

Bestandsdigitalisierung in der Leit- und Sicherungstechnik

Felix Prüter, Julian Trujillo López und Volkmar Bachmann

1 Mehrwert digitaler Bestandsinformationen

Die Mobilitätswende und die damit einhergehende Verlagerung des Verkehrs von der Straße auf die Schiene erfordern neben der Modernisierung der Gleisinfrastruktur auch stetige Verbesserungen und Effizienzsteigerungen im Bahnbetrieb. Mit der Digitalisierungsstrategie der Deutschen Bahn AG (DB) hat sich in den letzten Jahren der Konsens im Konzern gefestigt, dass ein zukunftsfähiger Bahnbetrieb datenorientiert sein wird [1]. Voraussetzung für die Nutzung datenzentrierter Betriebsprozesse ist die Bereitstellung digitaler Eingangsinformationen. Neben Verkehrsdaten gehören dazu vor allem Daten aus den Bereichen Planung, Bau und Anlagenmanagement. Der noch immer hohe Anteil analoger Inhalte und Prozesse, wie z. B. der Bezug von Bestandsinformationen in Form von Papierunterlagen, kann sich dabei negativ auf folgende Teilaspekte der Planung auswirken:

- **Informationsbeschaffung:** Die manuelle Erfassung und Aktualisierung von Bestandsinformationen in Papierform ist zeitaufwendig und fehleranfälliger als die Nutzung digitaler Daten. Dies kann zu Verzögerungen und Ungenauigkeiten im Planungsprozess führen.
- **Datenintegration und -konsistenz:** Papierbasierte Bestandsinformationen werden durch den jeweils zuständigen Fachbereich oft isoliert betrachtet und sind schwer mit den Inhalten anderer Gewerke zu vergleichen.
- **Dokumentenverfügbarkeit und -zugänglichkeit:** Physische Dokumente sind schwerer zugänglich als digitale Daten. Darüber hinaus dauert die Verteilung von Einzeldokumenten meist länger als das Abrufen gesamthafter Datensätze, was die Planungseffizienz beeinträchtigen kann.
- **Informationsauswertung:** Die Analyse konventioneller Bestandsunterlagen, bspw. zur örtlichen Überprüfung großer Infrastrukturbereiche, kann sehr zeitaufwendig sein. Ebenso kann die fachtechnische Planprüfung durch das Erkennen und Gegenprüfen möglicher Folgefehler in unterschiedlichen Papierdokumenten erschwert bzw. verlangsamt werden.

Im Bereich der Fachplanung hat sich der Digitalisierungsgrad vor allem durch den Einsatz von Building Information Modeling (BIM) in den letzten Jahren deutlich erhöht. Bereits mit der Abbildung der Bestandsgleislage auf Basis von Gleisnetzdaten

wurde eine Grundlage zur örtlichen Referenzierung von Fachmodellen unterschiedlicher Gewerke geschaffen. Es bestehen jedoch weiterhin Entwicklungspotenziale bei der Erhebung und Verwaltung von Bestandsinformationen.

2 Grundlagen der Bestandsdigitalisierung bei D3iP

Um das Ziel eines datenbasierten Bahnbetriebs zu erreichen, wie es das Betrieblich-Technische Zielbild der Digitalen Schiene Deutschland vorsieht, müssen die Hemmnisse der analogen Informationsverwaltung überwunden werden. Das Projekt Durchgängig Digitale Datenhaltung im Planungsprozess (D3iP) [2] hat hierbei bereits bedeutende Fortschritte gemacht. Dazu zählen die Einführung der gleisgebundenen Bestandsaufnahme in Projekten der Leit- und Sicherungstechnik (LST), die Entwicklungsunterstützung der BIM-Objektbibliothek und die Bereitstellung des PlanPro-GEO-Planers. Im Folgenden werden die wichtigsten Inhalte, Methoden und Werkzeuge des Gesamtprozesses der Bestandsdigitalisierung beschrieben (Abb. 1).

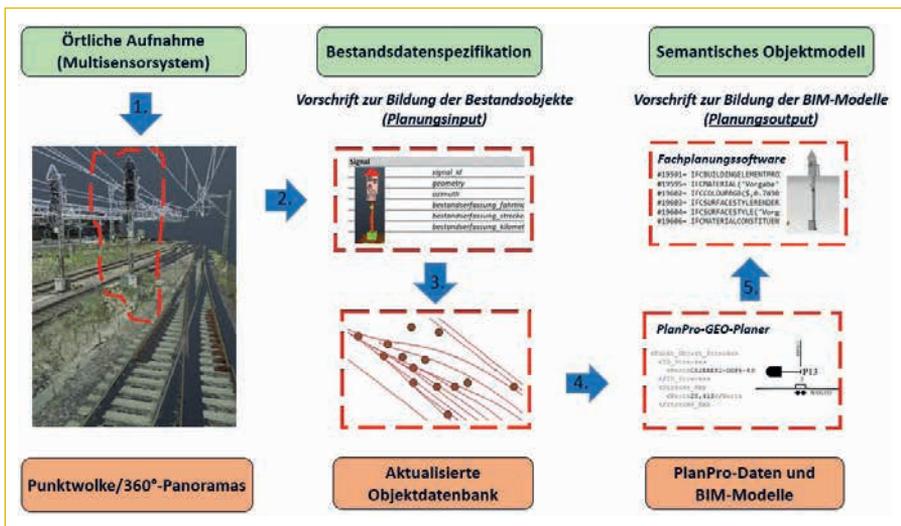


Abb. 1: Gesamtprozess der Bestandsaufnahme und -modellierung in D3iP

2.1 Topografische Daten aus Multisensoraufnahmen

Der Digitalisierungsprozess von D3iP beginnt mit der gleisgebundenen Bestandsaufnahme, welche sich bereits als transformative Technologie in Infrastrukturprojekten etabliert hat. Sie ermöglicht es, alle sichtbaren topografischen Anlagen, seien es Bauwerke oder Ausrüstungskomponenten, sowie die Gleisgeometrie präzise und effizient zu erfassen. Hierzu werden Kombinationen verschiedener Aufnahme-

instrumente, sog. Multisensorsysteme (MSS), auf Schienenfahrzeuge montiert, welche die Umgebung während der Fahrt aufnehmen. Punktwolken bilden hierbei das hauptsächlich genutzte Ausgabeformat (Abb. 2). Sie werden vorrangig über LiDAR-Scans (Light Detection and Ranging) erzeugt. LiDAR-Scanner senden Laserpulse aus und messen die Zeit, die diese benötigen, um nach dem Auftreffen auf ein Objekt zum Scanner zurückzukehren. Das Ergebnis ist eine dreidimensionale Darstellung des gescannten Bereichs. Die Genauigkeit kann dabei je nach Messsituation variieren und hängt von Faktoren wie der geodätischen Referenzierung, Sichtverhältnissen, Wetter oder Geschwindigkeit des Messzuges ab.

