

Keine Lücken in den Daten lassen – Geodatenmodellierung mit dem RailTopoModel

Leave no data gaps –
geodata modelling using RailTopoModel

Johannes Elstner | Christoph Brendel

Infrastrukturdatenmodelle dienen als Referenzrahmen zur Beschreibung von Bahnanlagen in geeigneten Datenformaten. Während mit dem Knoten-Kanten-Modell (KKM) und dem UIC RailTopoModel (RTM) bereits zwei Modellierungsansätze der Topologie diskutiert werden, findet die Modellierung von Positionierungs- und genauer von Geoinformationen weniger Beachtung. Dabei enthält RTM bereits ein Konzept zur Integration von Positionierungsinformationen, welches im vorliegenden Beitrag vorgestellt und diskutiert wird. Zentrale Modellaspekte werden exemplarisch im Geodatenformat GeoPackage veranschaulicht.

1 Motivation

In der täglichen Arbeit bei der Analyse von Infrastrukturdaten (vgl. [1]) stößt man regelmäßig auf Schwierigkeiten, die auch viele andere am Planungsprozess der Eisenbahn Beteiligte kennen: Für ein einzelnes Objekt, etwa ein Hauptsignal, fällt unvermittelt eine Unstimmigkeit innerhalb der Bestandsunterlagen auf, bspw. widersprüchliche Angaben über den Abstand des Vorsignals. Möchte man einem solchen Fehler auf den Grund gehen, stößt man schnell an die Grenzen der verfügbaren Daten – aus den vorhandenen Tabellenwerken oder ungenauen Plänen ist der „wahre“ Abstand schlicht nicht ermittelbar. Deshalb umfasst die Dienstleistung der Infrastrukturanalyse gewöhnlich eine Erfassung der Realwelt – genau genommen werden hierbei Geoinformationen erfasst, mit denen die Datenlücke in den Bestandsdaten geschlossen und im obigen Beispiel die Frage nach dem richtigen Abstand aufgelöst werden kann.

Infrastrukturdatenmodelle sollen den Datenaustausch zwischen Akteuren im Bahnbereich erleichtern. Dass im bisherigen Datentransfer Geoinformationen unzureichend berücksichtigt werden, spielt dabei eine entscheidende Rolle.

Zunächst ist es hilfreich, sich mit der Modellierung der Topologie einer Eisenbahninfrastruktur zu befassen, da diese eine Netzstruktur vorgibt, die auch auf die Geoinformationen angewendet werden sollte. Hierzu werden in Kap. 2 die Ansätze des KKM und des RTM verglichen.

Der Fokus der weiteren Untersuchung liegt auf der Modellierung von Geoinformationen in RTM. Das Modell enthält neben dem Hauptaspekt der Topologie auch ein Teilschema, das die Ablage von Positionierungsinformationen regelt. Dieses wird in Kap. 3 vorgestellt, interpretiert und diskutiert.

Kap. 4 schließt die Betrachtung ab, indem Möglichkeiten der Implementierung oder Adaption von RTM in konkreten Datenformaten verglichen werden und beispielhaft die Anwendung grundlegender RTM-Prinzipien auf das Format GeoPackage gezeigt wird.

Infrastructure models provide a framework for the description of railway systems in appropriate data formats. While two topology modelling methods are currently being discussed, namely the node-edge model (NEM) and the UIC RailTopoModel (RTM), less attention has been paid to the modelling of positioning and, more precisely, geographic information. Yet, RTM already includes a concept for the integration of positioning information, which is presented and discussed in this article. Core modelling aspects are exemplified in the GeoPackage geodata format.

1 The motivation

Difficulties, which many other stakeholders in railway planning processes are familiar with, are often observed throughout the daily work of infrastructure data analysis (see [1]). For example, an individual object, such as a main signal, may show discrepancies within the inventory documents, e.g. there may be contradictory information about the distance of the distant signal. However, if one wishes to get to the bottom of this type of error, one soon comes up against the limitations of the available data. It is simply impossible to ascertain the “true” distance using the existing tables or inaccurate diagrams. This is why infrastructure analysis services usually include real world mapping. More precisely, geoinformation is recorded here and can then be used to close the data gap in the inventory data and, in the case of the example above, the question regarding the actual distance can be resolved.

Infrastructure data models are designed to facilitate the exchange of data between the various parties in the railway sector. It is important to note that geoinformation has not been adequately taken into account in data transfers to date.

To begin with, it is helpful to glance at the modelling of a railway infrastructure’s topology, because it provides a network structure which also should be applied to the geoinformation. Section 2 compares the NEM and the RTM methodology.

The further examination focuses on the modelling of geoinformation in RTM. In addition to the main aspect of the topology, this model also contains a subschema which governs the entry of positioning information. This is introduced, interpreted and discussed in section 3.

Section 4 concludes the analysis by comparing the possibilities of implementing or adapting RTM in concrete data formats and by providing examples of the application of basic RTM principles in the GeoPackage format.

2 Topologische Modellierungskonzepte

2.1 Knoten-Kanten-Modelle (KKM)

Ein üblicher Ansatz zur Modellierung von Infrastrukturinformationen ist die Verwendung eines KKM in Verbindung mit linearen Referenzsystemen (LRS). Dieser Ansatz wurde bislang nicht normativ festgehalten, wird aber in weitgehender Übereinstimmung von verschiedenen Akteuren genutzt.

Wie der Name vermuten lässt, wird das Gleisnetz in diesen Modellen als Gerüst aus Knoten und Kanten aufgefasst, wobei einzelne Gleisabschnitte als Kanten verstanden werden, die durch Knoten begrenzt sind. Die Knoten sind Orte oder Objekte der Infrastruktur, die eine solche Begrenzung logisch oder physisch beinhalten. Es gibt drei übliche Arten von Knoten (Bild 1):

1. Kantenverzweigung: Eine Kante geht physisch in mehrere andere über, z. B. an einer Weiche.
 2. Kantenübergang: Eine Kante geht logisch in genau eine andere über, z. B. an einem Signal.
 3. Kantenende: Eine Kante endet physisch, z.B. an einem Prellbock, oder logisch, z. B. an der Grenze des betrachteten Netzes. Jede Kante kann als eigenständiges LRS betrachtet werden, das eine Verortung von Objekten anhand der Distanz entlang der Kante ermöglicht (vgl. [1], Kap. 4.3). Zusätzlich kann angegeben werden, ob sich das Objekt links, rechts oder auf dem Gleis befindet. Eine eindeutige geometrische Positionierung ist daraus allerdings nicht gegeben. Hierzu müssten geografische Gleis- und Streckenverläufe aus externer Quelle hinzugezogen werden. Dieser Vorgang erfordert ggf. manuelle Nacharbeiten und ist nur für diejenigen reproduzierbar, die Zugriff auf die gleichen externen Daten haben.
- KKM nach diesem Grundprinzip sind in vielen Anwendungen der Bahnwelt implementiert. Zu den etablierten Vertretern zählt das XML-basierte Datenaustauschformat railML [6] in den Versionen 1 und 2.

