

# Modellprinzipien des RailTopoModel

## Einsatzmöglichkeiten in Planung, Simulation und Betrieb bei Eisenbahnen

SUSANNE WUNSCH | BIRGIT JAEKEL

**Im Forschungsprojekt Capacity4Rail wurde untersucht, wie sich die neuartige Infrastrukturmodellierung des RailTopoModel für den Einsatz im Bahnbereich nutzen lässt. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen nun hier dargestellt werden. Nach einer Vorstellung von unterschiedlichen Anforderungen und Detaillierungsgraden in verschiedenen Anwendungen wird dabei zunächst auf Unterschiede des klassischen Knoten-Kanten-Modells zum im RailTopoModel verwendeten „Connexity Graph“ eingegangen. Dabei werden an einem Anwendungsbeispiel Möglichkeiten und Grenzen des Modells hinsichtlich Navigierbarkeit und Traversierbarkeit sowie Aggregation und Vertikales Navigieren aufgezeigt und ein Ausblick auf mögliche Anwendungsfelder gegeben.**

### Einleitung Motivation

Im Rahmen des EU-Projekts Capacity4Rail [1] wurden u. a. die Möglichkeiten des RailTopoModel [2] für verschiedene Szenarien bei Eisenbahnen untersucht. Diese Analyse konzentrierte sich auf Kapazitätserhöhungen durch einen zukunftsfähigen Datenaustausch zwischen verschiedenen Nutzergruppen. Das RailTopoModel wird u.a. für den Anwendungsfall der Echtzeitsimulation im Falle von Störungen, wie in [3] beschrieben, entwickelt. Zahlreiche weitere Datenformate für eisenbahnspezifische, aber auch universelle Anwendungen wurden im Projekt Capacity4Rail untersucht und bereits in [4] veröffentlicht. Dieser Artikel soll nun noch einmal detailliert auf Modellprinzipien des dort ebenfalls untersuchten RailTopoModel eingehen.

Die Aggregation ist neben anderen Prinzipien eine zentrale Strukturkomponente des RailTopoModel, die im Folgenden vorgestellt und mit bisher üblichen Systematiken in Knoten-Kanten-Modellen verglichen wird. Dabei wird auf die Anforderungen unterschiedlicher Nutzergruppen eingegangen, um ihnen auf Grundlage des RailTopoModel neue Anwendungsbereiche ihrer Daten zu erschließen. Abschließend werden offene Punkte und weiterer Forschungsbedarf für die Einführung des RailTopoModel angesprochen.

### Grundsätzliche Anforderungen an die Modellierung

Der Entwurf von Datenmodellen als Grundlage für Datenaustauschformate folgt keinem

Selbstzweck, sondern gibt verschiedenen Nutzergruppen effektive Methoden an die Hand, um ihre Anforderungen an Daten für eigene und fremde Systeme effektiv zu erfüllen und somit Entwicklungskosten zu sparen und die Qualität zu erhöhen.

Eine zentrale Forderung ist die Wahrung der Konsistenz innerhalb der Datenbestände, die selbstverständlich klingt bzw. banal erscheint. Deren Einhaltung innerhalb einer Arbeitsgruppe stellt sich bereits als große Herausforderung dar, über verschiedene Firmenstandorte und -abteilungen hinweg ist sie organisatorisch kaum durchsetzbar. Nur die Verwendung von IT-Systemen, die u. a. Konsistenzprüfungen beinhalten, könnte Abhilfe schaffen.

Im Falle von Änderungen wird die Nachverfolgbarkeit der Datensätze gewünscht. Es soll zu jeder Zeit bekannt sein, in welchem Zustand sich jeder Anlagenteil befindet. Auch die verschiedenen Planungsvarianten für den gleichen Zielzeitbereich müssen z.B. für Baustellenplanungen beachtet werden. Ebenso sollen historische Zustände in ihrem Kontext zweifelsfrei rekapituliert werden können.

Beide Anforderungen resultieren offensichtlich in komplexen und umfangreichen Datenbanken. Zur Absicherung der Prozessierbarkeit für Echtzeitanwendungen müssen Mechanismen vorgehalten werden, die den benötigten Datenumfang so eingrenzen, dass Simulationen in „angemessener“ Zeit verwertbare Ergebnisse liefern, die den laufenden Betrieb positiv beeinflussen können.