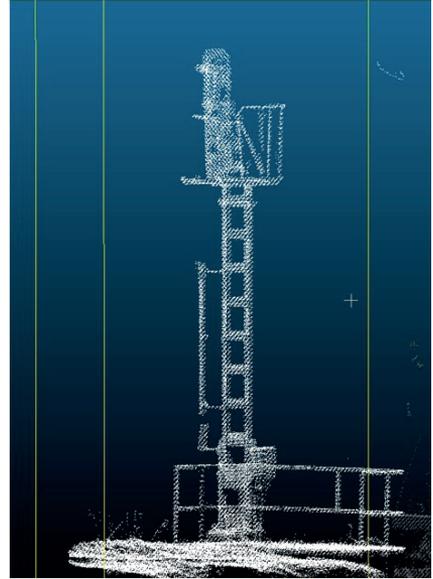


Abb. 2: Punktwolke aus MSS-Aufnahme

Durch den Bezug zum Festpunktfeld im bahneigenen Lage- und Höhensystem DB_REF2016 können moderne LiDAR-Systeme Millionen von Punkten pro Sekunde mit einer absoluten Genauigkeit im Zentimeterbereich erfassen. Diese hohe Auflösung ist für die präzise Verortung von Infrastrukturobjekten unerlässlich, vor allem wenn die Ergebnisse als Grundlage für Planungs-, Analyse- und Bauaktivitäten dienen sollen. In Verbindung mit weiteren Aufnahmetechnologien wie z.B. 360°-Panoramakameras lässt sich das Abbild der sichtbaren Außenanlagenelemente komplettieren.

Die MSS-Aufnahme birgt durch die schnelle Bereitstellung eines genauen und aktuellen Bestandes zu Projektbeginn gegenüber klassischen Aufnahmeverfahren, vor allem in sehr großen Planungsbereichen, Beschleunigungspotenziale. Die Notwendigkeit des flächendeckenden Einsatzes der Methode, aber auch der hohe technische Anspruch einer präzisen Aufgabendefinition wurden frühzeitig erkannt. Im Zuge einer Kooperation von D3iP, Konzerneinkauf und dem Geschäftsbereich Anlagenmanagement wurden mögliche Standardisierungsmaßnahmen evaluiert. Das Ergebnis war eine europaweite Ausschreibung zur Aufnahme, Auswertung und Visualisierung der MSS-Ergebnisse, an der sich eine Vielzahl von Unternehmen innerhalb und außerhalb des Bahnsektors beteiligt hat. Durch die Standardisierung der MSS-Aufnahme ist es nun möglich, die Wertschöpfungskette aus Bestandsaufnahme und Erzeugung von Planungsdaten in folgenden Bereichen auszubauen:

- Automatisierte Verarbeitung: Fortschritte im maschinellen Lernen und in der Künstlichen Intelligenz (KI) haben zur Entwicklung von Softwaretools beigetragen, die Punktwolkendaten automatisch verarbeiten können. Diese Tools können Objekte identifizieren und klassifizieren, zeitabhängige Änderungen erkennen und zu Inputdaten für BIM-Modelle verarbeiten.
- Integration von BIM: Die Verarbeitung der MSS-Aufnahmen zu Objektdatenbanken, welche in einer Vielzahl von Planungswerkzeugen als Bestandsgrundlage genutzt werden können, ermöglicht den nahtlosen Übergang in die Planung gemäß BIM-Methodik. Die dabei erzeugten Modelle können über den gesamten Lebenszyklus eines Infrastrukturprojekts hinweg verwendet werden, von der Planung bis zur Wartung.

Um die Messdaten der MSS-Aufnahme für die Planung nutzbar zu machen, müssen sie in bearbeitbare Daten umgewandelt werden. Dazu werden die klassifizierten Punktwolken separiert und innerhalb der jeweiligen Klassen Objekte gebildet. Die Geometrie und Semantik der Objekte wurden in einer eigens dafür erstellten Modellierungsvorschrift (Bestandsdatenspezifikation) definiert. Sie beschreibt, wie die Vielzahl an gemessenen Punkten auf einfache dreidimensionale Objekte samt einer Mindestmenge an beschreibenden Eigenschaften zu reduzieren ist. Die Ergebnisse werden in einer Objektdatenbank (ODB) gespeichert, welche die Grundlage für die anschließende Erstellung des Bestandsmodells bildet.

2.2 BIM-Objekte für LST-Bestandsmodelle

Mit der stetig voranschreitenden Implementierung von BIM rückt unter anderem der Anwendungsfall der Bestandsmodellierung immer mehr in den Fokus. Planungen werden zunehmend nicht mehr auf Basis idealisierter Bestandspläne („Soll-Bestand“) durchgeführt, sondern bereits mit realistischen Modellen der Bestandsanlage („Ist-Bestand“) begonnen. Diese haben den Vorteil, dass sie mögliche undokumentierte oder nicht regelkonforme Zustände der Außenanlage frühzeitig offenlegen.

Zur detaillierten Darstellung des per MSS erfassten Bestandes eignen sich geometrisch orientierte Objektmodelle wie Industry Foundation Classes (Ifc). Ifc ist ein offener, internationaler Standard für den Austausch von Bauwerksdaten gemäß ISO 16739:2013. Der effiziente Datenaustausch verspricht bessere Planungskoordination, welche folglich zur Reduzierung von inhaltlichen Konflikten und damit hochwertigeren Ergebnissen führt.

Darüber hinaus ermöglichen Ifc-Modelle durch die Anbindung von Umsystemen wie kaufmännischer Software oder Projektsteuerungssoftware die Durchführung weiterer Anwendungsfälle wie modellbasierter Mengenermittlung und Bauablaufsimulationen.