2.2 UIC RailTopoModel (RTM)

Das RailTopoModel wurde von einem Team aus Bahnakteuren unter der Aufsicht der UIC entwickelt, um die Datenmodellierung im Bahnsektor zu harmonisieren. Es liegt als UML-Klassendiagramm [2] vor und wird durch die Norm IRS 30100 [3] beschrieben.

RTM basiert auf dem Konzept des Connexity Graph [4]. Dadurch werden allein die Gleise zum Gerüst der Modellierung. Wie in Bild 2 ersichtlich, fasst RTM Gleisabschnitte im Gegensatz zu KKM nicht als Kanten, sondern als Knotenelemente des Gleis-Graphen auf. Diese RTM-Knoten (blau dargestellt) tragen den Namen PositioningNetElement und werden durch einen Start und ein Ende definiert. Die Kanten des RTM-Graphen (schwarz) beschreiben die Navigierbarkeit zwischen den Gleisen und tragen den Objektnamen Relation. Knotenobjekte im Sinne eines KKM werden dadurch obsolet. Alle Infrastrukturobjekte, die nicht für das topologische Gerüst notwendig sind, d. h. auch solche, die in KKM als Knoten aufgefasst werden, werden durch Objekte der Klasse LocatedNetEntity beschrieben (bspw. das rot dargestellte Signal in Bild 2). Sie referenzieren auf die PositioningNetElements, zu denen sie logisch und räumlich gehören.

Die Begrifflichkeiten „Knoten“ und „Kante“ werden in RTM gegenüber den KKM vertauscht. Gemäß der Argumentation in [4] passiert diese Umkehr im Einklang mit der mathematischen Definition eines Graphen, in der die Knoten die Informationsträger seien, während die Kanten lediglich die Informationen verknüpfen. Der mathematisch saubere Graph vereinfacht die Generalisierung des Gleisnetzes zu einer strecken- oder korridorförmigen Betrachtung.

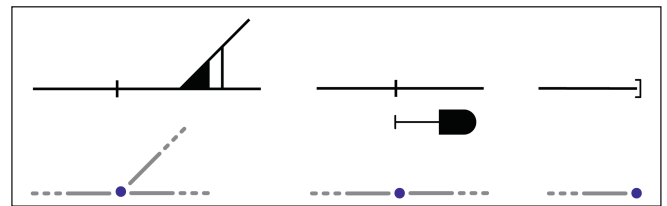


Bild 1: Knotentypen gemäß KKM v. l. n. r.: Kantenverzweigung, Kantenübergang, Kantenende

Fig. 1: NEM node types; from left to right, edge branching, edge transition and edge end
Quelle / Source: (4)

2 Topological modelling concepts

2.1 Node-edge models (NEM)

A common approach to modelling infrastructure information involves the use of an NEM in conjunction with linear reference systems (LRS). This approach has not yet been established as a formal standard, but it is used by various stakeholders and is widely accepted.

As the name suggests, the railway network is viewed in these models as a framework of nodes and edges, whereby individual track sections are understood as edges which are delimited by nodes. The nodes are locations or infrastructure objects which logically or physically comprise such a boundary. There are three common types of nodes (fig. 1):

1. Edge branching: One edge physically merges into several others, for example at a switch.
2. Edge transition: One edge logically merges into exactly another, for example at a signal.
3. Edge end: An edge ends either physically, i. e. at a buffer, or logically, i. e. at the border of the network under consideration.

Each edge can be viewed as an independent LRS which allows objects to be pinpointed based on the distance along the edge (see [1], section 4.3). Furthermore, it can be specified whether the object is on the left, the right or on the track. On the downside, this approach does not provide clear geometrical positioning. This would require the inclusion of geographical railway tracks and lines from an external source. Such a process may require manual reworking and can only be reproduced by those who have access to the same external data.

Models based on this principle are implemented in many applications of the railway industry. Versions 1 and 2 of the railML XML-based data exchange format [6] are well-established variants of this.

2.2 The UIC RailTopoModel (RTM)

RailTopoModel has been developed by a team of railway professionals under the supervision of the UIC for the purpose of harmonising the data modelling in the railway sector. It is available as a UML class diagram [2] and is described by the IRS 30100 standard [3].

RTM is based on the Connexity Graph [4] concept. This uses the tracks to build a skeleton of the model. Unlike NEM, RTM views track sections not as edges, but as nodes of the track graph, as illustrated in fig. 2. These RTM nodes (shown in blue) are called PositioningNetElements and are defined by a start and an end. The edges of the RTM graph (black) describe the navigability between the tracks and bear the object name Relation. This renders node objects in the sense of an NEM obsolete. All infrastructure objects which are not necessary for the topological skeleton, including those which NEM construes as nodes, are

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Signon Deutschland GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt von DW Media Group GmbH 2020

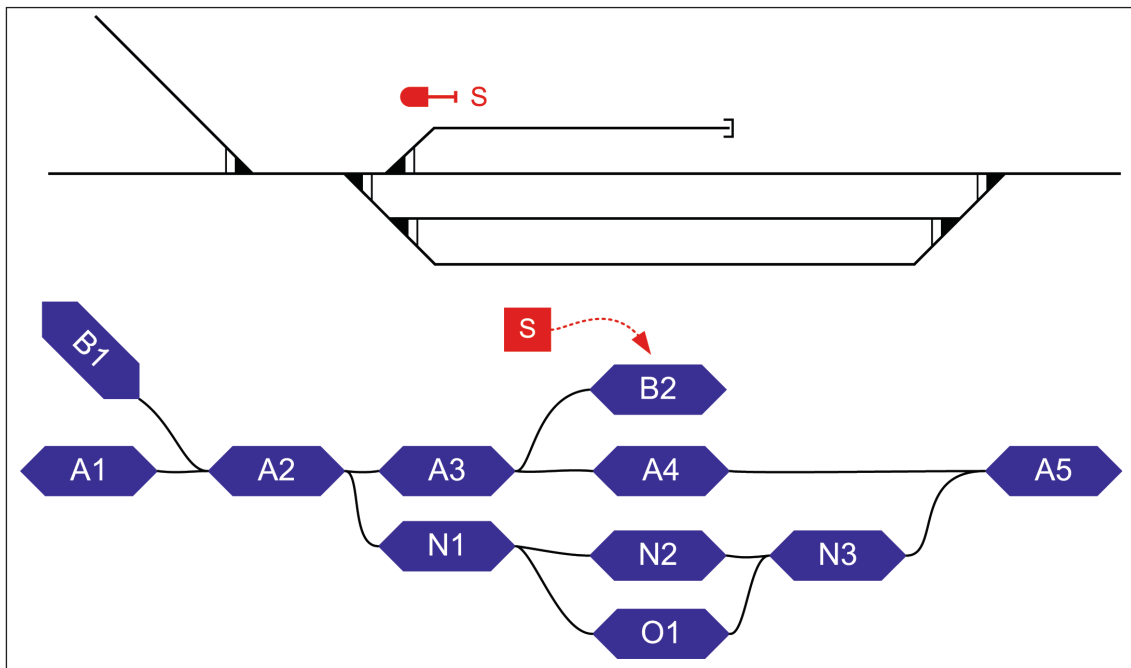


Bild 2: Topologische Repräsentation am Bsp. des Bahnhofs Lüdenschheid-Brücke (Westf.). Oben: Darstellung als schematischer Übersichtsplan. Unten: Prinzipskizze der Modellierung in RTM.

