleis über ein hochgenaues Festpunktfeld realisiert und über sogenannte Gleisvermarkungspunkte (GVP) für die MSS-Datenerfassung visualisiert. Maßgebend für die Erreichung der geforderten absoluten Genauigkeit von mindestens 10 Zentimetern im gesamten Gleisbereich ist neben der Genauigkeit des Festpunktfeldes auch die Dichte und Verteilung der GVP (Abbildung 1).

Die absolute Referenzierung ist für den hier gewählten Ansatz von zentraler Bedeutung. In der konventionellen LST-Planung ist die Position eines Signals oft relativ definiert („km 12,4 + 15m“). Diese Kilometrierung ist jedoch Veränderungen unterworfen und birgt Ungenauigkeiten (z. B. durch Streckenumbauten, Überlängen). Koordinaten im DB_REF2016 hingegen sind absolut und zeitlich stabil.

Abbildung 1:
Gleisvermarkungs-
punkte in der
ZBA Mannheim



Von der Punktwolke zu semantischen Objekten

Eine Punktwolke liefert zunächst nur eine rohe geometrische Struktur. Für die Abnahme von LST-Elementen muss aus Millionen von Laserpunkten ein Objekt extrahiert werden, das Attribute wie „Signal“, „Typ Ks“, „Montagerichtung“ und „ID“ trägt.

Automatisierte Objektklassifikation

Im Projekt ZBA Mannheim wurden Algorithmen der Künstlichen Intelligenz (KI) und des Maschinellen Lernens (ML) eingesetzt, um die Rohdaten zu segmentieren. Dieser Prozess, oft als „Automatic Labeling“ bezeichnet, unterteilt die Punktwolke in Klassen wie:

- Schienen (Rails)
- Signale (Signals)
- Maststrukturen (Poles)
- Boden/Schotter (Ground)
- Vegetation

Innerhalb der Klassen können spezifische Mustererkennungsalgorithmen (Pattern Recognition) typische LST-Formen identifizieren, etwa den Schirm eines Ks-Signals oder das Gehäuse eines Achszählers. Die Software DRVito, die im weiteren Verlauf noch detailliert beschrieben wird, nutzt diese vorverarbeiteten Daten, um dem Nutzer bereits klassifizierte Objekte anzuzeigen (Abbildung 2, S. 52).

Plan-Ist-Vergleich

Ein Kernstück von DRVito ist der direkte, medienbruchfreie Vergleich zwischen der Planungsebene (Soll) und der realen Bauausführung (Ist). Technisch wird dies durch die Überlagerung verschiedener georeferenzierter Datensätze erreicht.

Als geometrische Referenzbasis in Abbildung 3 (S. 53) dient der Ingenieursvermessungstechnische Lageplan (IvL) – idealerweise aber zukünftig die PlanPro-XML als Ergebnis der Digitalen Planung, der als 2D-Hintergrundkarte eingebunden wurde. Diese repräsentiert die genehmigte Planung und die Topografie des Liegenschaftskatasters. Über diese Planungsebene werden die gelabelten Objektpunkte der Realität gelegt. Diese Punkte stammen aus der automatisierten Klassifizierung der Mobile-Mapping-Punktwolke. Die Farbcodierung visualisiert die unterschiedlichen Objekte: Gelb = Oberleitungsmasten, Rot = Lichtmasten, Violett = Signale, Türkis = Schienen. Abweichungen zwischen Plansymbol und Farbpunkt weisen auf Montagedifferenzen hin.

Analyse der Abweichung

Durch diese Darstellung lässt sich die Lagegenauigkeit auf einen Blick verifizieren. Deckt sich das farbige Objekt (Ist-Position aus der Befahrung) mit dem entsprechenden Plansymbol des IvL (Soll-Position), gilt die Grobverortung als bestätigt. Liegt eine signifikante Diskrepanz zwischen dem farbigen Marker und dem Plansymbol vor, wird dies visuell sofort ersichtlich. Die manuelle Prüfung kann somit auf die Elemente beschränkt werden, bei denen eine Soll-Ist-Abweichung „am Schreibtisch“ festgestellt wurde.