Die seit 2023 online verfügbare BIM-Objektbibliothek der DB InfraGO Fahrweg [3] bildet einen standardisierten Katalog an wiederverwendbaren Bauteilen ver-

schiedener Gewerke ab. Mit Fokus auf den Fachbereich LST beteiligt sich D3iP am kontinuierlichen Aufbau dieses Katalogs. Zunächst wurden Signalobjekte der Systeme KS und H/V sowie ausgewählte Rangier- und Nebensignale bereitgestellt. Weitere Objekte wie Komponenten für die Gleisfreimeldung oder Bahnübergangssicherungsanlagen sind in Planung und werden sukzessiv veröffentlicht.

Mithilfe der standardisierten Bauteile ist es nun möglich, die relevanten Objekte der Punktwolke in eine Planung nach BIM-Methodik zu überführen. Zu diesem Zweck müssen die Objekte korrekt in der Punktwolke verortet und ausgerichtet werden (Abb. 3).



Abb. 3: Verortetes lfc-Bestandsobjekt in der Punktwolke

Hierfür kamen bislang softwaregestützte Automatisierungsworkflows zum Einsatz, welche meist auf Individuallösungen der jeweiligen Planungsfirmen basieren und daher unterschiedliche und schwer prüfbare Ergebnisse erzeugen. Als Alternative bzw. Ergänzung werden Objekte oftmals auch manuell in das Gesamtmodell eingefügt. In großen Planungsbereichen kann dies einen enormen zusätzlichen Arbeitsaufwand bedeuten. Es bedarf einer standardisierten Lösung, um die 3D-Objekte passend zur Geometrie der Punktwolken zu platzieren.

Das notwendige Element zur Verknüpfung dieser beiden Informationsarten ist die Gleistopologie, welche über den PlanPro-GEO-Planer (kurz GEO-Planer) erzeugt wird. Er stellt das grundlegende Werkzeug zur teilautomatisierten und qualitätsgesicherten Bestandsmodellierung in digitalen LST-Planungen dar.

2.3 PlanPro-GEO-Planer

Als eine zentrale Komponente für die Planungsvorbereitung der digitalen LST dient der GEO-Planer sowohl zur Aufbereitung von Trassierungsdaten als auch zur Konver-

tierung und Ausgabe von Bestands- und Vermessungsinformationen im PlanPro-Format, welches die Grundlage für die digitale LST-Planung und folglich die Anwendung der BIM-Methodik im Fachgewerk bildet.

Für die digitale Planung der LST hat sich die DB InfraGO AG (DB InfraGO) gemeinsam mit der Signalbauindustrie bereits vor Jahren auf PlanPro als das künftige digitale, XML-basierte Austauschformat verständigt. Es basiert auf einem zweistufigen Knoten-Kanten-Modell zur Beschreibung der Geometrie und der Topologie (Abb. 4) einer Eisenbahninfrastruktur und beschreibt die Planungsparameter aller Untergewerke.

Nach Erprobung in Form von Schattenplanungen in einigen kleinen Infrastrukturprojekten werden im Rahmen des DSD-Starterpakets nun gleich mehrere Großprojekte digital geplant. Wie bei einer konventionellen Planung, stellen Gleisnetzdaten des Bestands oder geplanter Gleisbaumaßnahmen die Arbeitsgrundlage für die LST-Planenden dar. Diese Gleisnetzdaten bestehen aus geometrischen Primitiven wie Geraden, Bögen und Übergangsbögen, die durch Verbindung an gemeinsamen Achshauptpunkten in Summe den geometrischen Verlauf von Gleisen und Strecken beschreiben. Sie werden entweder als Bestandsdaten vom Geodatenmanagement der DB InfraGO aus AVANI im Format GNDedit zur Verfügung gestellt oder liegen als Trassierungsentwurf im ASCIBAHN-Format vor. Im Folgenden werden diese als konventionelle Gleisnetzdatenformate bezeichnet. Der GEO-Planer wurde entwickelt, um diese konventionellen Gleisnetzdaten ins PlanPro-Format zu konvertieren.

„Import von Gleisnetzdaten im Format GNDedit oder ASCIBAHN – Export von Gleisnetzdaten im Format PlanPro.“ So einfach ließe sich die Arbeit mit dem GEO-Planer daher zusammenfassen. Bei genauerer Betrachtung birgt die vermeintlich einfache Formatkonvertierung jedoch zahlreiche Herausforderungen. In den folgenden Abschnitten soll daher der aktuelle Funktionsumfang des GEO-Planers, der seit April 2024 in der Version 1.0 frei zur Verfügung steht [4], beschrieben und der Umgang mit dem Werkzeug skizziert werden.

Beim Import unterstützt der GEO-Planer die bereits erwähnten Formate GNDedit und ASCIBAHN v4. In Bezug auf das PlanPro-Format werden die Versionen 1.9.0.2 und 1.10.0.1 akzeptiert. Aus den in den konventionellen Gleisnetzdaten enthaltenen Informationen werden Objekte des PlanPro-Geo-Datenmodells wie z. B. GEO-Kanten, GEO-Knoten, TOP-Kanten und TOP-Knoten erzeugt (Abb. 4).

Die importierten Objekte können sowohl in einer Karte (Geo-Ansicht) als auch tabellarisch (Instanztabellen) visualisiert werden (siehe Abb. 7-10).