Fig. 2: A topological representation using the example of the Lüdenschheid-Brücke (Westf.) train station. Above: The depiction of a schematic overview plan. Below: A schematic diagram of RTM modelling.

Quelle/ Source: (4)

Der zweite fundamentale Unterschied zwischen RTM und KKM ist die Fokussierung auf das reine navigierbare Gleisnetz unter Vernachlässigung technischer Anlagen wie Weichen oder Prellböcken, dieser geht mit der Begriffsumkehr einher. Ziel der unkonventionellen Modellierung ist laut [4], die Betrachtung zu abstrahieren, um über alle Anwendungsfälle hinweg ein gemeinsames Verständnis der Infrastruktur zu erzeugen.

Abstraktionslevel und Aggregationsmechanismen sind ein wichtiger Bestandteil von RTM, welche aber aus Gründen der Komplexität gesondert zu erörtern sind. Der hier betrachtete Zusammenhang von Geografie und Topologie ist im RTM-Level Mikro zu verorten. Im Folgenden wird angenommen (eine genaue und widerspruchsfreie Definition ist in der aktuellen Fassung der IRS 30100 nicht zu finden), dass jede Gleisachse einer Trassierung im Level Mikro durch eigene PositioningNetElements repräsentiert wird. Die Norm klärt darüber hinaus nicht zweifelsfrei, ob und in welchem Umfang nichtlineare PositioningNetElements im Level Mikro zu verwenden sind. Diese sind vorrangig für höhere Level gedacht ([3], R30100.239): In höheren Leveln wird bspw. ein ganzer Bahnhof zu einem Knoten aggregiert. Da von einem solchen Knoten dann zahlreiche Strecken in verschiedene Richtungen abgehen, besitzt dieser keine eindeutige lineare Form mehr.

Im Einklang mit der Hypothese einer eindeutigen Repräsentation aller geometrischen Gleisachsen im Level Mikro baut die weitere Betrachtung der Geodatenmodellierung auf der Annahme auf, dass im Level Mikro ausschließlich lineare PositioningNetElements anzutreffen sind. Andere Quellen, z. B. [5], gehen hingegen davon aus, dass nichtlineare PositioningNetElements als Zwischenstücke genutzt werden, um einen Teil der KKM-Logik in RTM zu reproduzieren.

3 Geodatenmodellierung mit RailTopoModel

3.1 Modellinhalt

Zur Positionsbeschreibung definiert RTM drei Arten von Koordinatensystemen ([3], R30100.373 ff., vgl. Bild 3): Die lineare Positionierung entlang einer Referenzgeometrie kann das Prinzip des Streckenkilometers oder der Gleisposition (vgl. [1], Kap. 4.3.2) auf-

described using objects in the LocatedNetEntity class (e.g. the signal depicted in red in fig. 2). They refer to the PositioningNetElements to which they logically and spatially belong.

This terminology for “nodes” and “edges” shifts between NEM and RTM. According to [4], this shift takes place in accordance with the mathematical definition of a graph, in which the nodes are the carriers of information, while the edges only link them. The mathematically clean graph facilitates the generalisation of the line network into lines or corridor shapes.

Along with the terminology shift, the second fundamental difference between NEM and RTM is the focus on only the navigable track network while neglecting technical installations, such as switches or buffer stops. [4] argues that the objective of this unconventional modelling approach is to adopt an abstract viewpoint enabling a common understanding of the infrastructure across all use cases.

The levels of abstraction and the respective aggregation mechanisms are important aspects of RTM, but they have to be discussed separately due to their complexity. The connection between geography and topology considered here lies at the RTM micro level. It is assumed in the following (an exact and consistent definition cannot be found in the current version of IRS 30100) that each track axis of a track layout is represented by its own PositioningNetElements at the micro level.

In addition, the standard does not clarify beyond doubt whether and to what extent nonlinear PositioningNetElements are to be used at the micro level. These are primarily intended for higher levels ([3], R30100.239). At these levels, for example, an entire station is aggregated into a node. Since numerous lines then branch off from such a node in different directions, it no longer has a clear linear form.

In accordance with the hypothesis of an unambiguous representation of all geometric track axes at the micro level, the further consideration of geodata modelling is based on the assumption that only linear PositioningNetElements can be found at the micro level. Other sources such as [5], however, assume that nonlinear PositioningNetElements are used as intermediate pieces reproducing parts of the NEM logic in RTM.

nehmen. Die geometrische Positionierung erfolgt über Raumkoordinaten in einem beliebigen Bezugssystem. Das dritte Konzept, die intrinsische Positionierung, ist ein Spezialfall der linearen Positionierung. Hier wird jede Positionsangabe auf die Länge der Referenzlinie normiert, d.h. die Koordinate läuft entlang des Referenzobjekts von 0 bis 1.

Die geometrische Positionierung ist im Gegensatz zur linearen Positionierung sowohl im RTM-Wiki [7] als auch im Forum [8] bislang kaum beschrieben worden. Die folgenden Absätze sind daher nicht als etablierte Praxis, sondern als Interpretationsversuch auf Basis des UML-Schemas und der IRS 30100 zu verstehen.

Der Bezug zwischen Topologie- und Positionierungsinformation funktioniert folgendermaßen ([3], R.30100.528 ff.): Wie in Kap. 2.2 beschrieben, sind die PositioningNetElements die granulare Einheit der Topologie. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass zu ihnen 1–n Unterobjekte der Klasse AssociatedPositioningSystem gehören. Diese besitzen 1–n Unterobjekte IntrinsicCoordinate, die als Stützpunkte des geometrischen Verlaufs des PositioningNetElements zu verstehen sind. Jeder dieser Stützpunkte wird durch 0–n PositioningSystemCoordinates beschrieben, die in einem der beiden Ansätze LinearCoordinate und GeometricCoordinate vorliegen dürfen.

Eine intrinsische Koordinate ist also die Mindestmenge an Positionierungsinformation, die zu jedem PositioningNetElement vorliegen muss. Intrinsische Koordinaten sind das Bindeglied zu Koordinaten der anderen Positionierungsverfahren (vgl. [3], R.30100.482).

LocatedNetEntities können punktförmige, lineare oder flächenhafte Sachverhalte beschreiben, nutzen die gleichen Positionierungssysteme und unterliegen sinngemäß den gleichen Anforderungen.

3.2 Betrachtung aus Sicht der Geodatenverarbeitung

An dieser Stelle lohnt sich ein Blick zurück auf das Beispiel des unklaren Vorsignalabstands in Kap. 1: Die Lücke in der Datenlage wäre geschlossen, wenn sowohl zu den Signalen als auch zu ihren zugehörigen Gleisen topologische, geometrische und lineare Referenzinformationen verfügbar wären. Mit anderen Worten: Es braucht einen geregelten Bezug zwischen Topologie, Geometrie und linearen Maßen.