Routing-Algorithmen und andere Nutzergruppen benötigen Hinweise, welche Wege durch eine Topologie für Zugfahrten ohne Richtungswechsel genutzt werden können. Dieses Kenntnis der Traversierbarkeit verhindert z.B. die direkte Abfolge von Stamm- und Zweiggleis einer Weiche, die in der Realität nicht befahrbar wäre.

### Verschiedene Detaillierungsgrade in der Modellierung

Verlässliche Daten in unterschiedlichen Detaillierungsgraden unterstützen die Prozesse verschiedener Nutzergruppen bereits heute auf optimale Weise. Diese Sichtweisen sollten auch in zukünftigen Datenmodellen zuverlässig bedient werden.

- Für Planungs- und Instandhaltungsprozesse im Bereich der Trassierung und der Ausrüstung mit Leit- und Sicherungstechnik, E-Technik und des Ingenieurbaus werden detaillierte Topologiedaten benötigt, die den Planungsbereich vollständig abdecken. Dies entspricht der mikroskopischen Ebene.

- Einige Betriebssimulationen, insbesondere Kapazitätsanalysen, bauen auf semi-detaillierten Topologiedaten auf, so dass die mesoskopische Ebene optimal erscheint.
- Strategische Planungen und Systeme für die Kundensicht des Eisenbahnbetriebs bedienen sich der größeren Topologiedaten, die i. A. der makroskopischen Ebene entsprechen.
- Daneben existieren Prozesse und Softwareanwendungen, die sich auf Mischformen der im Folgenden skizzierten Ebenen spezialisiert haben.
- Das Capacity4Rail-Szenario „Consistent cross industry infrastructure data“ stützt sich auf die Anforderung konsistenter Daten, die in verschiedenen Ebenen verfügbar sind, um Planungs-, Simulations- und Betriebsprozesse über Betreiber- und Ländergrenzen hinweg zu ermöglichen [1].

Eine ausführlichere Darstellung dieser Detaillierungsgrade findet sich in [4].

Der International Railway Standard (IRS) 30100 beschreibt eine ergänzte Klassifizierung der Detaillierungsgrade, bei der Weichennavigierbarkeit erst in einer weiteren Ebene, der Nano-Ebene, enthalten ist.

### Grundlagen für die Analyse Einführung in ausgewählte Konzepte für Gleisnetztopologien

Bei Eisenbahnen wird unter einem Netzwerk die topologische Abbildung der Infrastruktur verstanden, die sich mathematisch als Graph modellieren lässt. Der Graph besteht aus einer Menge von Elementen (Knoten), die mittels Verbindungen (Kanten) miteinander verbunden sind [5].

Die Topologie eines Netzwerks bezeichnet die Struktur der Verbindungen seiner Elemente untereinander. Die physische Topologie beschreibt die sichtbaren Verknüpfungen seiner Bestandteile; die logische Topologie den möglichen Informationsfluss zwischen den Knoten, in diesem Fall den potenziellen Verkehrsfluss. Im Falle des Gleisnetzes handelt es sich i. A. um die physische Topologie eines Netzwerkausschnitts bestehend aus Gleisen, Weichen, Gleisabschlüssen, Betrachtungsgrenzen etc.

Abb. 1a) stellt einen Gleisabschnitt im Knoten-Kanten-Modell dar. Die beiden Knoten Kn1 und Kn2, als Kreise gezeichnet, stellen die Betrachtungsgrenzen dar. Die Verbindung zwischen den Knoten entspricht der Kante Ka1, die als Linie symbolisiert wird.

In [4] stellen L. Gély et al. das neue Konzept des „Connexity Graph“ vor. Darin werden jegliche Infrastrukturressourcen als Knoten und deren

Beziehungen untereinander als Kanten dargestellt. Abb. 1b) zeigt obigen Gleisabschnitt als „Connexity Graph“. Sowohl die beiden Betrachtungsgrenzen Kn1 und Kn2 als auch der Gleisabschnitt zwischen ihnen, Ka1, wird als „Connexity-Knoten“ modelliert. Die Beziehungen zwischen ihnen („Relations“) R1 und R2 zeigen an, dass die „Connexity-Knoten“ miteinander verbunden sind.

