"Im Plan steht aber ein anderer Kilometer!" – Das Potenzial georeferenzierter Bahninfrastrukturdaten

"But that's not the kilometre in the plan!" – the potential of georeferenced railway infrastructure data

Peter Hintze | Felix Prüter

Die große räumliche Ausdehnung und Komplexität von Eisenbahnnetzen stellen hohe Anforderungen an die Prozesse zur Erfassung und Verarbeitung von Infrastrukturdaten. Ein Datenlieferant muss die Anforderungen aller Gewerke der Eisenbahnausrüstungstechnik erfüllen und konsistente Daten effizient erzeugen und bereitstellen. Der vorliegende Beitrag zeigt Herausforderungen bei der Erfassung, Auswertung und Verwaltung dieser Daten auf und stellt Maßnahmen zur Optimierung relevanter Prozesse vor. Der Fokus liegt dabei auf der Auswertung georeferenzierter Daten mittels Geoinformationssystemen (GIS).

1 Einleitung

Hersteller und Betreiber von Eisenbahninfrastrukturen benötigen und verwalten zunehmend größer und komplexer werdende Datenmengen. Die Bedeutung von Infrastrukturdaten ist für den Bahnsektor immens: In nahezu allen Phasen des Lebenszyklus einer Infrastruktur muss auf sie zurückgegriffen werden: bei der Planung, Projektierung, Installation, Validierung und der Inbetriebnahme sowie während des Betriebes oder im Rahmen von Instandhaltungsmaßnahmen.

Als gewerkeübergreifender Anbieter für Planungs- und Beratungsdienstleistungen für die Bahn hat die Signon Deutschland GmbH mit dem System SATengine seit über zehn Jahren Expertise in Projekten zur Erfassung, Auswertung und Verwaltung von Bahninfrastrukturdaten aufgebaut.

Trotz weltweit unterschiedlicher Ausgangssituationen sind die Kundenanforderungen im Umfeld der Eisenbahnausrüstungstechnik meist sehr ähnlich. Angefragt werden in der Regel die Georeferenzierung von Infrastrukturobjekten (z.B. Signale, Weichen) und Gleisverläufen sowie die Ermittlung identifizierender, trassierungstechnischer und topologischer Informationen und Objekteigenschaften wie Name, Funktion, Gleiszugehörigkeit, lineare Positionen und Längsneigungen. Neben der eigentlichen Datenbereitstellung wird auch ein Plan-Ist-Abgleich zur Aktualisierung von Bestandsunterlagen unterschiedlichster Ausprägung in diversen Gewerken gefordert. Grundsätzlich beinhalten Projekte dieser Art die folgenden vier Phasen:

- · Erfassung der Planwelt
- · Erfassung der Realwelt
- · Auswertung der Messdaten
- Plan-Ist-Abgleich

Der vorliegende Artikel benennt einige der in diesen Projektphasen häufig auftretenden Herausforderungen und zeigt mögliche

The immense geographic extent and complexity of railway networks imposes enormous demands on recording and data processing systems. Data suppliers need to meet the requirements of all the fields of the railway trackside equipment industry and to efficiently derive and provide consistent infrastructure data. This article examines the challenges faced when collecting, analysing and managing this data and presents measures zu optimise these processes. The focus is set on the analysis of georeferenced data using geographic information systems (GIS).

1 Introduction

Railway infrastructure manufacturers and operators require and manage ever larger and more complex amounts of data. The importance of infrastructure data for the railway sector is huge: it is indispensable in almost every phase of the life cycle of a piece of infrastructure, including the planning, design, installation, validation and commissioning, as well as the operation and maintenance

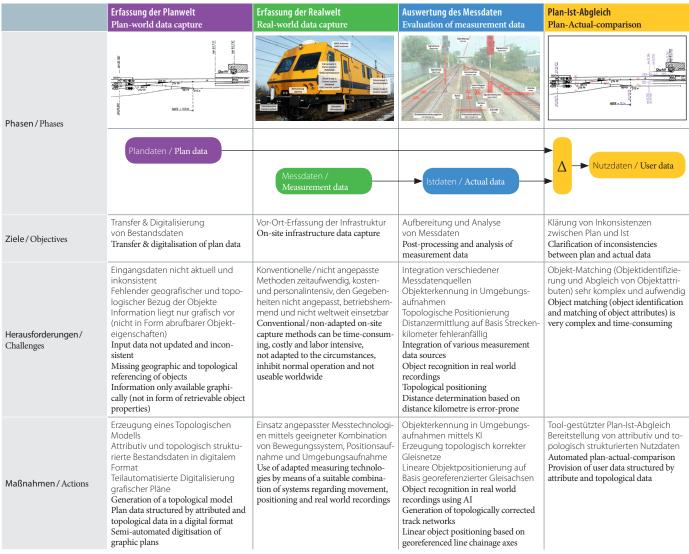
As a provider of planning and consulting services for the rail-ways, Signon Deutschland GmbH has built up expertise over the past ten years with its SATengine system in projects requiring the recording, evaluation and management of railway infrastructure data.