Hierzu dient das Kongruenzmodell in Bild 4: Jeder geometrische Gleisverlauf von A nach B spannt ein gleisbezogenes LRS auf, zugleich stellt er topologisch eine sinnvolle Einheit dar. Die Orientierung des Gleises (Beginn/Ende) sei in allen drei Sichtweisen einheitlich definiert. Analog kann jede Art von (realem oder virtuellem) Objekt am Gleis im einfachsten Fall geometrisch durch eine Punktkoordinate repräsentiert, mittels einer linearen Positionsangabe referenziert und topologisch auf den zugehörigen Gleisabschnitt bezogen werden. Sowohl für das Gleis als auch für das Objekt am Gleis können Sachinformationen in Form von Attributen abgelegt werden. Aus dem Modell ergeben sich die dargestellten Kongruenzen und Referenzen. Sie bilden ein in sich konsistentes Bezugssystem, das die über eine Infrastruktur gesammelten Informationen in einen räumlichen, linearen und topologischen Kontext setzt.

Diese Sichtweise ist mit RTM vereinbar; das topologische PositioningNetElement kann über sein zugeordnetes AssociatedPositioningSystem sowohl die lineare Referenzierung als auch die Geometrie eines Gleisverlaufs aufnehmen. Die kongruente Segmentierung und Orientierung von topologischer, linearer und geometrischer Darstellung der PositioningNetElements werden ebenfalls sichergestellt. Gleiches gilt für das LocatedNetEntity als Repräsentanten des topologisch, linear und geometrisch verorteten Infrastrukturobjekts.

3 Geodata modelling with RailTopoModel

3.1 Model details

RTM uses three types of coordinate systems ([3], R30100.373 ff., see fig. 3) to describe positions: The linear positioning along a reference geometry can assimilate the principle of the line kilometre or track position (see [1], section 4.3.2). The geometric positioning is based on the spatial coordinates in any reference system. The third concept, intrinsic positioning, constitutes a special case of linear positioning. In this case, each position specification is normalised to the length of the reference line, i.e. the coordinate runs along the reference object from 0 to 1.

In contrast to linear positioning, geometric positioning has hardly been mentioned in the RTM wiki [7] or in the forum [8]. The following paragraphs should therefore not be considered to constitute established practice, but merely an interpretational attempt based on the UML schema and IRS 30100.

The relationship between topology and positioning information works as follows ([3], R.30100.528 ff.). As described in section 2.2, PositioningNetElements are the granular unit of topology. They are characterised by the fact that they include 1–n sub-objects of the AssociatedPositioningSystem class. These have 1–n IntrinsicCoordinate sub-objects, which should be understood as vertices of the geometric course of the PositioningNetElement. Each of these vertices is described by 0–n PositioningSystemCoordinates, which may be present in one of the two LinearCoordinate and GeometricCoordinate approaches.

An intrinsic coordinate is therefore the minimum amount of positioning information which must be available for each PositioningNetElement. Intrinsic coordinates form a link to the coordinates of other positioning methods (see [3], R.30100.482). LocatedNetEntities can describe punctiform, linear or planar facts (or objects), use the same positioning systems and are subject to the same requirements.

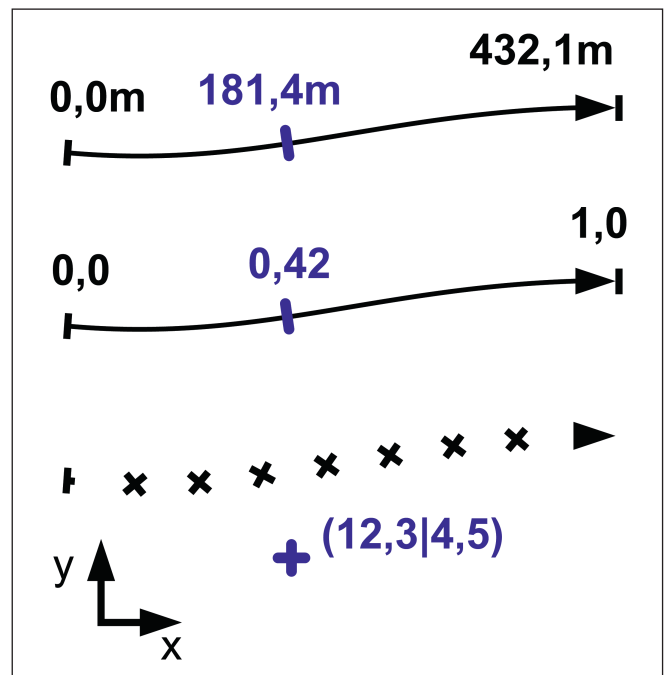


Bild 3: Positionierungssysteme in RTM: Lineare Positionierung, Intrinsische Positionierung, Geometrische Positionierung
 Fig. 3: Positioning systems in RTM: linear positioning, intrinsic positioning and geometric positioning
 Quelle / Source: (4)

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Signon Deutschland GmbH /
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten
 genehmigt von DW Media Group GmbH 2020

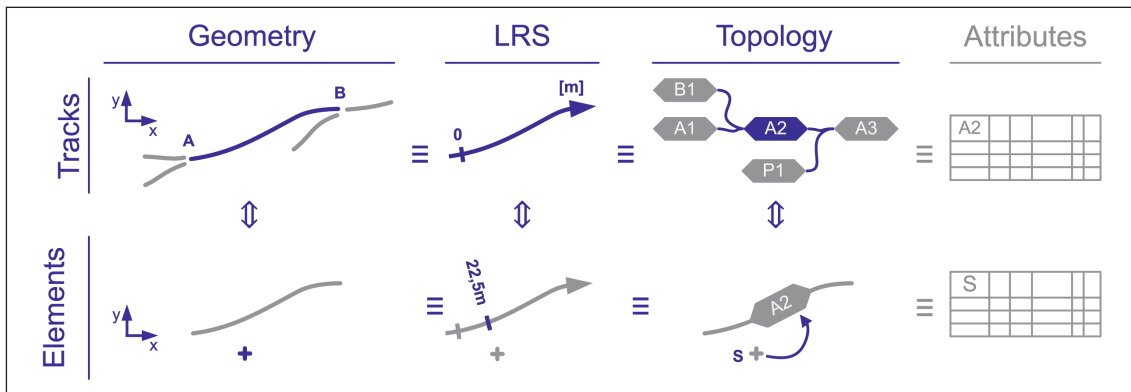


Bild 4: Kongruenzmodell der geometrisch und topologisch konsistenten Infrastrukturbeschreibung
 Fig. 4: The congruence model of the geometrically and topologically consistent infrastructure description
 Quelle / Source: (3)

Aus der topologisch-geometrischen Kongruenz der Gleisverläufe lassen sich Regeln für die Segmentierung der geometrischen Gleislinien ableiten, mit denen die Einhaltung der topologischen Struktur sichergestellt wird. Diese sind für verschiedene Fälle in Bild 5 dargestellt. Erfüllt ein Geodatensatz mit Gleislinien die Regeln, kann aus den Richtungswinkeln einander berührender Linien die topologische Navigierbarkeit abgeleitet werden (Bild 6a). Um eine eindeutige Herleitung zu ermöglichen, ist in Bild 5 die über die Regeln des RTM hinausgehende Forderung enthalten, dass starre Gleiskreuzungen mit durchgehenden Linien über den Kreuzungsschnittpunkt hinweg zu modellieren sind. Eine rein geometrische Analyse würde an diesem Punkt aufeinander treffende Linien womöglich als gleichwertig navigierbar betrachten, wie in Bild 6b für eine Doppelkreuzungsweiche dargestellt: An den Zungenpaaren ergibt sich jeweils die gleiche Situation wie an einer einfachen Weiche, während in der Kreuzungsmitte (mittlerer roter Kreis) kein Linienbruch vorhanden sein darf, damit dort nicht fälschlicherweise eine Verzweigung angenommen wird. Insgesamt passt der gleisbezogene Ansatz in der topologischen Modellierung gemäß RTM gut zum systembedingten Zusammenhang zwischen Geometrie und Navigierbarkeit. Unter den beschriebenen Voraussetzungen kann die Topologie eines Gleisnetzes vollständig und eindeutig aus seiner Liniengeometrie abgeleitet werden.