Die aus den konventionellen Gleisnetzdaten erzeugten PlanPro-Objekte erfüllen mitunter nicht alle Anforderungen der beiden Knoten-Kanten-Modelle. Eine wichtige Bedingung ist, dass die geometrische Ebene überall dort Knoten aufweist, wo sich

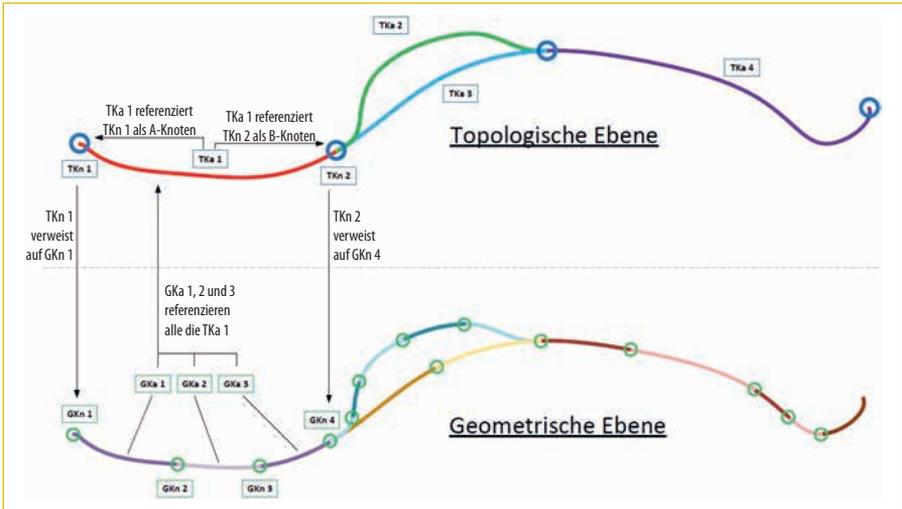


Abb. 4: Knoten-Kanten-Modell

auch in der topologischen Ebene Knoten befinden. Hintergrund: TOP-Knoten müssen immer auf GEO-Knoten verweisen (Abb. 5).

Die geometrische Beschreibung der Stammgleisachsen von Weichen ist in den konventionellen Gleisnetzdaten häufig ohne Unterbrechung am Weichenanfang ausgeführt, da sich die Eigenschaften des durchgängig (häufig) geraden Trassierungselements nicht ändern. Um diese Diskrepanz mit dem PlanPro-Modell aufzuheben, muss

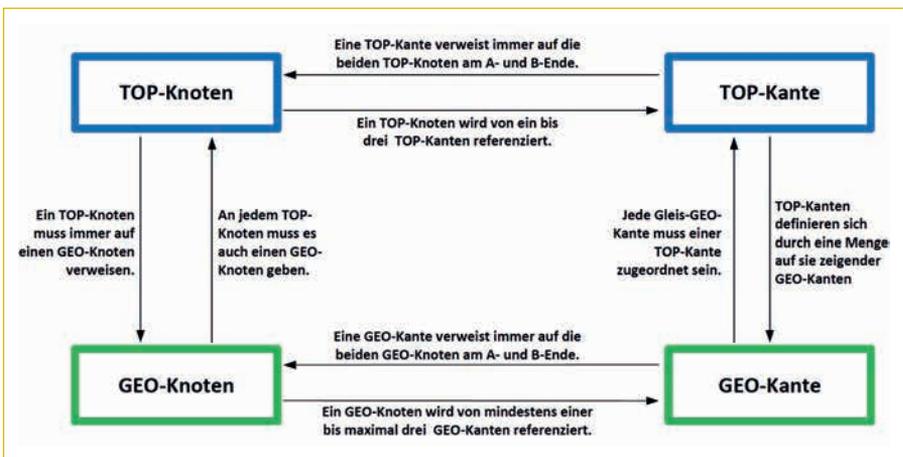


Abb. 5: Zusammenhang von geometrischen und topologischen Knoten und Kanten

die GEO-Kante am Weichenanfang gebrochen werden. Die zwei neu entstehenden GEO-Kanten sind dabei hinsichtlich Länge, ggf. Anfangs- und Endradius sowie Richtungswinkel korrekt zu parametrieren. Zudem sind den beiden Kanten die richtigen GEO-Knoten zuzuordnen. Man muss diese Einzelschritte aber nicht alle manuell durchführen. Der GEO-Planer erkennt diesen (und andere) Sachverhalte und ermöglicht eine automatisierte Abarbeitung.

Stammen die Daten für einen Bereich aus mehreren Dateien, kann es zu fachlichen Duplikaten kommen, wenn sich die Daten räumlich überlagern. Aber auch innerhalb einer Datenquelle finden sich mitunter positionsgleiche Punktdressen/GEO-Knoten. Für diesen Fall bietet der GEO-Planer das Verschmelzen von GEO-Knoten an. Dabei wird einer der beiden Knoten gelöscht und alle eingehenden Verweise auf den verbleibenden Knoten umgezogen. Anhand eines Regelsatzes schlägt der GEO-Planer einen Behalten-Kandidaten vor; eine Übereinstimmung ist aber möglich.

Auch die Verknüpfung von geometrischer und topologischer Ebene (Abb. 4) kann innerhalb des GEO-Planers ermittelt und hergestellt werden. Dazu wird zwischen Start-/A- und Ziel-/B-Knoten einer TOP-Kante ein durchgehender Pfad von GEO-Kanten gesucht. Wird dieser Pfad gefunden, werden alle GEO-Kanten des Pfades der TOP-Kante zugewiesen.

Die beiden konventionellen Gleisnetzdatenformate liefern keine expliziten Angaben zu Navigationsbeziehungen zwischen den Elementen der topologischen Ebene. Diese Informationen sind jedoch insbesondere für eine Fahrwegsuche auf der Gleisinfrastruktur wichtig. Gemäß PlanPro-Datenmodell müssen z. B. an Verzweigungspunkten (Weichen) drei TOP-Kanten mit den Anschlusstypen Spitze, Rechts und Links am TOP-Knoten anschließen. Auch hier bietet der GEO-Planer durch eine geometrische Analyse der Winkelpaare aller am Verzweigungsknoten anschließenden GEO-Kanten eine Automatisierungsfunktion zur Anschlussermittlung und -zuordnung.

Zur Gleisgeometrie gehören neben den horizontalen Lageinformationen Angaben zur Längs- und Querneigung. Im PlanPro-Modell werden diese in Form von auf der Topologie verorteten Höhenpunkten und Überhöhungen sowie Höhen- und Überhöhungslinien abgebildet. Die Linien verbinden jeweils zwei Punkte miteinander und beschreiben den geometrischen Verlauf (Gerade, Parabel für Höhen; gleichbleibend, Rampe, Schere für Überhöhungen) und die Länge. In den beiden Punktobjekten (Name der Elternklasse für Höhenpunkt und Überhöhung) finden sich unter anderem Angaben zur Höhe und dem Höhensystem sowie der Höhendifferenz der Schienenoberkanten. All diese Informationen können ohne Umrechnung aus den Quelldateien übernommen werden. Einzig die Positionsangabe, die für Punktobjekte maßgeblich als topologische Verortung mit Verweis auf eine TOP-Kante, dem Abstand vom Beginn der Kante und ggf. einem seitlichen Abstand oder einer seitlichen Lage

angegeben wird, ist durch den GEO-Planer aus der topografischen Ortsangabe (X/Y-Koordinaten) zu ermitteln.