Although conditions are different worldwide, customer requirements with regard to railway trackside equipment are usually quite similar. As a standard, customers demand the georeferencing of infrastructure objects (such as signals and points) and track trajectories as well as topological information and object properties such as the identification, name, function, track assignment, linear positions and gradients. In addition to providing this data, there are ever greater requirements for the comparison of the plan data and the actual data in order to update a variety of inventory documents for diverse departments.

Related projects basically comprise the following four phases:

- plan-world data capture
- real-world data capture
- evaluation of measurement data
- plan-world / real-world comparison

This article identifies some of the challenges which often occur during the course of these projects and it outlines possible solutions (tab. 1). It focuses on measures for the evaluation of measurement data, in particular the determination of consistent line chainage values using GIS.



Tab. 1: Herausforderung und Maßnahmen bei der Erfassung, Auswertung und Verwaltung von Bahninfrastrukturdaten

Tab. 1: The challenges and measures when acquiring, evaluating and managing railway infrastructure data

Lösungen auf (Tab. 1). Der Schwerpunkt liegt auf Maßnahmen zur Messdatenauswertung, insbesondere der Ermittlung konsistenter Streckenkilometerwerte mittels GIS.

2 Erfassung der Planwelt

Bestandsunterlagen von Bahninfrastruktur werden noch heute oft in Datenformaten vorgehalten, die einer Interpretation durch den Menschen bedürfen, da die Informationen lediglich grafisch (z.B. TIFF, PDF) und nicht im Form abrufbarer Objekteigenschaften hinterlegt sind. Die Probleme dieser "digitalen Papierwelt" sind hinlänglich bekannt. Trotz sich etablierender Initiativen zur Vereinheitlichung der digitalen Datenhaltung wie PlanPro [1] oder railML [2] müssen im Projektalltag noch immer Planunterlagen und Objektlisten in zeitaufwendiger manueller Arbeit recherchiert, erfasst und in ein für die Weiterverarbeitung geeignetes, digitales Format überführt werden. Dabei sind Redundanzen, Fehler und Inkonsistenzen zu bereinigen, topologische Bezüge herzustellen und fehlende Informationen zu ergänzen. Zahlreiche Projekte europäischer Infrastrukturbetreiber zur Aktualisierung von Bestandsplänen verdeutlichen den großen Bedarf und die Notwendigkeit für Optimierungsmaßnahmen in diesem Bereich.

2 Plan-world data capture

Nowadays, many inventory documents regarding railway infrastructure are only available in data formats which require human interpretation, as the information is only stored in graphical form (such as TIFF, PDF) and not in the form of retrievable object properties.

The problems in this "world of digital paper plans" are well known: despite existing initiatives towards the standardisation of digital data storage such as PlanPro [1] or railML [2], the dayto-day project activities still require time-consuming manual work to examine, register and transform planning documents and object lists into a digital format which is suitable for subsequent processing. To this end, it is necessary to eliminate any redundancies and inconsistencies, to define the topological references, to enter any missing information and to correct any errors. Numerous projects by European infrastructure operators which address the updating of the existing plan data have clearly illustrated the demand for and the necessity of optimisation measures in this field.

At Signon the capture of the plan world is usually an indispensable step when analysing infrastructure data, too. In order to facilitate

Auch bei SIGNON ist für die Infrastrukturauswertung die Erfassung der Planwelt meist ein zwingend notwendiger Schritt. Zur Erleichterung dieses Prozesses eruiert Signon im Rahmen des Forschungsprojektes RIMcomb gemeinsam mit den Projektpartnern [3] Einsatzmöglichkeiten KI-gestützter Objekterkennung in Plänen mittels neuronaler Netze [4]. Das angestrebte Ziel ist die automatisierte Erkennung, Klassifizierung und Georeferenzierung von grafischen Inhalten und Objekten sowie ihrer topologischen Beziehungen. Nach derzeitiger Einschätzung wird es aufgrund der Komplexität dieses bisher überwiegend manuellen Prozesses mittelfristig zunächst auf eine Teilautomatisierung hinauslaufen.

3 Erfassung der Realwelt

Die Erfassung der Realwelt ist stets ein zeit- und ressourcenintensives Unterfangen. Es existieren oftmals spezielle Messanforderungen wie die Befahrung von Tunneln, Messungen bei Nacht oder auf Hochgeschwindigkeitsstrecken sowie die Erfassung belegter Gleise in großen Rangierbahnhöfen. Hinzu kommt, dass viele Messverfahren Streckensperrungen erfordern und dadurch in den laufenden Betrieb eingreifen, aufgrund mangelnder Portabilität nur räumlich begrenzt einsetzbar oder nicht an die örtlichen Gegebenheiten (z. B. Lichtverhältnisse und Satellitenempfang im Tunnel) angepasst sind. Nicht selten sind auch die Messresultate für die anschließende Auswertung (z. B. Datenqualität, Datenformat) nur bedingt geeignet.