Das Projekt OpAL: Prozessoptimierung durch Georeferenzierung

Aufbauend auf dieser verlässlichen Datengrundlage setzt das Projekt OpAL an, um den eigentlichen Abnahmeprozess neu zu gestalten.

In OpAL wird ein neuartiger Abnahmeprozess definiert, der offen für alle Messmethoden ist: sei es Befliegung, Befahrung oder statische Messung.

Schwächen der konventionellen Abnahme

Um den Vorteil von OpAL zu verstehen, muss man die Schwächen des Status quo betrachten. Bei der konventionellen Abnahme, insbesondere von ETCS-Balisen, definiert die Planung eine Distanz zu einem Bezugspunkt (z. B. Signal). Der Monteur misst diese Distanz mit dem Messrad ab und installiert die Balise. Der Abnahmeprüfer kommt später, nutzt ebenfalls ein Messrad und validiert die Position.^[7]

Das Verfahren (relative Verortung) ist fehleranfällig:

- Messradschlupf und Lauffehler: Bei Nässe oder Eis auf den Schienen rutscht das Rad, was zu Messfehlern führt. Je länger die manuell abgerollte Distanz im Gleisbett ist, desto größer wird die resultierende Messabweichung.
- Bezugspunktfehler: Wenn der Bezugspunkt (z. B. Signal) selbst ungenau steht, ist auch die Balisenposition falsch, obwohl die relative Messung „korrekt“ war.

— Anzeige —



Gleisbauprodukte der BAG

Mit unseren Qualitätsprodukten Gleisschotter, Korngemisch 1 und 2 sowie Randwegmaterial erreichen jeden Tag Millionen Menschen ihr Ziel.

Ihr Ansprechpartner:

BVG Baustoff-Vertriebs-Gesellschaft mbH

Herr Max Merlin Herbolt

Bahnhofstraße 19 | 55606 Kirn | Tel.: 06752 132-69 | E-Mail: max.herbolt@bvg-kirn.de

Alle Rechte vorbehalten • Bahn Fachverlag GmbH

- Kumulation: Bei Kettenmaßen addieren sich Fehler über lange Strecken auf.
- Dokumentationsbruch: Die Messwerte werden oft handschriftlich notiert, was Übertragungsfehler begünstigt.

Der OpAL-Prozess: Absolute Verortung

OpAL ersetzt die relative Messung durch eine absolute Positionsbestimmung.

- Digitale Planung: Der Planer positioniert die Elemente (wie Balisen) weiterhin relativ zu anderen Elementen. Aus der Elementposition wird aber zusätzlich eine Soll-Koordinate (X, Y, Z) eines Elements im System DB_REF2016 abgeleitet.
- Montage/Bauüberwacher-Bahn LST (BÜB LST): Der Monteur und der Bauüberwacher nutzen einen GNSS-Rover, um die exakte Position im Gleis zu ermitteln und das Element möglichst nah dazu zu montieren bzw. zu kontrollieren. Das Gerät zeigt die Abweichung zur Soll-Koordinate in Echtzeit an.
- Dokumentation: Nach der Installation misst der Monteur die Position (=Ist-Koordinate) erneut ein und nimmt ein georeferenziertes Foto des Elements auf. Das Gerät speichert die Koordinate, den Zeitstempel und Qualitätskennzahlen (PDOP, Anzahl Satelliten) ab. Hinweis: Das hier genannte Verfahren ist ein Beispiel. Der OpAL-Prozess ist extra offen für sämtliche bei der DB zugelassenen Erfassungsmethoden definiert.

- Abnahme: Der PSV erhält ein digitales Protokoll (verifiziert vom BÜB LST) und validiert die Daten am PC. Er prüft die Integrität des Protokolls und vergleicht die Ist-Koordinaten mit den Soll-Koordinaten der Planung. Die physische Prüfung beschränkt sich auf Stichproben mit dem Messrad vor Ort.