Die Verbindungsinformationen („Kanten“) geben sowohl im „klassischen“ Knoten-Kanten-Modell als auch im Modell des „Connexity Graph“ keinen Hinweis darauf, ob eine Verbindung zwischen Knoten durch eine Zugfahrt ohne Richtungswechsel traversierbar ist. Diese Navigierbarkeit muss bei beiden Modellen auf geeignete Weise ergänzt werden.

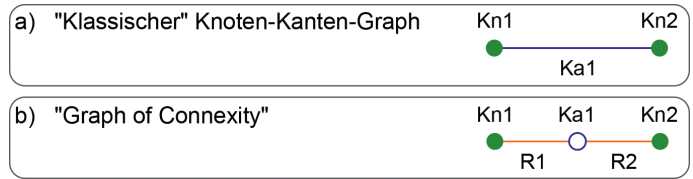
**Beschreibungsebenen für topologische Eisenbahndaten**

In [1, 2, 3] werden großteils übereinstimmende Annahmen für Beschreibungsebenen des Gleisnetzes hinsichtlich seiner Verwendbarkeit für verschiedene Nutzergruppen auf Grundlage des „klassischen“ Knoten-Kanten-Modells getroffen (vgl. Abb. 3 in [4]). Sie werden im Folgenden kurz „Ebenen“ genannt.

Wenn die Knoten des Gleisnetzes vornehmlich durch Weichen und Gleisabschlüsse gebildet werden, spricht man von der mikroskopischen Ebene.

Die mesoskopische Ebene enthält Betriebsstellen als Knoten und Gleise zwischen ihnen

**Abb. 1:** Gleisabschnitt im Knoten-Kanten-Modell und als „Connexity Graph“



als Kanten. Betriebsstellen können sowohl Bahnhöfe als auch Abzweigstellen oder gar Haltepunkte ohne Verzweigungsmöglichkeit sein. Sie enthalten i.A. keine Weicheninformationen. Auch Überleitstellen werden als Betriebsstellen und damit Knoten abgebildet. Die makroskopische Ebene entspricht dem „traditionellen Streckennetz“, die Betriebsstellen bilden wiederum die Knoten und werden von „Streckenabschnitten“ als Kanten verbunden. In dieser Ebene wird topologisch nicht zwischen ein- oder zweigleisigen Streckenabschnitten unterschieden.