Diesen Herausforderungen begegnet Signon mit einer Kombination aus geeigneten Messtechnologien und -komponenten:

- Bewegungssystem (z. B. Befahrung, Begehung, Befliegung),
- Sensorik zur Positionsaufnahme (z.B. GNSS-, Odometrie- und Inertialsysteme) und

this process, Signon and its project partners currently explore the possibilities of AI-supported object recognition in inventory plans using neural networks [4] within the scope of the RIMcomb research project [3]. The intended goal is the automated recognition, classification and georeferencing of graphical content and objects as well as their topological interdependencies. Given the complexity of the tasks, current assessments estimate that the first results will only involve partial automation in the medium term.

3 Real-world data capture

Real-world data capture is always a time-consuming and resource-intensive endeavour. Specific measurement requirements often apply, such as running through tunnels, measurements at night or on high-speed routes and occupied tracks in large shunting yards. In addition, many measurement methods require track blocking and therefore interfere with ongoing railway traffic, while some are limited due to a lack of portability or are not suitable for local conditions (i. e. lighting conditions, satellite reception). Sometimes the measurement results are not optimally suitable for subsequent evaluation steps (e. g. data quality, data format).

Signon is meeting these challenges with a combination of measurement technologies and components:

- motion systems (i. e. railway vehicles, on-site inspections and aerial surveys)
- sensors for position measurements (i. e. GNSS, odometry and inertial systems), and
- sensors for real world recordings (i. e. 360° cameras, stereo cameras and laser scanning systems).

As an example, long corridors and tunnels are recorded using a railway vehicle equipped with a camera/laser scanning system



• Sensorik zur Umgebungsaufnahme (z.B. bis zu 360°-Kamera-, Stereokamera-, Laserscansysteme).

Die Erfassung langer Korridore und Tunnel erfolgt zum Beispiel durch die Befahrung mit einem Videokamera-/Laserscansystem (Bild 1) und die Erfassung räumlich begrenzter (Rangier-)Bahnhöfe durch Drohnenbefliegung mit einem Orthofoto-Kamerasystem. Unabhängig vom eingesetzten Verfahren sind die grundlegenden Messergebnisse einer Realwelterfassung georeferenzierte Wegpunkte (mit Zusatzinformationen) und georeferenzierte Umgebungsaufnahmen (Pixelbilder und Punktwolken).

4 Auswertung der Messdaten

Die Auswertung der erhobenen Messdaten stellt die aufwendigste der vier genannten Phasen dar. Infrastrukturobjekte müssen identifiziert, attributiert und positioniert werden. Die Ermittlung von Objektpositionen spielt eine zentrale Rolle, da sich aus ihnen bisher manuell erfasste Informationen automatisiert ableiten und berechnen lassen. Drei Positionierungstypen können hierbei unterschieden werden (Bild 2):

- · die geografische Positionierung,
- · die topologische Positionierung
- · die lineare Positionierung

4.1 Geografische Positionierung

Die geografische Positionierung dient der räumlichen Verortung von Infrastrukturobjekten (Bild 3). Sie umfasst:

(fig. 1), while smaller areas (e. g. stations and shunting yards) are mapped using drones with an orthophoto camera system. Regardless of the method used, the basic measurement results of real-world data capture are georeferenced waypoints (with additional information) and georeferenced real world images (pixel images and point clouds).

4 Evaluating the measurement data

The evaluation of the measurement data is the most time-consuming of the four mentioned phases. Infrastructure objects need to be identified, attributed and positioned. Correct object positioning plays an important role because it allows us to automatically derive and calculate information which previously has only been collected manually. There are three types of positioning (fig. 2):

- · geographical positioning,
- · topological positioning
- · linear positioning

4.1 Geographical positioning

Geographical positioning is used to determine the spatial location of infrastructure objects (fig. 3). The method comprises the following steps:

- the extraction (recognition and classification) of infrastructure objects from real world recordings and
- the georeferencing of infrastructure objects and track trajectories.



DB Engineering & Consulting bietet technisch hochwertige und maßgeschneiderte Infrastruktur-, Mobilitätsund Transportlösungen. Mit nachhaltigen Konzepten unterstützen wir die erfolgreiche Zukunft von Wirtschaftsregionen, leisten einen wichtigen ökologischen Beitrag und gestalten damit die Welt von morgen.

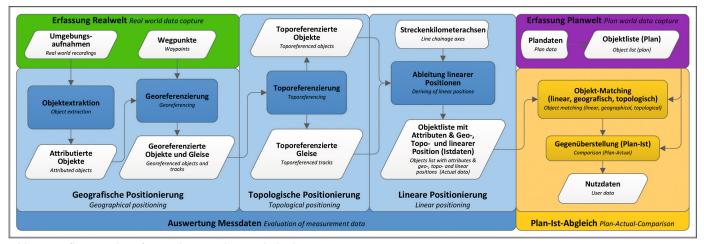


Bild 2: Datenfluss von der Erfassung bis zum Plan-Ist-Abgleich

Fig. 2: The data flow from the real-world data capture to the plan-actual-comparison

- die Extraktion (Erkennung und Klassifizierung) von Infrastrukturobjekten aus den Umgebungsaufnahmen sowie
- die Georeferenzierung von Infrastrukturobjekten und Gleistraiektorien.