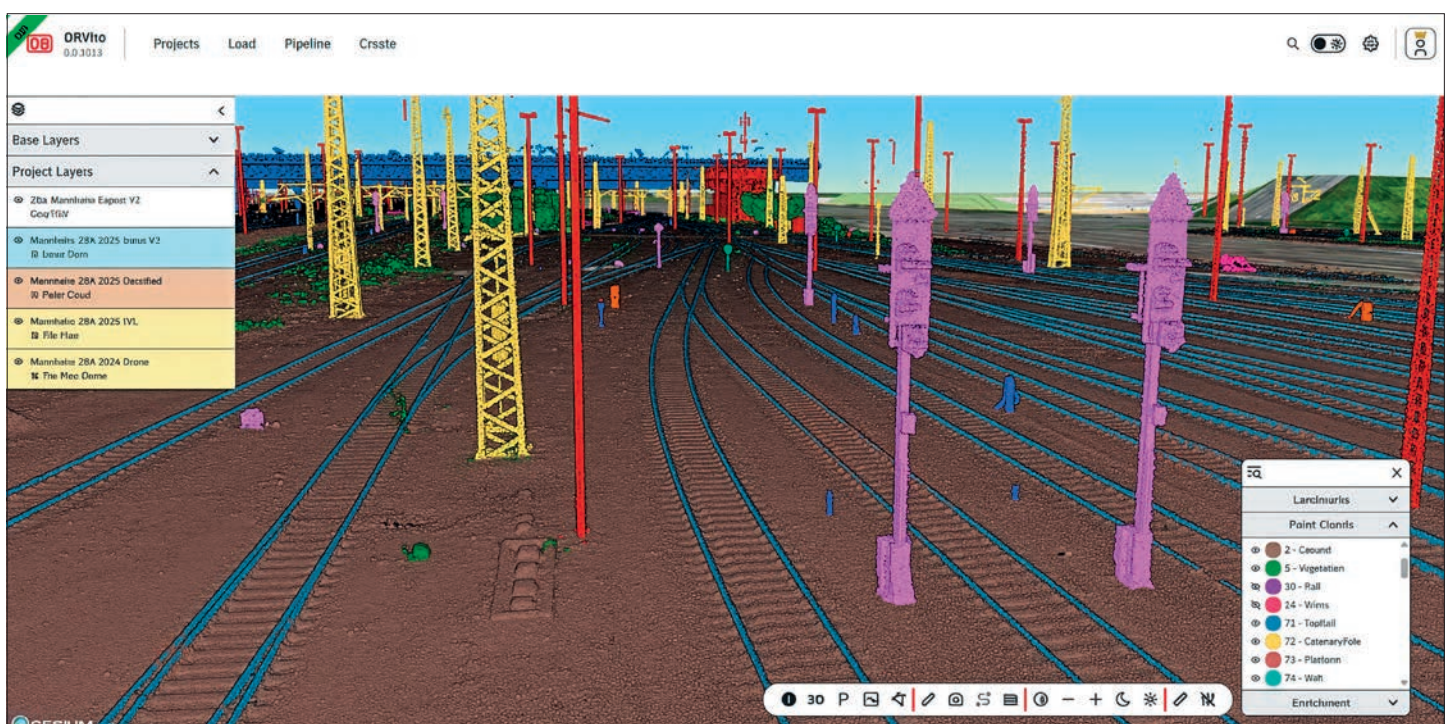
Sicherheitsargumentation und Auswirkungsanalyse (FMEA)