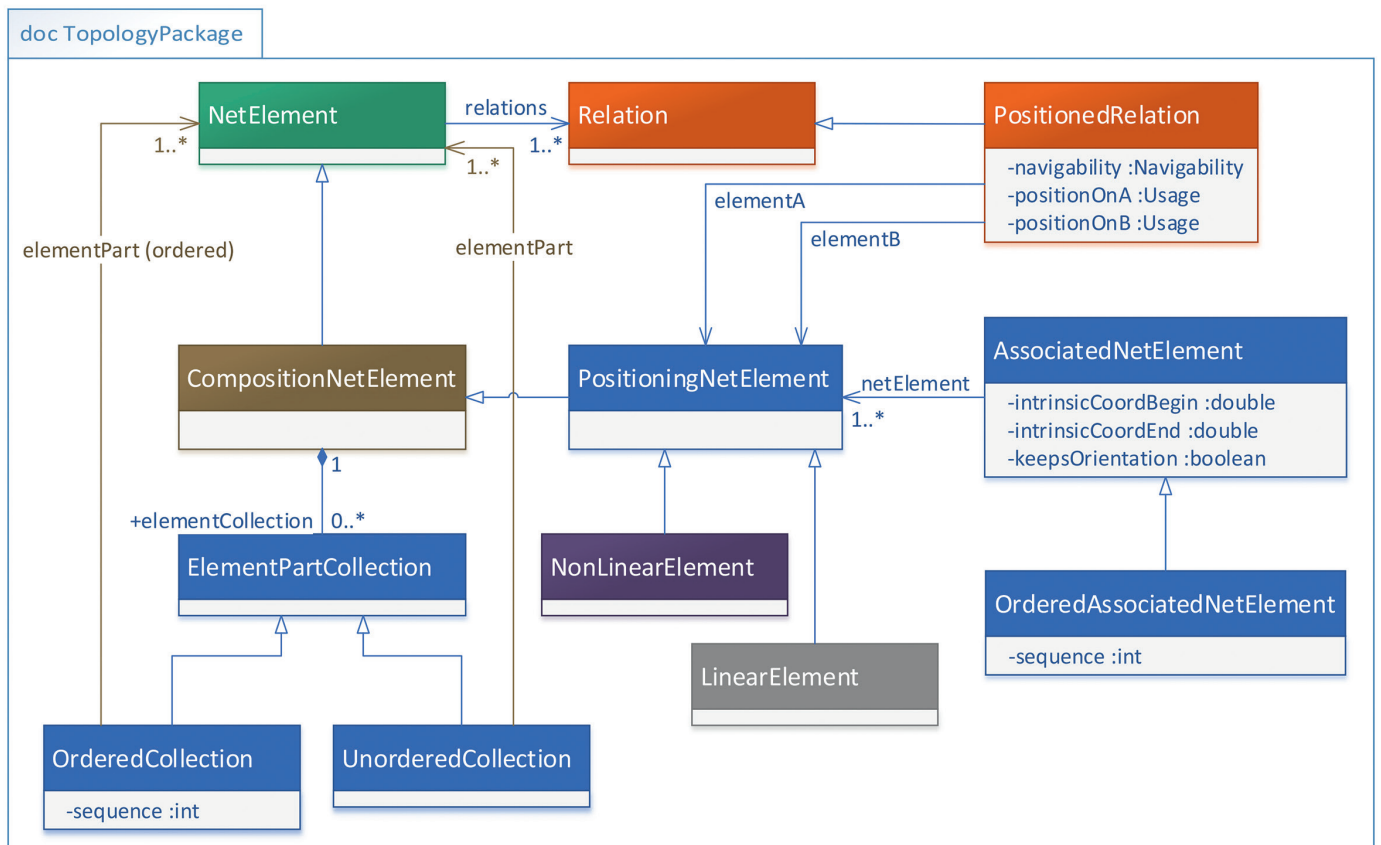
**Aktuelle Modellierungsinitiativen für topologische Eisenbahndaten**

Die Modellierung der allgemeingültigen Merkmale des Eisenbahnsystems wird bereits seit 2002 durch das railML.org Konsortium forciert [6]. Seit 2005 steht railML als Datenaustauschformat auf XML-Basis zur Verfügung. Die aktuelle Version railML 2.3 soll durch die restrukturierte Version railML 3.1 ergänzt bzw. ersetzt werden. Diese soll im Laufe des Jahres 2017 erscheinen und wird für In-

frastrukturangaben auf dem RailTopoModel basieren [7].

Das RailTopoModel wird seit 2013 von der UIC in enger Kooperation mit railML.org mit dem Ziel entwickelt, ein allgemeingültiges Modell für die topologischen Anforderungen an Eisenbahndaten auf verschiedenen Beschreibungsebenen zu erschaffen. Die Version 1.0 des Modells wurde 2015 veröffentlicht und anschließend stetig weiterentwickelt. Auf dieser Grundlage wurde die „International Railway Solution IRS 30100 – RailTopoModel“ geschaffen, die 2016 erschienen ist [2].

Seitens der „klassischen“ Knoten-Kanten-Topologie sei eine weitere aktuelle Modellierungsinitiative erwähnt. PlanPro ist ein Projekt der Deutschen Bahn, das den Datenaustausch für Planungsprozesse der Leit- und Sicherungstechnik standardisiert [8]. Die Modellierungsebene ist weitestgehend mikroskopisch unter Zuhilfenahme einiger Details in der Nano-Ebene. Weitere Vertreter der Knoten-Kanten-Topologie werden in diesem Beitrag wegen ihrer grundsätzlichen Analogie nicht betrachtet.