Zur Automatisierung dieser Arbeitsschritte untersucht Signon verschiedene Ansätze der Objekterkennung in georeferenzierten Pixelbildern und Punktwolken. Machine Learning mittels neuronaler Netze wird derzeit als vielversprechendstes Verfahren für diesen Zweck erprobt und zur Produktreife gebracht [5]. Die Unterstützung reicht dabei von der Erkennung, Markierung und Attributierung (z. B. Objekttyp, Richtung, Funktion, Bezeichnung) bis hin zur geografischen Positionierung von Objekten. Die mit Tech-

In order to automate these steps, Signon has researched different approaches to object recognition in georeferenced pixel images and point clouds. Machine learning using neural networks, the most promising method for this purpose, is currently being tested and developed into a product [5]. The support ranges from recognition, marking and attribution (i.e. object type, direction, function and name) to the geographical positioning of objects. An increase in plausibility resulting from technological diversity (recognition in images/recognition in point clouds) and multi-channel ability (recognition in different image types) should enable a fully automated process for object extraction from real world recordings and subsequent georeferencing in the future.

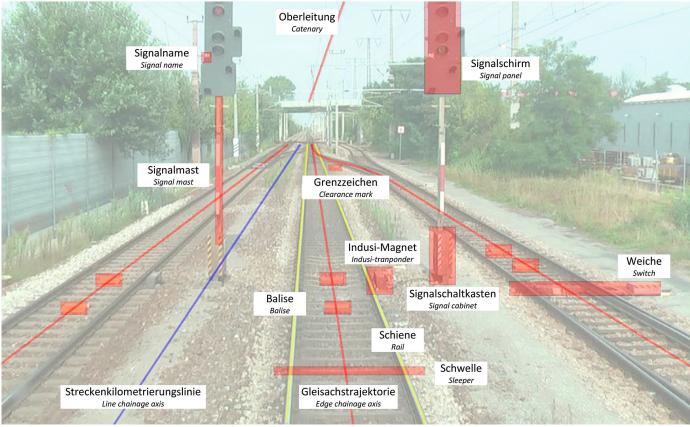


Bild 3: Infrastrukturobjekte in georeferenzierten Bildern

Fig. 3: Infrastructure objects in georeferenced images

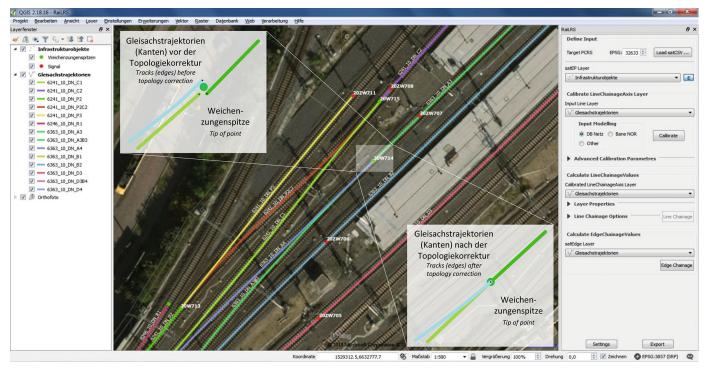


Bild 4: Visualisierung georeferenzierter Infrastrukturobjekte und topologisch korrigierter Gleisverläufe im GIS

Fig. 4: The display of georeferenced infrastructure objects and topologically corrected track trajectories in GIS

nologiediversität (Erkennung im Bild/Erkennung in Punktwolke) und Mehrkanaligkeit (Erkennung in unterschiedlichen Bildtypen) einhergehende Plausibilitätssteigerung soll künftig einen vollständig automatisierten Prozess zur Objektextraktion aus Umgebungsaufnahmen und anschließender Georeferenzierung ermöglichen.

4.2 Topologische Positionierung

Die topologische Positionierung dient der logischen Verortung von Infrastrukturobjekten. Sie beinhaltet die folgenden Arbeitsschritte:

- die Definition eines Knoten-Kanten-Modells zur logischen Strukturierung der Gleisinfrastruktur.
- · die Erzeugung von Bezügen von Infrastrukturobjekten zu Gleisen und Gleisen untereinander inklusive eindeutiger Navigationsbeziehungen sowie
- · die topologische Korrektur geografischer Gleisachsverläufe. Für die ersten beiden Schritte setzt Signon bereits ausgereifte Werkzeuge ein. Die Weiterentwicklungen umfassen Algorithmen zur automatischen Korrektur von Gleisachsverläufen sowie geografische und topologische Positionsanalysen. Auf dieser Basis lassen sich die Strukturen des Netzes topologisch korrekt nachbilden (Gleisachsen treffen sich exakt an Fahrwegverzweigungen) und weitere relevante Objekteigenschaften (z.B. Lage im Gleis, Gleisbezug, Gleisseite, Position von Grenzzeichen) ableiten (Bild 4).