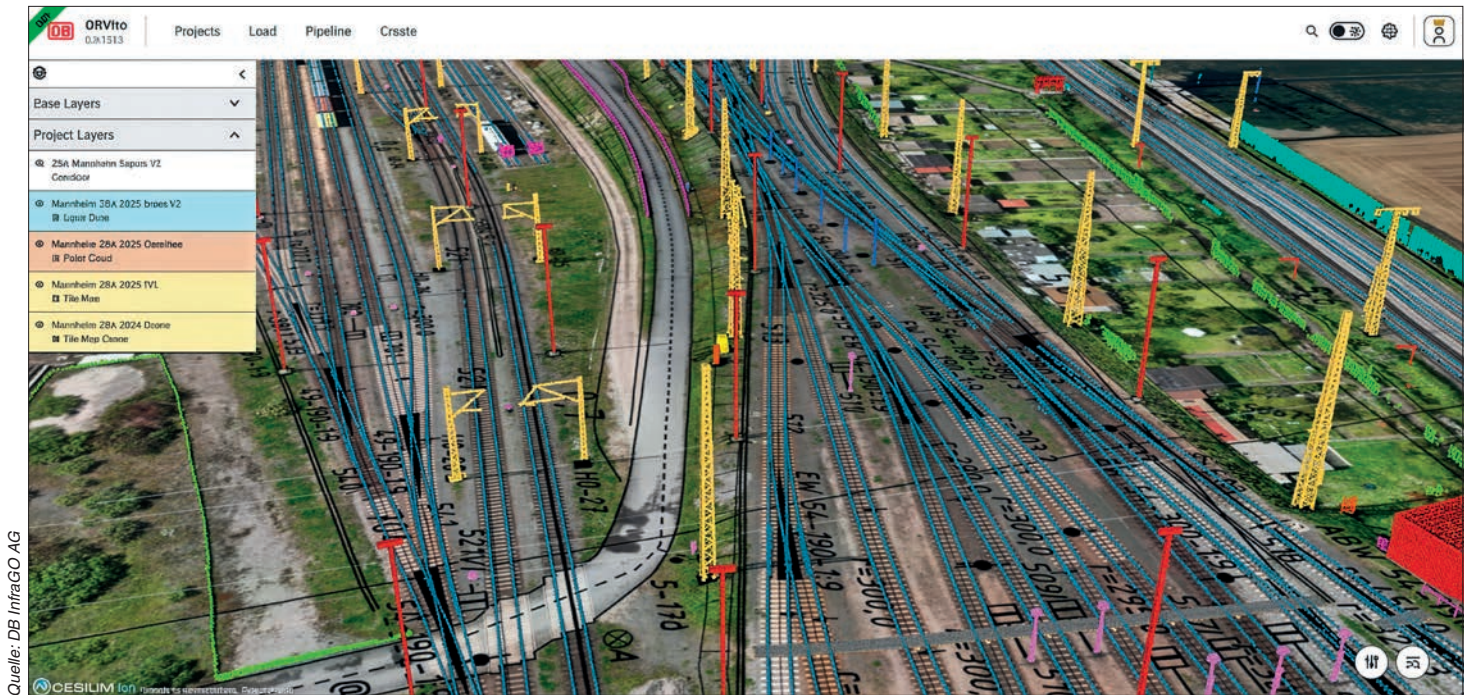
Ein Kernstück von OpAL ist der Sicherheitsnachweis für dieses neue Verfahren. In einer FMEA (Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse) wurde untersucht, welche neuen Risiken durch einen georeferenzierten und digitalisierten Prozess im Vergleich zum konventionellen Vorgehen mit Messrad und Papier/PDF-Dokumentation entstehen und wie diese effektiv mitigiert werden.

Mit einbezogen wird der Einfluss von Werkzeugen als Potenzial für Erzeugung, aber auch Vermeidung/ Offenbarung von Fehlern. Zusammen mit der Prozessbeschreibung dient dies als Basis für das aktuell stattfindende Risikomanagementverfahren des CSM- (Common Safety Method) Prozesses im OpAL-Projekt.

Ein ähnliches Vorgehen mit Prozessbeschreibung und FMEA wurde auch für den Prozess der Erfassung und Auswertung von MSS-Daten mit Unterstützung der DRVito Software angewandt, um eine Verfahrenssicherheit darzustellen und DRVito für sicherheitsrelevante Entscheidungen, wie z. B. im Kontext der Abnahme nutzbar zu machen.