Neben den genannten Funktionen zur automatisierten Datenbearbeitung/-aufbereitung können im GEO-Planer für alle relevanten Objekttypen händisch neue Elemente erzeugt, deren Eigenschaften/Attribute verändert und existierende Objekte gelöscht werden. In Bezug auf die Löschfunktionalität werden zwei Modi unterschieden: einfaches und erweitertes Löschen. Beim einfachen Löschen wird nur das betreffende Objekt gelöscht und werden alle ausgehenden Referenzen aus anderen Objekten, die auf das zu löschende Objekt verweisen, entfernt. Beim erweiterten Löschen hingegen werden neben dem betreffenden Objekt auch abhängige Objekte (rekursiv) mitgelöscht. Unter abhängigen Objekten sind Objekte anderen Typs zu verstehen, die mit dem betreffenden Objekt über ein- oder ausgehende Verweise in Beziehung stehen. Ein eindeutiger Satz an Bedingungen für das erweiterte Löschen abhängiger Objekte stellt sicher, dass keine Kettenreaktion ausgelöst wird. Da gemäß PlanPro-Modelllogik alle Objekte direkt oder indirekt miteinander verknüpft sind, würde das erweiterte Löschen eines einzelnen Objekts ansonsten schnell zur Löschung sämtlicher Objekte im GEO-Planer führen.

Ist die Geodatenaufbereitung abgeschlossen, kann das Resultat im PlanPro-Format der Modellversionen 1.9.0.2 und 1.10.0.1 exportiert werden. Aktuell unterstützt der GEO-Planer dabei die Ausgabe als LST-Zustand – (noch) nicht als LST-Planung, was einer Weiterverarbeitung in den bekannten LST-Planungswerkzeugen aber nicht im Wege steht.

Als XML-basiertes Format kann die Richtigkeit vieler Fachinhalte eines PlanPro-Datensatzes, wie etwa die einfache Einhaltung bestimmter Wertebereiche, bereits anhand des PlanPro-XML-Schemas geprüft werden. Man spricht in diesem Zusammenhang von „Validität gegenüber dem PlanPro-Schema“. Darüber hinaus gibt es jedoch eine Vielzahl fachlicher Aspekte, z. B. die Einhaltung von Wertebereichen eines Attributs in Abhängigkeit vom Attributwert eines anderen Objekts, die nicht über diese XML-Technik sichergestellt werden können. Hierfür sind die PlanPro-Komponenten „Plaz-LST“ und „Plaz-Modell“ (Plausibilitäts- und Zulässigkeitsprüfung) entwickelt worden [5], die im PlanPro-Werkzeugkoffer zum Einsatz kommen. Als Pendant dazu wurde zur Qualitätssicherung der Geo-Daten im GEO-Planer die Komponente „Plaz-GEO“ implementiert, ein Satz von rund 90 Prüfregelein mit Bezug auf die Geo-Objekte des PlanPro-Modells. Zur Verdeutlichung seien drei Beispiele genannt:

1. Die Länge einer TOP-Kante muss der Summe aller Längen jener GEO-Kanten entsprechen, die diese TOP-Kante referenzieren.
2. Am TOP-Knoten mit drei anschließenden TOP-Kanten müssen die Anschlussypen Spitze, Rechts und Links vergeben sein.
3. Die Höhenpunkte A und B einer Höhenlinie müssen sich auf das gleiche Höhensystem beziehen.

Neben der Qualifizierung der Arbeit mit dem GEO-Planer kann PlaZ-GEO auch dazu verwendet werden, die Qualität jener Geo-Daten sicherzustellen, die mit anderen Werkzeugen des PlanPro-Kosmos erstellt wurden.

Der bis hier beschriebene Funktionsumfang des GEO-Planers betrifft ausschließlich die Geo-Daten einer Eisenbahninfrastruktur. Für die LST-Planung sind die Komponenten der LST-Bestandsanlage aber mindestens genauso wichtig. Die LST-Bestandsunterlagen im analogen oder digitalen Papierformat stellen hier eine mögliche Quelle dar. Die manuelle Digitalisierung von Papier im Fachplanungswerkzeug ist aber aufwendig und fehleranfällig. Bei einigen digitalen LST-Planungsprojekten werden bereits Bestandserfassungen mittels Streckenbefahrung zum Abgleich der realen Gegebenheiten mit den Daten des Geodatenmanagements durchgeführt. Die dabei erzeugten und auf Richtigkeit abgeglichenen Informationen zu Elementen der LST-Bestandsanlage werden in sogenannten Objektdatenbanken (ODB) gemäß DSD-Bestandsdatenspezifikation abgelegt. Mit der Komponente „ODB2PlanPro-Konverter“ bietet der GEO-Planer die Möglichkeit, die Inhalte der ODB in entsprechende PlanPro-LST-Objekte zu konvertieren, diese auf der Topologie zu verorten und gemeinsam mit den Geo-Daten des Projekts im PlanPro-Format zu exportieren. So schafft der PlanPro-GEO-Planer für die LST-Planung eine digitale Datengrundlage, die sowohl die Gleisnetzdaten als auch Informationen zu physischen Objekten (in Abgrenzung zu logischen Objekten wie Fahrstraßen und Flankenschutzbeziehungen) der LST-Bestandsanlage beinhaltet. Abgerundet wird der Prozess der Datenerzeugung mit Übergabe der PlanPro-Datei ins LST-Planungstool, aus welchem in Verbindung mit den zuvor beschriebenen lfc-Bestandsobjekten ein gesamthaftes BIM-Bestandsmodell erzeugt wird (Abb. 6).



Abb. 6: Datenfluss bei der Anwendung des PlanPro-GEO-Planers

3 Anwendungsbeispiel des Digitalisierungsprozesses

Wie in Kap. 2 bereits angedeutet, sollen im folgenden Abschnitt exemplarische Arbeitsschritte zur Bestandsdigitalisierung (mit dem GEO-Planer) aufgezeigt werden. Als Kontext dient der Bahnhof Schmalkalden an der Strecke 6698.