4.3 Lineare Positionierung

Im Unterschied zur geografischen Positionierung mittels Zahlentupel dient die lineare Positionierung der Verortung von Infrastrukturobjekten mit nur einem Zahlenwert. Historisch bedingt wird im Bahnsektor hierfür der Streckenkilometer verwendet. Er dient u.a. der Orientierung an der Strecke und zur Objektpositionierung während der Planung. Den Streckenkilometer zur Ermittlung von Abstanden zwischen Infrastrukturobjekten zu verwen-

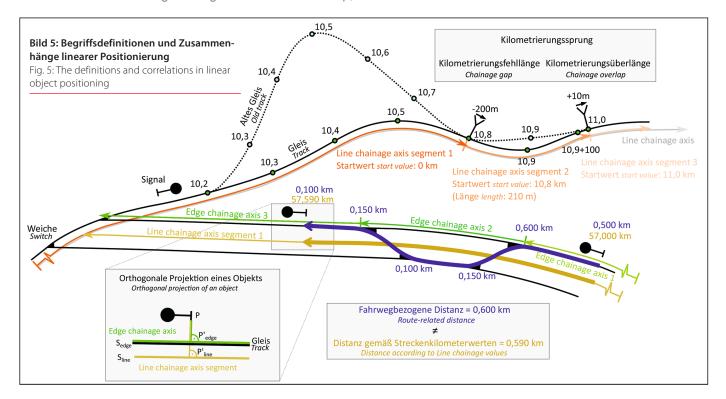
4.2 Topological positioning

Topological positioning is used to determine the logical relations of infrastructure objects. The method comprises the following steps:

- the definition of a node-edge model for the logical structuring of track infrastructure,
- the creation of references between infrastructure objects and tracks and between tracks themselves, including clear navigation information and
- the topological correction of geographical track trajectories. Signon already uses mature tools for the first two steps. Future enhancements include algorithms for the automatic correction of track trajectories and geographical and topological position analysis. On this basis, it is possible to replicate the network structure in a topologically correct manner (i. e. the track axes meet exactly at the junctions) and to derive further relevant object properties (such as the position on the track, the track reference, trackside or the clearance mark position) (fig. 4).

4.3 Linear positioning

In contrast to geographical positioning using tuples, linear positioning is used to locate infrastructure objects based on just one numerical value. For historical reasons, the railway sector uses line chainage for linear positioning. Among other things, chainage facilitates referencing on the track and object positioning during planning. However, using chainage to determine distances between infrastructure objects is not suitable, given that distance calculation based on chainage does not provide real, track-related distances (fig. 5). Applying this... would result in errors during the planning steps, such as the calculation of overlap distances and danger point distances. The following section introduces a generic method for determining linear object positions and reliable distance calculations based on these positions.



den ist jedoch unzulässig, da eine Distanzberechnung auf Basis von Streckenkilometern keine realen, gleisbezogenen Entfernungen liefert (Bild 5). Die Folge wären Fehler bei Planungsschritten, wie der Berechnung von Durchrutschwegen und Gefahrpunktabständen.

Im Folgenden wird ein generisches Verfahren zur Bestimmung linearer Objektpositionen und einer darauf basierenden zulässigen Distanzermittlung vorgestellt.

4.3.1 Prinzip und Voraussetzungen

Die Ermittlung linearer Positionen basiert auf dem Prinzip der orthogonalen Projektion eines Punktes P auf eine Strecke S und entspricht dem Abstand des Punktes P' vom Streckenursprung (Bild 5). Übertragen auf den Bahnsektor lassen sich lineare Positionen durch die Projektion geografischer Koordinaten beliebiger Infrastrukturobjekte auf verfügbare Referenzlinien ermitteln. Folgende Daten müssen zur Verfügung stehen:

- Punkte relevanter Infrastrukturobjekte mit geografischen Koordinaten
- Linien, die den geografischen Verlauf der Gleisachsen abbilden
- Linien, die den geografischen Verlauf der Streckenkilometrierungsachsen abbilden

Ergänzend zum bisherigen, streckenbezogenen Referenzsystem "Line chainage" wird ein neues, gleisbezogenes Referenzsystem namens "Edge chainage" eingeführt. Dieses Referenzsystem bezieht sich auf die Gleisachse, beginnt / endet mindestens an allen Fahrwegverzweigungen und kann damit zum oben beschriebenen topologischen Modell in Bezug gesetzt werden (Edge chainage axis). Da Fehlerquellen wie Fehl- und Überlängen, Distanzunterschiede in zweigleisigen Kurvenverläufen sowie Mehrlängen durch Gleisverbindungen und Überholungsgleise bei einem gleisbezogenen Referenzsystem keine Rolle spielen, ist die Edge chainage für die Berechnung realer, fahrwegbezogener Distanzen zwischen Infrastrukturelementen geeignet [6].

Sowohl die geografischen Koordinaten der linear zu positionierenden Infrastrukturobjekte als auch die Gleisachsen für die Edge

4.3.1 Principle and prerequisites

The determination of the linear positions is based on the principle of the orthogonal projection of a point P on a track S and is equivalent to the distance of the point P' from the chainage start (fig. 5). When applied to the railway sector, linear positions can be determined by projecting the geographic coordinates of any infrastructure object onto the available reference lines. The following data must be available for this:

- Points of the relevant infrastructure objects with geographic coordinates
- Lines depicting the geographical course of the track axis geometry
- Lines depicting the geographical course of the line chainage axes

A new, track-related reference system called "edge chainage" has been introduced in addition to the existing "line chainage" line-related reference system. This reference system refers to the track geometry, it starts and ends at least at all the junctions and it can therefore be referenced to the topological model described above (edge chainage axis). Given that errors such as chainage gaps and overlaps, distance differences in two-track curves as well as extra lengths due to track connections and siding tracks do not occur in a track-related reference system, edge chainage is suitable for calculating real, route-related distances between infrastructure elements [6].