Abbildung 2:
Automatische
Klassifikation
verschiedener Objekte





Quelle: DB InfraGO AG

Das Werkzeug DRVito

Für die Auswertung der Befahungsdaten wurde DRVito als zentrales Werkzeug herangezogen. Dieses Werkzeug wurde ursprünglich für die Erstellung und Validierung von GoA4-Kartendaten von der DB InfraGO entwickelt.^[6] In dem hier vorgestellten Projekt wurde DRVito als zentrale Integrationsplattform für den Zweck der georeferenzierten, digitalen Abnahme prototypisch getestet.

Systemarchitektur und Datensouveränität

DRVito wurde von der DB InfraGO mit dem Ziel entwickelt, die Datensouveränität zu wahren. Anstatt sich auf proprietäre Lösungen von Softwareherstellern zu verlassen, setzt die Bahn auf eine modulare Architektur, die offene Standards (GeoJSON, IFC, PlanPro) unterstützt. Das System arbeitet mit einem Schichtenmodell (Layering), das es erlaubt, heterogene Datenquellen übereinander zu lagern und visuell zu vergleichen (Tabelle 1).

Soll-Ist-Vergleich und virtuelle Begehung

Mit den von der ZBA Mannheim erzeugten Daten können die Prüfer die geplante Lage eines Signals (aus dem PlanPro-Datensatz) direkt über die Punktwolke des realen Signals legen.

Die virtuelle Begehung in 3D und im Panoramabild erlaubt es dem Prüfenden zudem, Aspekte zu kontrollieren, die sonst eine Begehung erfordern würden. Außerdem kann die Strecke aus der Perspektive des Triebfahrzeugführenden (Tf) virtuell befahren werden. Daraus ergeben sich die folgenden Prüfmöglichkeiten:

- Sichtbarkeit von Signalen: Verdeckt ein neuer Fahrleitungsmast die Sicht auf das Signal?
- Lichtraumprofil: Ragt ein Signal in den Gefahrenbereich?
- Umfeld: Sind störende metallische Massen in der Nähe eines Achszählers?

Abbildung 3:
Exemplarischer Plan-Ist-Vergleich in der Softwareumgebung DRVito

Layer-Typ	Dateninhalt	Nutzung in der Abnahme
Basis-Layer	Orthofotos, OpenStreetMap, Drohnenbilder, Geländemodell	Orientierung, Kontextualisierung der Umgebung
Messdaten-Layer	MSS-Punktwolken (klassifiziert), 360°-Panoramen	Der gebaute Ist-Zustand (as built): Visuelle Prüfung des Ist-Zustands
Planungs-Layer	PlanPro (XML), BIM-Modelle (IFC)	Der Soll-Zustand (as planned): Soll-Vorgabe aus der Planung
Metadaten-Layer (in Planung)	Prüfprotokolle, Mängellisten	Dokumentation der Abnahmeergebnisse

Tabelle 1:
Layer-Struktur in DRVito

Quelle: DB InfraGO AG

Zukünftig könnte die Software automatisch die Abweichung bestimmter Objekte (Delta X, Delta Y, Delta Z) berechnen. Liegt diese Abweichung innerhalb der definierten Toleranz, wird das Element grün markiert. Bei Überschreitung erfolgt eine Warnung. Dies ermöglicht eine effiziente Unterstützung der Abnahme.

Regulatorischer Rahmen

Die Abnahme von LST-Anlagen ist ein hoheitlicher Akt, geregelt durch die EBO (Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung) und konkretisiert durch Richtlinien wie die Ril 819 (Planung LST) und die Verwaltungsvorschrift VV BAU-STE des EBA.