An konventionellen Gleisnetzdaten liegt eine Datenbank im Format GNDedit vor, die in den GEO-Planer importiert wird. Abb. 7 zeigt den Zustand nach dem Import.

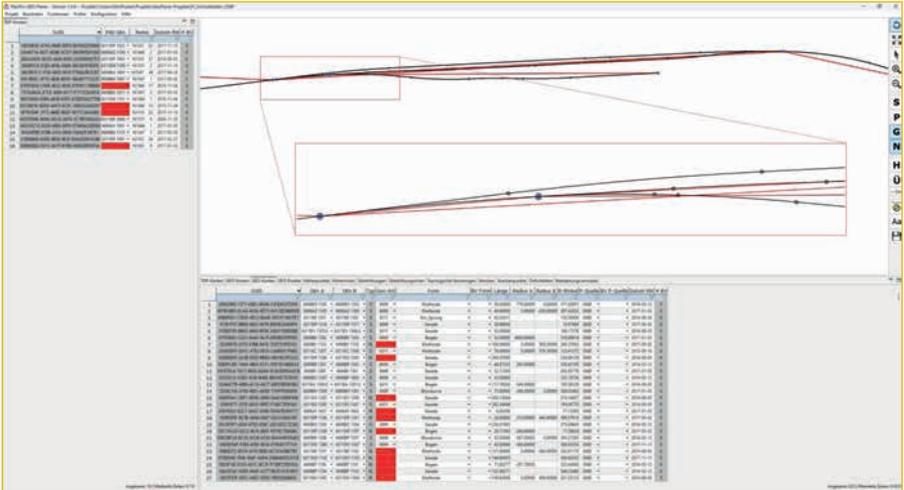


Abb. 7: Zustand nach dem GND-Import

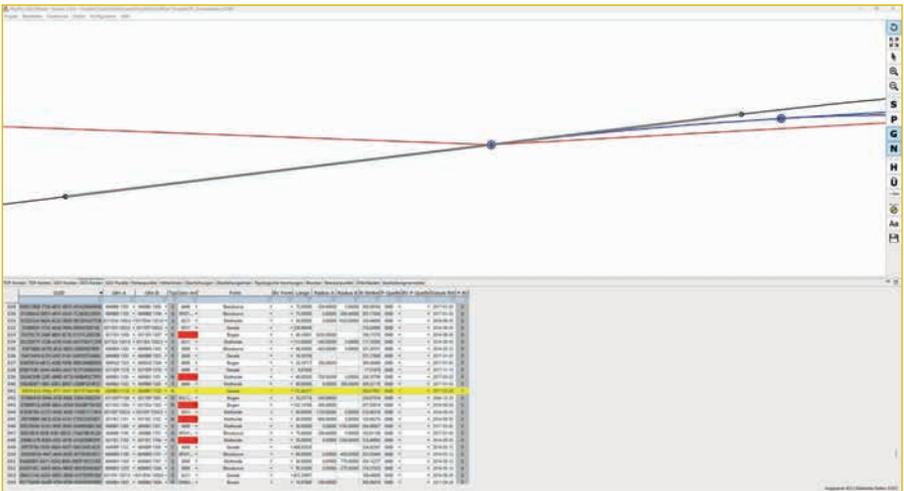


Abb. 8: Zustand nach GEO-zu-TOP-Kanten-Zuordnung

Die Kanten der Gleisgeometrie werden schwarz in der Geo-Ansicht dargestellt, da noch keine Zuordnung zur Topologie erfolgt ist. Die TOP-Kanten werden als rote Verbindungslinien zwischen ihren jeweiligen beiden TOP-Knoten visualisiert (siehe Vergrößerung in Abb. 7). TOP-Knoten hingegen sind bereits mit den relevanten GEO-Knoten verknüpft. Aber auch hier gibt es Ausnahmen: Für vier Verzweigungspunkte (Zeilen der TOP-Knoten-Tabelle mit roten Zellen) lieferte die GNDedit-Datei keine Ortsinformationen. Hier bleiben nur die Möglichkeiten, den TOP-Knoten sowie die dazugehörige TOP-Kante zu löschen und auf den entsprechenden Infrastrukturabschnitt zu verzichten, oder die fehlenden Informationen müssen aus einer anderen Quelle bereitgestellt werden.

Die Ausführung der Funktion GEO-zu-TOP-Kanten-Zuordnung liefert ein unvollständiges Ergebnis (Abb. 8). Der rechte Strang der zentral liegenden Verzweigung/Weiche und auch die sich anschließenden Weichenschenkel konnten topologisch zugeordnet werden und werden nun blau dargestellt; die GEO-Kanten des geraden Stammgleises hingegen nicht. Grund dafür ist die am TOP-Knoten durchgehende GEO-Kante. Diese ist nicht eindeutig einer der beiden (roten) topologischen Kanten zuzuordnen.

Die im Kap. 2 angesprochene Bedingung des PlanPro-Modells, dass Trassierungselemente an topologischen Zwangspunkten beginnen und enden müssen, ist hier nicht erfüllt. Die GEO-Kante muss also am TOP-Knoten gebrochen werden. Abb. 9 zeigt den Zustand nach dem Brechen der GEO-Kante.