Both the geographic coordinates of the infrastructure objects for linear positioning and the track geometry for edge chainage are derived from the geographic and topological positioning. The infrastructure manager (fig. 2) should be able to provide the line chainage axis for the derivation of the line chainage values.

4.3.2 Determining the edge chainage

The geographic position of an object is mapped onto a track axis in accordance with the linear positioning principle de-

chainage stehen aus den Arbeitsschritten zur geografischen und topologischen Positionierung zur Verfügung. Die Streckenkilometrierungslinien für die Line chainage sollten durch den Infrastrukturbetreiber bereitgestellt werden können (Bild 2).

4.3.2 Ermittlung eines Gleiskilometers

Gemäß dem oben beschriebenen Prinzip zur linearen Positionierung wird für die Ermittlung des Gleiskilometerwertes (Edge chainage value) eines Objekts dessen geografische Position auf eine Gleisachse gemappt. Die verwendete Achse kann dabei entweder die zum Objekt nächstgelegene Achse sein oder durch Beziehungsinformationen wie die Gleiszugehörigkeit (falls bekannt) ermittelt werden. Mittels Routing-Algorithmen können im topologischen Knoten-Kanten-Model Fahrwege zwischen beliebigen Objekten ermittelt und als Folge von Kanten angegeben werden. Durch einfache Summenbildung sind aus den linearen Objektpositionen und Kantenlängen reale, fahrwegbezogene Distanzen berechenbar (Bild 5).

4.3.3 Ermittlung eines Streckenkilometers

Das gleiche Verfahren kann auch zur Ermittlung des Streckenkilometerwertes eines Infrastrukturobjekts (Line chainage value) herangezogen werden. Um das zu erreichen, muss die Kilometrierungslinie einer Strecke (Line chainage axis) in eine Folge von Kilometrierungslinienabschnitten (Line chainage axis segment) aufgeteilt werden, die keine Unstetigkeiten in Bezug auf die Kilometrierung aufweisen (Bild 5). Folglich muss die Streckenkilometrierungslinie an allen Kilometrierungssprüngen (Line chainage gaps / overlaps) geteilt werden. Die einzelnen Abschnitte erhalten Informationen zu den auftretenden Fehl- oder Überlängen sowie den neuen Kilometrierungsstartwert. Einige Infrastrukturbetreiber stellen bereits Datensätze mit Geoinformationen zu Strecken ihres Schienenverkehrsnetzes bereit, die (bis auf einige Detailabweichungen) die genannten Anforderungen erfüllen [7,

4.3.4 Schlussfolgerung

Für das oben beschriebene Verfahren ist festzuhalten, dass es sich bei digitalen Gleis- und Streckenrepräsentationen in GIS immer nur um eine Approximation der wahren geografischen Verläufe handelt. Es sind stets nur Nachbildungen mit diskreten Punkten, die reale Geometrien wie Bögen und Klothoiden nicht exakt wiedergeben, aber bei ausreichend hoher Stützpunktdichte für den hier beschriebenen Anwendungsfall vollkommen ausreichend sind. Der hier beschriebene Ansatz des Mappings geografischer Koordinaten auf geeignete Referenzlinien zur Ermittlung linearer Positionswerte ist daher prädestiniert, um

- Streckenkilometrierungswerte zu ermitteln, die informativen Charakter tragen und zur Dokumentation und Orientierung herangezogen werden dürfen, und
- · Gleiskilometerwerte zu ermitteln, die zu kalkulatorischen Zwecken wie Distanzberechnungen genutzt werden dürfen.

Mit Fertigstellung der linearen Positionierung ist die (Ist-)Objektattributierung abgeschlossen und ein vollständiger Vergleich zwischen den erfassten Istdaten und den Plandaten möglich (Bild 2).

5 Plan-Ist-Abgleich

Zunehmend werden Infrastrukturdaten für einen Abgleich zwischen Plan- und Realwelt herangezogen, um Inkonsistenzen zwischen den Datenbeständen aufzuzeigen und idealerweise aufzulösen. Häufig ist dies z.B. nach Baumaßnahmen auf Bestandsstrecken und vor der Inbetriebnahme von ETCS notwendig.

scribed above in order to determine the edge chainage value of the object. The used axis can either be the track axis closest to the object or another track axis based on the reference information.

By using routing algorithms in the topological node-edge-model, it is possible to determine the distances between random objects which are positioned on the defined edges. As such, it is sufficient to sum up the linear object positions and the edge lengths covered by the route in order to calculate real, route-related distances (fig. 5).

4.3.3 Determining the line chainage

The same procedure can be used to determine the line chainage value of an infrastructure object. In order to accomplish this, the line chainage axis of a line must be split into a series of line chainage axis segments which have no discontinuity in terms of chainage (fig. 5). Consequently, the line chainage axis of a line must be split at all the line chainage gaps / overlaps. The individual segments are supplemented with information on the existing gaps or excess lengths, as well as the new start of the chainage value. Some infrastructure managers already provide datasets containing geo-information for the lines of their networks which meet these requirements [7, 8].