**Abb. 2:** Ausschnitt aus dem RailTopoModel (Hervorhebung von Autoren)

Grafik: [2]

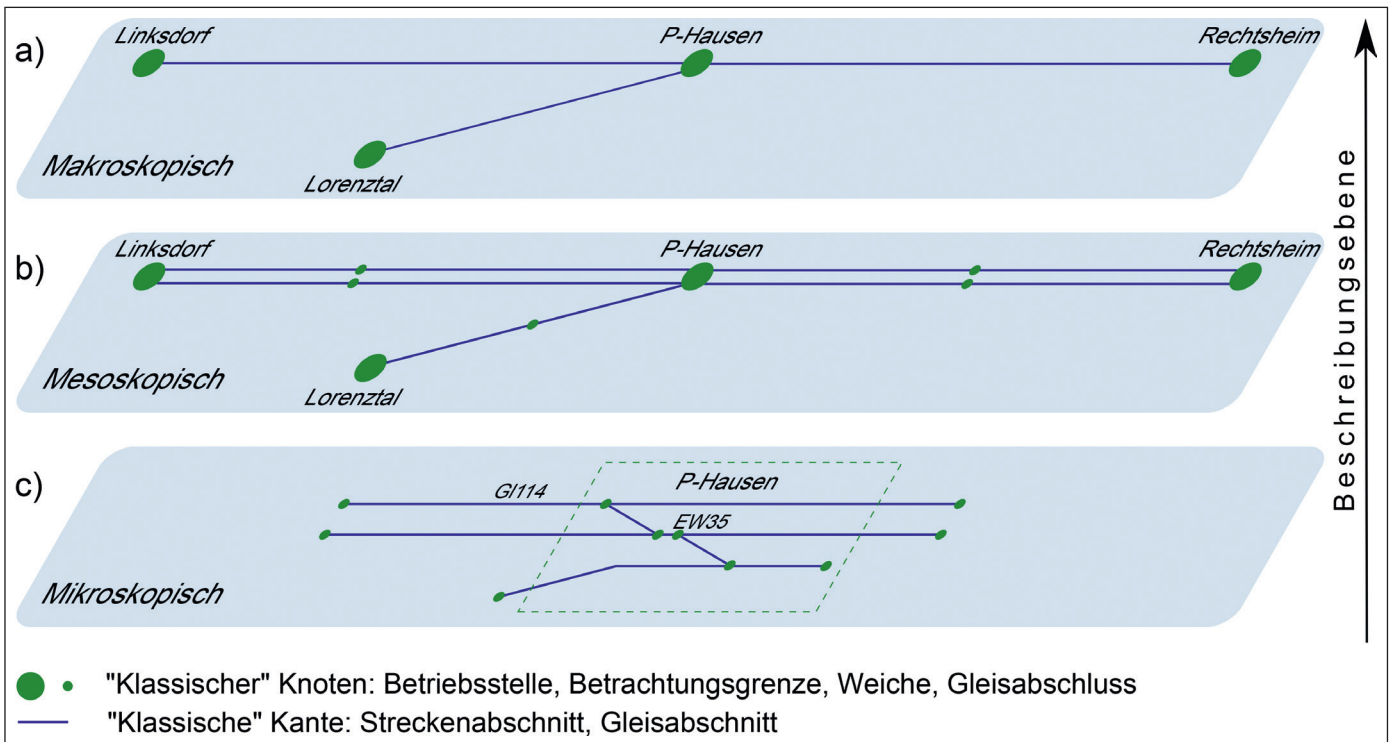


Abb. 3: Beispielbahnhof P-Hausen und Umgebung in verschiedenen Ebenen

**Begriffe und deren Bedeutung im RailTopoModel**

Wie im Abschnitt „Einführung in ausgewählte Konzepte für Gleisnetztopologien“ angemerkt, basiert das RailTopoModel auf dem Konzept des „Connexity Graph“. Für die anschließende Analyse werden ausgewählte Klassen des Rail-TopoModel in Abb. 2 dargestellt und im Folgenden erläutert.