Anschließend kann die GEO-zu-TOP-Zuordnung erneut ausgeführt werden und liefert nun eine vollständige Verknüpfung. Es folgen die Schritte zur Ermittlung der

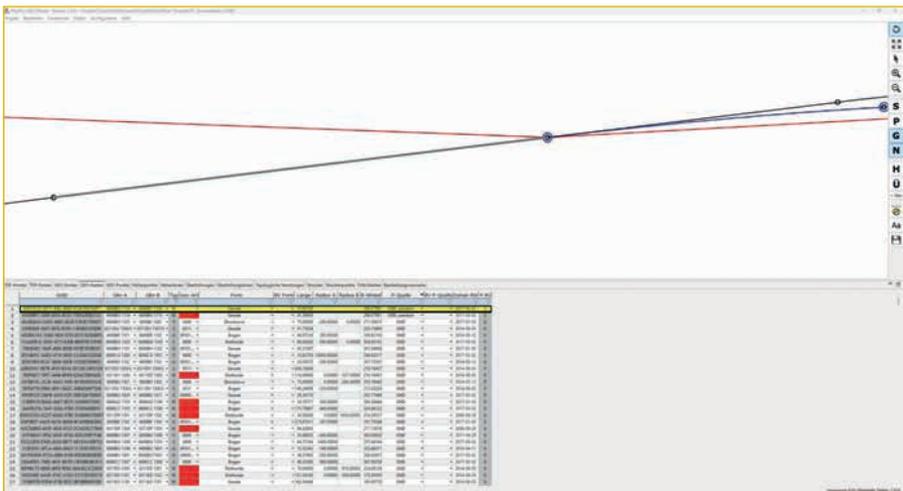


Abb. 9: Zustand nach GEO-Kanten-Brechen

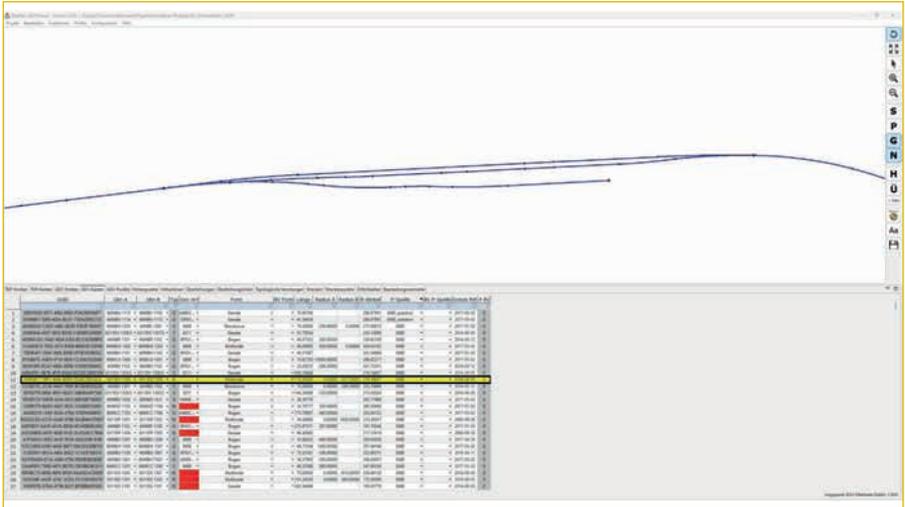


Abb. 10: Zustand nach vollständiger Aufbereitung der Topologie

Anschlussart der TOP-Kanten in den TOP-Knoten (Navigationsbeziehungen), die Berechnung der Längen der TOP-Kanten und die topologische Verortung von Höhenpunkten und Überhöhungen. Die Schritte können mit Ausnahme eines manuellen Nacharbeitungsaufwands beim Ermitteln der Anschlussart vom GEO-Planer automatisiert abgearbeitet werden. Der GEO-Planer präsentiert das Ergebnis der Geodaten-aufbereitung wie in Abb. 10 zu sehen.

Der Stand ließe sich als PlanPro-Geodatenatz exportieren. Ohne zusätzlichen Aufwand ist aber auch ein kombinierter PlanPro-Export von Gleisnetzdaten und



Abb. 11: Visualisierung der ODB in QGIS

LST-Objekten des Bestands möglich. Dazu ist eine Objektdatenbank gemäß DSD-Bestandsdatenspezifikation beim Export anzugeben. Die Inhalte dieser Datenbank lassen sich vorab mit einem Geoinformationssystem visualisieren (Abb. 11).

Die Komponente ODB2PlanPro-Konverter des GEO-Planers erzeugt die passenden PlanPro-Objekte, befüllt nach Möglichkeit deren Fachattribute und ermittelt eine topologische Verortung auf der Gleisinfrastruktur. Bei uneindeutigen Gleisbezügen, etwa weil sich ein Objekt zwischen zwei Gleisen befindet, werden Verortungen auf mehreren topologischen Kanten erzeugt. In diesen Fällen obliegt es dem LST-Planer, den Sachverhalt in der Fachplanungssoftware aufzulösen.

Die exportierte PlanPro-Datei lässt sich anschließend mittels PlanPro-Werkzeugkoffer betrachten (Abb. 12).

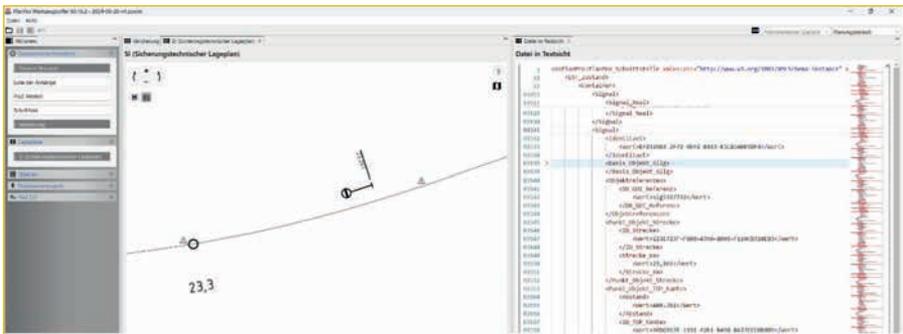


Abb. 12: Vollständiger Bestand im PlanPro-Werkzeugkoffer

Aus Sicht der digitalen LST-Planung sind die physischen Bestandsinformationen hiernach vollständig als PlanPro-Datensatz abgebildet. Die Planung nach BIM-Methodik erfordert jedoch auch die Darstellung im dreidimensionalen Bauwerksdatenmodell. Dieses lässt sich mittlerweile durch marktübliche LST-Planungssoftware erstellen. Der Vorteil der vorangegangenen Datenaufbereitung im PlanPro-Format ist, dass bei der BIM-Modellierung nunmehr eine Ableitung der bereits erzeugten Informationen erfolgt statt einer gänzlich neuen Modellierung. Die Inhalte des PlanPro-Datensatzes und die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen 3D-Objekte werden über interne Exportfunktionen der Fachplanungssoftware automatisiert zu einem Gesamtmodell zusammengeführt. Gemäß der Modellierungsvorgaben des semantischen Objektmodells (SOM) beinhaltet es eine Vielzahl von Facheigenschaften und somit einen weitaus höheren Informationsgehalt, bei gleichzeitig geringerem Erstellungsaufwand, als es bei händisch erstellten Modellen oft der Fall ist (Abb. 13).