4.3.4 Conclusion

In the case of the method described above, it is important to note that digital track and line representations in GIS are only an approximation of the true geographic trajectories. The used polylines consist of a series of discrete points (vertices) and do not accurately reflect real world geometries such as curves and clothoids, but are fully adequate for the application described above, provided that vertex density is sufficiently high. The approach described for mapping geographic coordinates onto suitable reference lines in order to determine linear position values is therefore applicable to

- determine line chainage values for the purpose of documentation and referencing, and
- · determine edge chainage values which can be used for calculation purposes such as distance calculations.

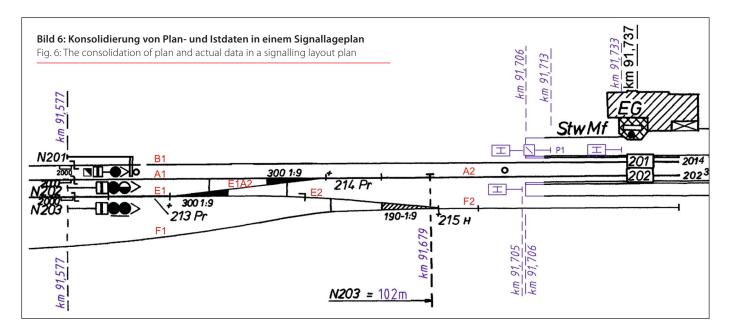
Completing the linear positioning step finishes the (actual) object attribution, allowing a comparison between the recorded actual data and the plan data (fig. 2).

5 Plan-real comparison

Infrastructure data is increasingly used to compare the plan world and the real world in order to identify and ideally resolve any inconsistencies between databases. This is often necessary, for example, after construction work on existing lines and prior to ETCS commissioning.

The first step requires finding an identifying feature for such a comparison which will allow the location of objects in the plan data and the actual data and then comparing them with each other. Object-matching based on a customer-provided object identifier (i.e. a name) often proves difficult, since this information cannot be derived accurately for most infrastructure objects or it can only be derived precariously from the real world recordings. At the moment, this task can only be mastered with experience, expert knowledge and the help of further object information.

One approach is the process of generating topologically correct, georeferenced data as described in this article. This data, suitable GIS functions and the following three methods for object



Im ersten Schritt muss für einen solchen Abgleich ein identitätsstiftendes Merkmal gefunden werden, um Objekte sowohl in den Plan- als auch in den Istdaten zu finden und anschließend miteinander vergleichen zu können. Ein Matching anhand eines vom Kunden stammenden Identifikators erweist sich häufig als schwierig, weil für die meisten Infrastrukturobjekte diese Information den aufgenommenen Umgebungsdaten im Regelfall nicht oder nur unsicher zu entnehmen ist. Nur mit Erfahrung, Expertenwissen und unter Zuhilfenahme weiterer Objektinformationen ist diese Aufgabe heute zu erfüllen.

Ein Lösungsansatz ist der in diesem Artikel beschriebene Prozess zur Erzeugung topologisch korrekter, georeferenzierter Daten. Mit diesen Daten und geeigneten GIS-Funktionen kann eine eindeutige Objektidentifikation mittels der folgenden drei Methoden zum Abgleich der Objektpositionen weitgehend automatisiert werden:

- Objekt-Matching via linearer Objektposition mittels konsistentem Streckenkilometerwert
- Objekt-Matching via geografischer Objektposition mittels geografischer Koordinaten
- Objekt-Matching via topologischer Objektposition mittels Gleisbezug

Nach erfolgreichem Matching kann eine Gegenüberstellung aller Objektattribute erfolgen (Bild 2). Ergebnis dieses Abgleichs ist ein Delta Report mit Aussage darüber, ob und welche Objektattribute in Plan und Ist übereinstimmen oder voneinander abweichen. Diese Nutzdaten werden dem Kunden zur Konsolidierung der Bestandsunterlagen bereitgestellt (Bild 6).

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Anforderungen an Bahninfrastrukturdaten sind durch die voranschreitende Einführung von ERTMS sowie GIS, BIM und Asset-Management-Systemen heute größer als je zuvor. Den Qualitäts- und Sicherheitserfordernissen werden bisher eingesetzte Methoden häufig nicht gerecht. Für eine effizientere Bereitstellung dieser Daten empfiehlt der in diesem Beitrag vorgeschlagene Ansatz:

- den modularen Einsatz an das Streckenumfeld angepasster Erfassungssysteme,
- die konsequente Georeferenzierung erfasster Messdaten für eine plattformunabhängige Datenintegration,

position matching will allow the unique object identification to be largely automated:

- object matching via linear object position using a consistent line chainage value
- object matching via geographic object position using geographic coordinates
- object matching via topological object position including its track reference

All the object attributes can be compared (fig. 2) after the successful completion of the matching. This comparison results in a delta report stating whether and which object attributes match the plan and actual data or are divergent. This data is provided to customers for the purpose of inventory document consolidation (fig. 6).