Die „Abnahmeniederschrift“ als Rechtsdokument

Das zentrale Dokument ist die Abnahmeniederschrift. Bisher setzt diese implizit eine physische Prüfung voraus. Der volle Nutzen digitaler, georeferenzierter Methoden entfaltet sich, wenn folgende Aspekte umgesetzt werden:

- Offenheit für Messmethoden: Die Richtlinien dürfen sich nicht auf die Verwendung eines Messrads zur Montage/Abnahme beschränken, sondern müssen methodenoffen sein.
- Zulassung protokollbasierter Prüfungen: Die Ril/VV darf nicht ausschließen, dass der Nachweis der korrekten Lage durch ein belastbares Datenprotokoll erbracht werden kann und die Eigenleistung des PSV reduziert wird.
- Neudefinition der Prüfpflichten: Der PSV prüft nicht mehr das „Objekt“, sondern den „Prozess“ und die „Daten“. Zur Abnahme lässt er sich von einem Messingenieur bescheinigen, dass das Messgerät korrekt kalibriert ist und sowohl die Toleranzen als auch die Vorgaben zur Datenintegrität eingehalten werden.

Tool-Qualifikation und T2-Nachweis

Wenn DRVito für sicherheitsrelevante Entscheidungen genutzt wird, unterliegt die Software strengen Anforderungen. Hierzu ist ein T2-Nachweis (Toolqualifikation nach EN 50128) notwendig. Das bedeutet, dass der Entwicklungsprozess, das Testmanagement und die

Validierung der Software selbst nachgewiesen werden müssen. Nur ein nach Kategorie T2 qualifiziertes Tool darf die physische Messung durch den PSV ersetzen. Dies ist ein entscheidender Schritt, um die rechtliche Akzeptanz der „digitalen Abnahme“ beim Eisenbahnbundesamt (EBA) zu sichern.

Fazit

Die georeferenzierte Abnahme von LST-Elementen markiert einen grundlegenden Wandel in der Eisenbahntechnik. Sie transformiert einen manuellen Prozess in einen digitalen, datengetriebenen Workflow.

Das hier dargestellte Vorgehen in der Zugbildungsanlage Mannheim hat gezeigt, dass dieser Ansatz nicht nur theoretisch funktioniert, sondern auch im Praxiseinsatz durchführbar ist. Die Kombination aus:

- Hochpräziser Erfassung (Trimble MX9),
- Intelligenter Datenauswertung (DRVito),
- Angepassten Prozessen (OpAL)

bildet ein robustes Ökosystem für die digitale Zukunft.

Die Vorteile sind evident:

- Für den Betrieb: Weniger Sperrpausen, höhere Verfügbarkeit
- Für das Projekt: Schnellere Abnahme, transparenter Fortschritt, Kosteneinsparung
- Für die Sicherheit: Reduktion von Gefahrensituationen für Personal im Gleis, Eliminierung systematischer Messfehler

Der Weg zur flächendeckenden Einführung erfordert nun vor allem regulatorischen Mut. Die Anpassung der Regelwerke und die Qualifizierung der Software-Tools müssen mit Hochdruck vorangetrieben werden. Wenn dies gelingt, wird die „Abnahme vom Schreibtisch“ – gestützt durch einen geeigneten digitalen Zwilling – zum neuen Standard. Das Ziel ist ein vollständig digital abgebildeter Prozess, in dem Planung, Bau und Betrieb nahtlos ineinandergreifen. ■

Quellen

- [1] Bundesministerium für Verkehr (2025): Agenda für zufriedene Kunden auf der Schiene, [online] https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/bahn-agenda.pdf?__blob=publicationFile [abgerufen am 11.03.2026]
- [2] + [3] + [7] Bachmann, Wenzel, et al. (2025): Georeferenz in der LST – von der Planung bis zur Abnahme. SIGNALLING + DATA COMMUNICATION (117) 6/2025.
- [4] Prüter, Trujillo López, et al. (2025). Bestandsdigitalisierung in der Leit- und Sicherungstechnik, EIK 2025.
- [5] + [6] Ramann, Sinning, et al. (2023): Einführung von Mobile Mapping für die Gleisvermessung, EI | April 2023.
- [8] <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/aktuelles/2023/Digitales-Register>
<https://digitale-schiene-deutschland.de/de/aktuelles/2024/PlanPro-GEO-Planer>