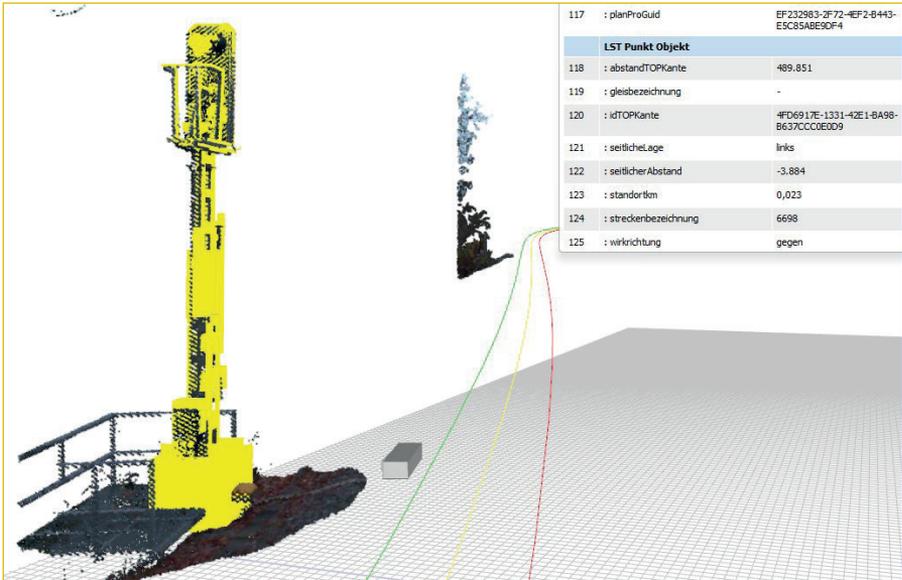


Abb. 13: Gleistopologie und Bestandsobjekte im BIM-Modell

4 Fazit und Ausblick

Der Anwendungsfall der Bestandsmodellierung ist seit vielen Jahren ein Grundbestandteil von BIM-Projekten und in den Lastenheften, den Auftraggeber-Informationen anforderungen (AIA), entsprechend definiert. In der Vergangenheit war die Erstellung der Bestandsmodelle mit großem Zusatzaufwand verbunden, weshalb sie oftmals nicht durchgeführt wurde und damit die Vorteile einer aktuellen und realitätsnahen Bestandsgrundlage zu Projektbeginn ungenutzt blieben. Mit der Kombination aus MSS-Aufnahme und Datenverarbeitung über Tools wie den PlanPro-GEO-Planer ist es gelungen, eine aufwandsarme Methode zur genauen, schnellen und vollständigen Abbildung von Bestandsanlagen mit minimaler Benutzerinteraktion bereitzustellen. Aus den Anforderungen an die digitale Planung und der Erkenntnis, dass Gleisnetzdaten die gemeinsame Grundlage für alle streckennahen Gewerke bilden, lässt sich ableiten, dass der Bahnbetrieb der Zukunft auch eine digitale Geodatenbasis benötigt. Der GEO-Planer stellt durch die Datenausgabe im Standardformat sicher, dass diese Datenbasis nahtlos in die Planungs- und Betriebsprozesse eingebunden werden kann.

Insgesamt zeigen die Fortschritte der DB auf dem Gebiet der Bestandsdigitalisierung ein starkes Engagement für die Nutzung moderner Technologien, um die Planung und Verwaltung von Bahnbetriebsinfrastrukturen zu optimieren. Dieses Engage-

gement zielt darauf ab, die Sicherheit, Effizienz und Nachhaltigkeit im Gesamtsystem Bahn zu verbessern. Trotz der bedeutenden Fortschritte gibt es jedoch weiterhin Herausforderungen zu überwinden. Datenmanagement und -speicherung sind kritische Themen angesichts der großen Datenmengen, die durch Punktwolken erzeugt werden. Die Gewährleistung der Genauigkeit und Konsistenz der Daten erfordert zudem robuste Arbeitsabläufe und Nachweisführung. Eine weitere Herausforderung stellt die Integration logischer Inhalte in bislang eher geometrisch orientierten Modellen dar. In Bezug auf die LST rücken nicht-physische Informationen wie z. B. die Inhalte von Fahrstraßentabellen immer mehr in den Vordergrund. Daher beschäftigt sich D3iP zukünftig auch mit der Digitalisierung konventioneller Bestandsunterlagen mithilfe KI-gestützter Bild- und Texterkennung. Je mehr relevante Informationen in die Bestandsmodelle integriert werden, umso besser eignen sich diese zur Koordination und Fehlerreduzierung im Planungsprozess. Langfristig besteht die Aussicht, dass die gesamthafte digitale Abbildung der Planungsinformationen auch die Qualität digitaler Betriebsprozesse signifikant steigern wird.

Quellen

- [1] <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/aktuelles/2024/DSD-Nutzenstudie>, 10.07.2024 um 13:52
- [2] <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/projekte/D3iP>, 01.09.2024 um 15:41
- [3] <https://bim.dbinfrago.com/bim-fahrweg/BIM-Vorlagen>, 30.08.2024 um 19:10
- [4] <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/aktuelles/2024/PlanPro-GEO-Planer>, 19.08.2024 um 16:37
- [5] https://www.dbinfrago.com/web/schienenetz/dienstleistende/planpro/digitale_lst_planung-11161508#, 19.08.2024 um 18:36



Dipl.-Ing. Felix Prüter

Teilprojektleiter D3iP – Softwaresuite & IT
Signon Deutschland GmbH, Hamburg
felix.prueter@deutschebahn.com



Julian Trujillo López, M.Sc.

Technischer Leiter D3iP
Digitale Schiene Deutschland
DB InfraGO AG, Leipzig
julian.trujillo-lopez@deutschebahn.com



Dr.-Ing. Volkmar Bachmann

Projektleiter D3iP
Digitale Schiene Deutschland
DB InfraGO AG, Leipzig
volkmar.bachmann@deutschebahn.com