6 Summary and outlook

The demands on railway infrastructure data have never been greater due to the further expansion of ERTMS and the increased usage of GIS, BIM and asset management systems. The methods employed to date do not always satisfy current cost, quality and safety demands. In order to ensure more efficient provision of this data, the approach suggested in this article recommends the following:

- modular application of recording systems adapted to the railway environment
- consistent georeferencing of all recorded measurement data for platform-independent data integration
- linear object positioning using topologically corrected geodata
- adjustment of available GIS analysis software and the use of standardised data models and exchange formats
- support for asset management using automated comparison of plan and actual data.

The use of appropriate measures and tools allows Signon to accelerate and improve the quality of the processes used for recording, evaluating and managing the railway infrastructure. Unlike tools in the BIM environment, which to date only support small-scale dimensions, geographic information systems and associated methods are ideally suited to analysing large-scale railway infrastructure. Some of the presented solutions have already been successfully used in national and international projects.

- · die lineare Objektpositionierung mittels topologisch korrekter Geodaten.
- die Anpassung verfügbarer GIS-Analyse-Software und Nutzung standardisierter Datenmodelle und Austauschformate sowie
- die Unterstützung des Asset-Managements mittels automatisiertem Plan-Ist-Abgleich.

Signon ist durch den gezielten Einsatz geeigneter Maßnahmen und Tools in der Lage, die Prozesse bei der Erfassung, Auswertung und Verwaltung von Eisenbahninfrastruktur zu beschleunigen und qualitativ zu verbessern. Im Unterschied zu Werkzeugen aus dem BIM-Umfeld, die bisher nur kleinräumige Dimensionen unterstützen, sind Geoinformationssysteme und zugehörige Methoden bestens geeignet, um großräumige Infrastrukturen zu analysieren. Einige der vorgestellten Lösungen werden bereits in nationalen und internationalen Projekten erfolgreich angewendet.

Künftig wird der rapide Fortschritt in der Erfassungs- und Auswertungstechnologie auch verstärkt im Bahnsektor Einzug halten, damit herkömmliche Methoden anforderungsbezogen integriert und mit weitgehender Automatisierung unterstützt werden können. Aus diesem Grund erfolgt eine intensive Weiterentwicklung aller Prozesse durch die Signon-Bereiche Rail Systems und Software in enger Zusammenarbeit mit den Kunden. Schließlich werden in den nächsten Jahren vermehrt gewerkeübergreifende Lösungen notwendig sein, um fortlaufende Effizienzsteigerungen auf dem Sektor der Eisenbahnausrüstungstechnik zu ermöglichen.

AUTOREN | AUTHORS

Dipl.-Ing. Felix Prüter

Systemingenieur / Systems Engineer Signon Deutschland GmbH Anschrift / Address: Frankenstr. 18a, D-20097 Hamburg E-Mail: felix.prueter@Signon-group.com

Dipl.-Geogr. Peter Hintze

Senior Systemingenieur / Senior Systems Engineer SIGNON Deutschland GmbH Anschrift / Address: Schützenstr. 15 – 17, D-10117 Berlin E-Mail: peter.hintze@signon-group.com

In the future, the rapid progress in recording and evaluation technology will also find its way into the railway sector, facilitating the requirement-based integration of conventional methods and extensive automation support. For this reason, Signon's Rail Systems and Software divisions are intensively enhancing all their processes in close cooperation with their customers. Eventually, more and more cross-system solutions will be needed in order to ensure continuous efficiency gains in the railway trackside equipment sector.

LITERATUR | LITERATURE

[1] PlanPro, https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-en/company/providers/planpro_general-1394626; zuletzt geöffnet am 14.08.2018 [2] RailML, https://www.railml.org/en/; zuletzt geöffnet am 14.08.2018 [3] RIMcomb: Rail Information Modeling für die Ausrüstungstechnik von Bahninfrastruktur; https://forschungsstiftung.de/Projekte/Details/ RIMcomb-Rail-Information-Modeling-fuer-die-Ausruestungstechnik-von-Bahninfrastruktur.html; zuletzt geöffnet am 16.08.2018 [4] Vilgertshofer, S. et al.: The RIMcomb Research Project: Towards the Application of Building Information Modeling in Railway Equipment Engineering, 12th European Conference on Product and Process Modelling, Copenhagen, Denmark, 2018 [5] Genc, C.; Harmsen, F.; Köhler, T.: Automatisierte Erkennung von Infra-

strukturelementen mit neuronalen Netzen, SIGNAL+DRAHT 9/2018 [6] Ludwig, J.: Use Of Geographic Information Systems in SATengine Evaluation Process, Diploma Thesis, TU Dresden, 2018 [7] Deutsche Bahn Open Data Portal, http://data.deutschebahn.com/ dataset/geo-strecke; zuletzt geöffnet am 14.08.2018 [8] GEONORGE (norwegisches Geodaten-Portal), https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/bane-nor/iernbane-banenettverk/c3da3591-cded-4584-a4b1-bc61b7d1f4f2; zuletzt geöffnet am 14.08.2018