3.3 Relevanz und Anwendbarkeit

Für welche Akteure im Kontext Infrastrukturdaten haben diese Überlegungen Relevanz? Prinzipiell für jeden, der mit Infrastrukturdaten folgende Vorgänge beabsichtigt:

- Manipulation (erfassen, konstruieren, verändern, zusammenführen) auf Basis geometrischer Koordinaten

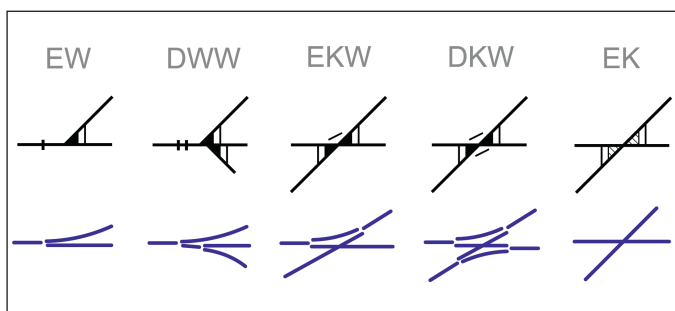


Bild 5: Regeln zur topologisch eindeutigen Segmentierung geometrischer Gleisverläufe
 Fig. 5: The rules for the topologically unambiguous segmentation of geometric track courses
 Quelle / Source: (4)

3.2 The view from the perspective of geodata processing

Let's take a look back at the example of the ambiguous pre-signalling distance from section 1. The data gap would be closed, if topological, geometric and linear reference information was available for both the signals and their associated tracks. In other words, a well-regulated relationship between the topology, geometry and linear positions is needed.

The congruence model in fig. 4 is used for this. Every geometric track course from A to B spans a track-related LRS, while at the same time representing a meaningful unit of topology. The orientation of the track (start / end) is assumed to have been defined uniformly in all three situations. Analogously, in the simplest case, any type of (real or virtual) object on the track can be represented geometrically by a point coordinate which is referenced by means of a linear position specification and topologically related to the associated track section. Factual information can then be stored by means of the attributes, both for the track and the trackside object. This yields the shown congruences and references. These constitute a consistent frame of reference providing a spatial, linear and topological context for all the information gathered on an infrastructure.

This approach is compatible with RTM: the topological PositioningNetElement can contain both the linear referencing and the track geometry via its AssociatedPositioningSystem. The congruent segmentation and orientation of the topological, linear and geometric representation of the PositioningNetElements is also ensured. The same applies to the LocatedNetEntity as a representative of the topologically, linearly and geometrically located infrastructure object.

From the topological-geometric congruence of the track courses, rules for the segmentation of the geometric track lines can be derived, which ensure that the topological structure is maintained. These are shown in fig. 5 for different cases. If a geodata set with track lines fulfils the rules, the topological navigability can be derived from the directional angles of the tangent lines (fig. 6a). In order to obtain a clear derivation, fig. 5 contains one requirement which exceeds the RTM rules, that being the rule that diamond crossings should be modelled with continuous lines across the intersection. A purely geometric analysis would possibly consider lines which meet at this point to be equally navigable, as pictured for a double-slip switch in fig. 6b: the same situation arises at the point blades as at a simple switch, while there must be no broken lines in the middle of the intersection (the red circle in the centre), so that no branching is wrongly assumed there.

In general, the track-related approach in topological modelling according to RTM fits well with the system-inherent correlation between geometry and navigability. The topology of a track net-

- räumliche Analyse
- Produktion topografischer oder topologischer Darstellungen
- Umgekehrt beantwortet sich die Frage leichter: Nur, wer
- Daten ausschließlich auf Grundlage linearer Positionsangaben manipulieren will
- oder gar keine Manipulation vornimmt (z. B. auf einer gegebenen Infrastruktur Routen berechnet oder Fahrpläne umlegt)
- und dabei keine anderen als die einmalig erzeugten topografischen Darstellungen verwendet,

kann auf die Übernahme und Behandlung der geometrischen Informationen verzichten (nicht aber der linearen Referenzen).

Der Grund dafür ist, dass lineare Positionsangaben jederzeit aus den zugrundeliegenden Geometrien abgeleitet werden können, umgekehrt aber die geometrischen Eigenschaften nicht ausschließlich aus den linearen Angaben gewonnen werden können.

Die behandelte Modellierungsfrage ist demzufolge für den Datenaustausch der meisten Akteure im Bereich der Infrastrukturdatenhaltung von großer Bedeutung. Der bisherige Mangel an einem etablierten Datenformat, das das Kongruenzmodell geeignet umsetzt, hat dazu geführt, dass zum branchenüblichen Datenaustausch in den meisten Fällen ausschließlich Sachinformationen und allenfalls Topologieinformationen oder lineare Referenzen gehören, unter Vernachlässigung der Geometrie. Letztere muss der Empfänger eines Datensatzes dann aufwendig neu erfassen oder aus einer anderen (inkonsistenten) Quelle hinzuziehen. Dies gilt für simple tabellarische Datenformate (*.csv, *.xlsx) wie auch für RailML, wo die vorhandene Möglichkeit, Geokoordinaten in eine Datei aufzunehmen, kaum genutzt wird.

Der umgekehrte Rückgriff auf CAD-Formate (z. B. *.dxf) wiederum genügt der Modellierung ebenso wenig, da hier zwar Geometrien transportiert werden, eine ausreichende Attributierung mit Sach- und Topologieinformationen aber nahezu unmöglich ist.

Das Modell der UIC hält ein bislang nicht explizit formuliertes Konzept normativ fest und eröffnet den Weg zur Überführung in geeignete Datenformate und Schnittstellen.

4 Nutzung von RTM

4.1 Implementierung von RTM

RTM ist ein Objektmodell, d. h. es werden Objektklassen und deren Beziehungen untereinander beschrieben. Ein solches Modell lässt sich in objektorientierten Programmiersprachen, relationalen Datenbanken oder objektbasierten Datenformaten implementieren. Für Letzteres bieten sich geeignete Schemata der Beschreibungssprache XML an. RailML als eisenbahnspezifischer XML-Vertreter setzt mit Version 3 die Objektklassen von RTM um. Zwei Aspekte sind dabei aus der beschriebenen Geodatenperspektive hinderlich in der praktischen Nutzung: Einerseits entsprechen die Klassenbezeichner im RTM-Paket PositioningSystem keinem externen Standard zur Geometriebeschreibung (z. B. OGC Simple Features). Es existiert daher keine einfache Schnittstelle zum Laden der Informationen aus PositioningSystem in gängigen Geodaten-Applikationen (z. B. QGIS). Andererseits geht der Vorteil, dass XML-basierte Datenformate gleichzeitig menschen- und maschinenlesbar sind, verloren, wenn der menschliche Lesefluss durch umfangreiche Koordinatenangaben mit zahlreichen erforderlichen Nachkommastellen gestört wird.

So lässt sich leicht erklären, warum die Möglichkeit, eine RailML-Datei mit Geokoordinaten anzureichern, in der praktischen Anwendung nahezu keine Rolle spielt – allenfalls für einzelne Infrastrukturpunkte, aber so gut wie nie für Gleisverläufe und deren Beschreibung durch hinreichend dicht angeordnete Stützpunkte.

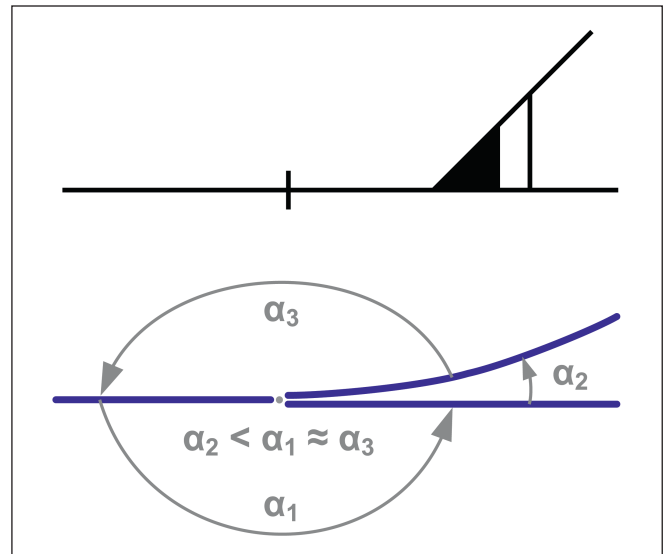


Bild 6a: Ableitung der topologischen Navigierbarkeit einer einfachen Weiche aus der geometrischen Lage zusammenstehender Linien

Fig. 6a: Deriving the topological navigability of a simple switch from the geometrical position of the converging lines

Quelle / Source: (4)

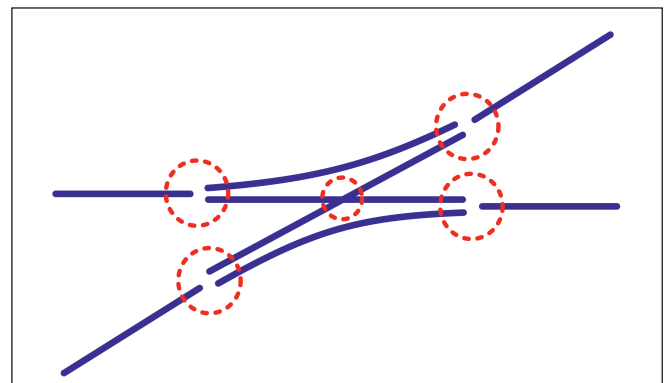


Bild 6b: Anwendung dieses Verfahrens auf eine DKW

Fig. 6b: The application of this procedure to a double-slip switch

Quelle / Source: (4)

work can be completely and unambiguously derived from its line geometry under the described conditions.

3.3 Relevance and applicability

Which infrastructure data stakeholders are these considerations relevant for? Basically, for anyone who intends to do one of the following with the infrastructure data:

- manipulation (capture, design, change, merge) based on geometric coordinates
 - spatial analysis
 - the production of topographical or topological representations
- The question is easier to answer the other way around. Only those who
- wish to manipulate data solely on the basis of linear position information
 - or do not perform any manipulation (e.g. calculating routes or assigning timetables on a given infrastructure)
 - and do not use any topographical representations other than those created once

can do without using and processing the geometric information (but not the linear references).



Bild 7: Ansicht des Bahnhofs Lüdenscheid-Brügge (Westf.) mit der Darstellung von Infrastrukturdaten aus OSM, Streckenachsen der DB sowie einem Luftbild als Hintergrund

Fig. 7: The view of the Lüdenscheid-Brügge (Westf.) station showing infrastructure data from OSM, DB line axes and an aerial photo as the background

Quelle / Source: (1; 3)

4.2 Adaption von RTM

Eine Alternative zur Implementierung des Modells besteht in einer Adaption wesentlicher Prinzipien. Dazu kann ein herkömmliches Geodatenformat genutzt werden, für das Schnittstellen zu den üblichen Anwendungen der Geodatenverarbeitung etabliert sind. Werden nun wichtige Grundprinzipien von RTM in die Modellierung übernommen, entsteht ein Datensatz, welcher:

1. in Standard-Geodatensoftware sofort importierbar ist
2. menschenlesbar im Geodatensinne ist, d. h. er besitzt eine grafisch darstellbare Geometrie und eine Attributtabelle
3. mit geringem Konvertierungsaufwand in eine RTM-Implementierung umgewandelt werden kann

Folgende Grundprinzipien sollten dabei beachtet werden:

- topologische Struktur als Connexity Graph (Bild 2)
- Positionierungssysteme (Bild 3)
- alle Aussagen des Kongruenzmodells (Bild 4)
- Regeln zur eindeutig topologisch analysierbaren Repräsentation von Weichen und Kreuzungen (Bild 5)

4.3 Beispiel einer Adaption: GeoPackage

Das offene Datenformat GeoPackage wurde vom Open Geospatial Consortium (OGC) spezifiziert [9]. Es ermöglicht den Aufbau einer komplexen Geodatenbank, die in einer einzigen Datei (*.gpkg) aufbewahrt wird. Eine solche Datei kann mehrere Raster- und Vektorlayer beinhalten. Sogar Darstellungsstile der einzelnen Layer können in die Datenbank geschrieben werden. Diese Merkmale machen das Format geeignet, um Eisenbahngeodaten in komplexerem Umfang zu speichern.

Als Beispiel wird hier der bereits in Bild 2 schematisch dargestellte Bahnhof Lüdenscheid-Brügge (Westf.) herangezogen. Bild 7 zeigt einen Datensatz, der mit dem Open-Source-Programm QGIS aus verschiedenen Quellen zusammengestellt wurde. Er besteht aus folgenden Layern:

- Railway Tracks: Gleisverläufe aus OpenStreetMap (OSM)
- Railway Lines: Streckenverläufe gemäß DB-Definition, DB Open-Data-Portal
- Point Entities: Punktförmige Objekte (OSM)
- Area Entities: Flächenhafte Objekte (OSM)
- Aerial Imagery: Orthofotos aus dem Geoportal NRW

Die Layer sind anhand gegebener Attribute eingefärbt und beschriftet worden.

Der Layer Railway Tracks reicht aus, um die Gleistopologie vollständig zu repräsentieren. Um die in Kap. 4.2 aufgelisteten

The reason for this is that linear positioning information can be derived from the underlying geometries at any time, but conversely the geometric properties cannot be obtained from the linear information alone.

The discussed modelling question is therefore of great importance for the exchange of data between most stakeholders in the field of infrastructure data management. The absence of an established data format which implements the congruence model appropriately has hitherto led to the fact that, in most cases, only factual information and, if necessary, topological information or linear references constitute part of the customary data exchange, thus neglecting the geometry. The recipient of a data set must then comprehensively re-capture the latter or use it from another (inconsistent) source. This applies to simple tabular data formats (*.csv, *.xlsx) as well as to RailML, where the option of including geo-coordinates in a file is seldom used. Conversely, falling back on CAD formats (e. g. *.dxf) is not sufficient for modelling either. While these formats are admittedly designed to store geometries, adequate attribution with factual and topological information is almost impossible.

The UIC model specifies a concept which has not been previously explicitly formulated and opens the way to the conversion into suitable data formats and interfaces.

4 The use of RTM

4.1 The implementation of RTM

RTM is an object model, which means that object classes and their relationships with each other are described. Such a model can be implemented in object-oriented programming languages, relational databases or object-based data formats. Suitable schemas of the XML description language can be used for the latter. Version 3 of RailML implements the RTM object classes as a railway-specific XML version.

Two aspects are detrimental to practical use from the described geodata perspective. On the one hand, the class identifiers in the RTM PositioningSystem package do not correspond to any external standard for the description of geometries (e. g. OGC Simple Features). This means there is no simple interface for loading the information from the PositioningSystem into common geodata applications (e. g. QGIS). Secondly, the advantage that XML-based data formats can be read simultaneously by humans and ma-

Tab. 1: Auszug aus der Attributtabelle des Layers Railway Tracks

Tab. 1: An extract from the attribute table of the Railway Tracks layer

Quelle / Source: (1)

Track ID	Length [m]	TopoLinks0	TopoLinks1
O1	523.9	[(N1, 1)]	[(N3, 1)]
N3	36.1	[(O1, 1), (N2, 1)]	[(A5, 0)]
N2	521.6	[(N1, 1)]	[(N3, 1)]
N1	71.8	[(A2, 1)]	[(O1, 0), (N2, 0)]
B2	254.4	[(A3, 1)]	[]
B1	2.1	[(A2, 0)]	[]
A5	37.1	[(N3, 0), (A4, 1)]	[]
A4	603.6	[(A3, 1)]	[(A5, 0)]
A3	24.1	[(A2, 1)]	[(B2, 0), (A4, 0)]
A2	19.7	[(B1, 0), (A1, 0)]	[(A3, 0), (N1, 0)]
A1	2.1	[]	[(A2, 0)]

Grundprinzipien zu erfüllen, wurde er im Bereich der Weichen gemäß der in Bild 5 gezeigten Regeln modifiziert und anschließend topologisch analysiert. Das Resultat dieser Analyse ist der Auszug aus der Attributtabelle des Layers, der in Tab. 1 dargestellt wird. Jede Zeile repräsentiert ein RTM-PositioningNetElement mit einer Track ID, die Spalte Length zeigt die Gleislänge und damit den Wertebereich der Gleisposition. Die Spalten TopoLinks0 und TopoLinks1 repräsentieren die RTM-Relations der beiden Enden „0“ und „1“ in Form von Listen; jeder Listeneintrag beschreibt ein navigierbar anschließendes PositioningNetElement und dessen Ende („0“ oder „1“), mit dem es an das betrachtete PositioningNetElement anschließt.

Außerdem wurden zur Erfüllung eines weiteren Grundprinzips für alle Objekte des Layers Point Entities entsprechende lineare Gleis- und Streckenpositionen sowie die intrinsische Gleisposition berechnet.

Das Beispiel zeigt, welcher Informationsgehalt und welche Visualisierungswirkung in einer einzigen Datei aufbewahrt werden können. Als Datenpaket enthält es eine umfassende, konsistente und durch die Stile quasi selbsterklärende Infrastrukturbeschreibung. Die Handhabung ist durch das Format GeoPackage soweit vereinfacht, dass die Datei bspw. in QGIS (ab Version 3) per Drag&Drop geladen werden kann. Der gezeigte Beispieldatensatz kann unter der Webadresse am Schluss des Beitrags heruntergeladen werden.

5 Fazit

Es konnte gezeigt werden, dass das UIC RailTopoModel (RTM) mit seinem Teilschema PositioningSystem den Anforderungen einer konsistenten Geodatenverarbeitung genügt. Die praktische Nutzbarkeit wurde anschließend an einem Datenbeispiel unter Beweis gestellt. Die Adaption wesentlicher RTM-Grundprinzipien ermöglicht die Erstellung eines einfachen, RTM-kompatiblen Datensatzes in einem gängigen Geodatenformat. Die gezeigte Kombination aus Liniengeometrien und einer tabellarischen Notation der Navigierbarkeit (Tab. 1) stellt eine der einfachsten Möglichkeiten zur Übertragung vollständiger, maschinenlesbarer Gleistopologieinformationen dar.

Gegenüber den etablierten KKM bietet RTM in der geobezogenen Anwendung Vorteile durch die einfache Ableitbarkeit der Topologie aus der Geografie eines Gleisnetzes. Auch die Navigation und damit das Finden kürzester gültiger Wege (d.h. ohne Richtungswechsel des Zuges) über das Gleisnetz sind auf dieser Datenstruktur leichter möglich.

Insgesamt ist RTM ein vielversprechender Ansatz zur Schließung der eingangs beschriebenen Geoinformationslücke im eisenbahnspezifischen Datenaustausch. Es besteht allerdings großer

chines is lost, if the human reading flow is affected due to the large amount of coordinate information with countless decimal places. It is therefore easy to understand why the possibility of enriching a RailML file with geo-coordinates plays almost no role in practice (maybe for individual infrastructure points, but almost never for track layouts and their description through densely arranged vertices).

4.2 Adaptation from RTM

An alternative to implementing the model involves adapting the essential principles. A conventional geodata format, for which interfaces to the usual geodata processing applications have been established, can be used for this. If important basic RTM principles are now adopted in the modelling, a data record will be created, which:

1. is immediately importable into standard geodata software
 2. is human-readable in the sense of geodata, i. e. it has a graphically representable geometry and an attribute table
 3. can be converted into an RTM implementation with little effort
- The following basic principles should be incorporated:
- the topological structure as a Connexity graph (fig. 2)
 - the positioning systems (fig. 3)
 - all the statements from the congruence model (fig. 4)
 - the rules for the unambiguous topologically analysable representation of any switches and crossings (fig. 5)

4.3 An example of an adaptation: GeoPackage

The GeoPackage open data format has been specified by the Open Geospatial Consortium (OGC) [9]. It enables the construction of a complex geodatabase which is stored in a single file (*.gpkg). Such a file can contain several raster and vector layers. Even the display styles of the individual layers can be written into the database. These characteristics make the format suitable for storing more complex railway geodata.

The Lüdenscheid-Brügge (Westf.) station, shown schematically in fig. 2, has been used as an example. Fig. 7 shows a data set which has been compiled from various sources using the QGIS open source program. It consists of the following layers:

- railway tracks: track layouts from OpenStreetMap (OSM)
- railway lines: line axes according to the DB definition, DB OpenData portal
- point entities: point objects (OSM)
- area entities: area objects (OSM)
- aerial imagery: orthophotos from NRW Geoport

The layers have been coloured and labelled based on the given attributes.

The Railway Tracks layer is sufficient to fully represent the track topology. It has been modified in the area of the switches according to

Bedarf an einer Konsolidierung des Modells: Der Norm IRS 30100 mangelt es an einigen Stellen an Klarstellungen und Festlegungen. Das RTM-Wiki, das eigentlich dazu geeignet wäre, das Modell über die normativen Fragen hinaus zu erläutern, behandelt viele Themen nur im Ansatz. Für die vorliegende Untersuchung mussten daher Annahmen getroffen werden. Diese betreffen vor allem die Zweckdefinition der Aggregationslevel sowie die Rolle der linearen und nichtlinearen PositioningNetElements. ■

LITERATUR | LITERATURE

[1] Hintze, P.; Prüter, F.: „Im Plan steht aber ein anderer Kilometer!“ – Das Potenzial georeferenzierter Bahninfrastrukturdaten, SIGNAL+DRAHT 11/2018
 [2] UIC: RTM 1.1; UML-Klassendiagramm. <https://uic.org/railtopomodel>, 05.02.2020 um 16:12
 [3] UIC: IRS30100 “RailTopoModel – Railway infrastructure topological model”, 1st edition, 2016-09. <http://www.railtopomodel.org/>, 05.02.2020 um 16:14
 [4] Gély, L. et al.: A multi scalable model based on a connexity graph representation. In: Computers in Railways XII. WIT Press, 2010, pp. 193–204. DOI 10.2495/CR100191
 [5] Wunsch, S.; Jaekel, B.: Modellierungsprinzipien des RailTopoModel – Einsatzmöglichkeiten in Planung, Simulation und Betrieb bei Eisenbahnen, DER EISENBAHNINGENIEUR 03/2017
 [6] railML.org: Railway Markup Language. <https://www.railml.org/>, 05.02.2020 um 16:12
 [7] railML.org.: Positioning, RailTopoModel Wiki; Revision as of 16:26, 13 March 2017 by Ferri Leberl. <http://wiki.railtopomodel.org/index.php?title=Positioning>, 05.02.2020 um 16:13
 [8] railML.org: RailTopoModel, railML Forum. https://www.railml.org/forum/index.php?t=thread&frm_id=10&, 05.02.2020 um 16:14
 [9] Open Geospatial Consortium: OGC GeoPackage. www.geopackage.org, 05.02.2020 um 16:14

Datenquellen / Data sources:

(1) OpenStreetMap-Daten: Zugriff über Overpass-API (https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Overpass_API) 30.01.2020 um 11:30 Uhr, Lizenz ODbL © OpenStreetMap-Mitwirkende, <https://www.openstreetmap.org/copyright>, ergänzt um topologische Analyse und lineare Referenzen.
 (2) Streckenachsen (Abb. 7): Datensatz Geo-Strecke 01/2019, Quelle <https://data.deutschebahn.com/dataset/geo-strecke>, Zugriff 31.01.2020 um 09:39, Lizenz CC BY 4.0 Deutsche Bahn AG, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>, unverändert
 (3) Hintergrundbild: Digitale Orthofotos (DOP) Land NRW (2020), <https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geobasis/dop/> Zugriff 30.01.2020 um 12:12, Datenlizenz Deutschland Namensnennung 2.0, <http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>, unverändert
 (4) Plansymbole: Visio-Signalschablone, <https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ibv/vst/die-professur/mitarb/ulrich-maschek/signalschablone>, Lizenz CC BY-ND 4.0 Dr. Ulrich Maschek, <https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>, unverändert

Datenbeispiel / Sample data:

Unter folgender Webadresse steht der gezeigte Datensatz ab Veröffentlichung dieses Beitrages sechs Monate lang zum kostenfreien Download zur Verfügung / for six months from the publication of this article, the shown dataset is available for free download under the link below: <https://www.signongroup.de/signoncloud/index.php/s/4BMgtDyZnTCfqqG>

the rules shown in fig. 5 and then analysed topologically in order to comply with the basic principles listed in section 4.2. This analysis has resulted in the excerpt from the layer’s attribute table, which is shown in Table 1. Each line represents an RTM PositioningNetElement with a Track ID. The Length column shows the track length and as such the value range of the track position. The TopoLinks0 and TopoLinks1 columns represent the RTM Relations of the two ends “0” and “1” in the form of lists. Each list entry describes a navigable adjacent PositioningNetElement and its end (“0” or “1”) with which it connects to the PositioningNetElement in question.

Corresponding linear track and line positions as well as the intrinsic track position have been calculated for all the objects in the Point Entities layer in order to comply with another basic principle.

The example shows the information content and visualisation effect which can be stored in a single file. As a data package, it contains a comprehensive, consistent description of the infrastructure, which is virtually self-explanatory. The handling is simplified by the GeoPackage format to such an extent that the file can be loaded, for example, in QGIS (version 3 or higher) using drag & drop. The shown data set example can be downloaded from the URL provided at the end of this article.

5 Conclusion

We have proved that the UIC RailTopoModel (RTM) with its PositioningSystem subschema complies with the requirements of consistent geodata processing. We have also subsequently demonstrated its practical feasibility using a data example. The use of essential RTM principles enables the creation of a simple, RTM-compatible data record in a common geodata format. The demonstrated combination of line geometries and the tabular notation of navigability (tab. 1) represents one of the simplest options for the transmission of complete, machine-readable track topology information.

Compared with the established NEM, RTM offers advantages for geospatial applications, because the topology can be easily derived from the geography of the track network. This data structure also makes it easier to navigate and thus to find the shortest valid routes (i. e. without changing the direction of the train) across the track network.

In general, RTM is a promising approach to closing the described geographic information gap in rail-specific data exchange. However, there is a significant need to consolidate the model. The IRS 30100 standard lacks clarification and specifications to some extent. The RTM Wiki, which would be appropriate to explain the model beyond the normative questions, addresses many topics inadequately. Assumptions have thus had to be made for the present study. These have mainly concerned the definition of the purpose of the aggregation levels and the role of the linear and non-linear PositioningNetElements. ■

AUTOREN | AUTHORS

Dipl.-Ing. Johannes Elstner
 Systemingenieur / Systems Engineer
 E-Mail: johannes.elstner@signon-group.com

Christoph Brendel Stud. B.Sc.
 Werkstudent / Student trainee
 E-Mail: christoph.brendel@signon-group.com

Alle Autoren / all authors:
 Signon Deutschland GmbH
 Anschrift / Address: Schützenstr. 15-17, D-10117 Berlin

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Signon Deutschland GmbH /
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten
 genehmigt von DW Media Group GmbH 2020