Jegliche Infrastrukturressourcen, die für das topologische Netzwerk erforderlich sind, werden als NetElement (grün/blau) abgebildet, egal ob sie punktförmig (NonLinear-Element, violett) sind oder eine Längenausdehnung (LinearElement, grün) besitzen. Das NetElement entspricht somit einer

Abstraktion der „klassischen“ Knoten und Kanten.

Die unspezifische Relation (orange) wird wie folgt konkretisiert. Die Beziehung zwischen zwei NetElements wird als Positioned-Relation (orange) dargestellt. Das Attribut navigability gibt an, ob die Beziehung durch eine Zugfahrt ohne Richtungswechsel traversierbar ist.

Die Klasse CompositionNetElement (braun) wird für aggregierte NetElements benötigt, die dafür als elementParts (braun) modelliert werden. Auf diese Weise können z. B. mehrere NetElements der mikroskopischen Ebene zu einem NetElement der mesoskopischen Ebene zusammengefasst werden.

**Analyse anhand eines Anwendungsbeispiels**

Mithilfe eines Eisenbahn-Infrastrukturausschnitts soll nun beispielhaft gezeigt werden, auf welche Weise das RailTopoModel die aufgeführten Anforderungen erfüllen kann. Der Bahnhof P-Hausen wurde im PlanPro-Projekt auf Grundlage eines bestehenden Modells entwickelt und planerisch vollständig mit Einrichtungen der Leit- und Sicherungstechnik ausgerüstet.

Topologische Ausschnitte dieses Beispielbahnhofs werden in Abb. 3c) dargestellt und dienen als Grundlage der folgenden Analyse. Um Betriebssimulationen mit diesem Bahnhof zu ermöglichen, wird der Bahnhofsbereich auf

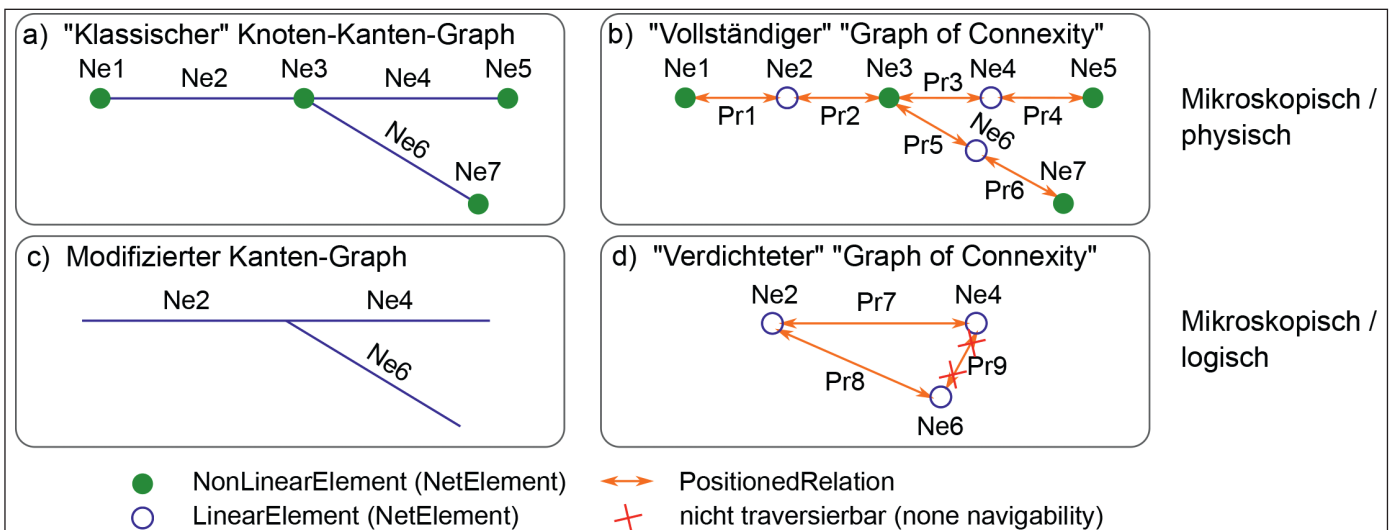


Abb. 4: Einfache Weiche EW35 in der mikroskopischen Ebene

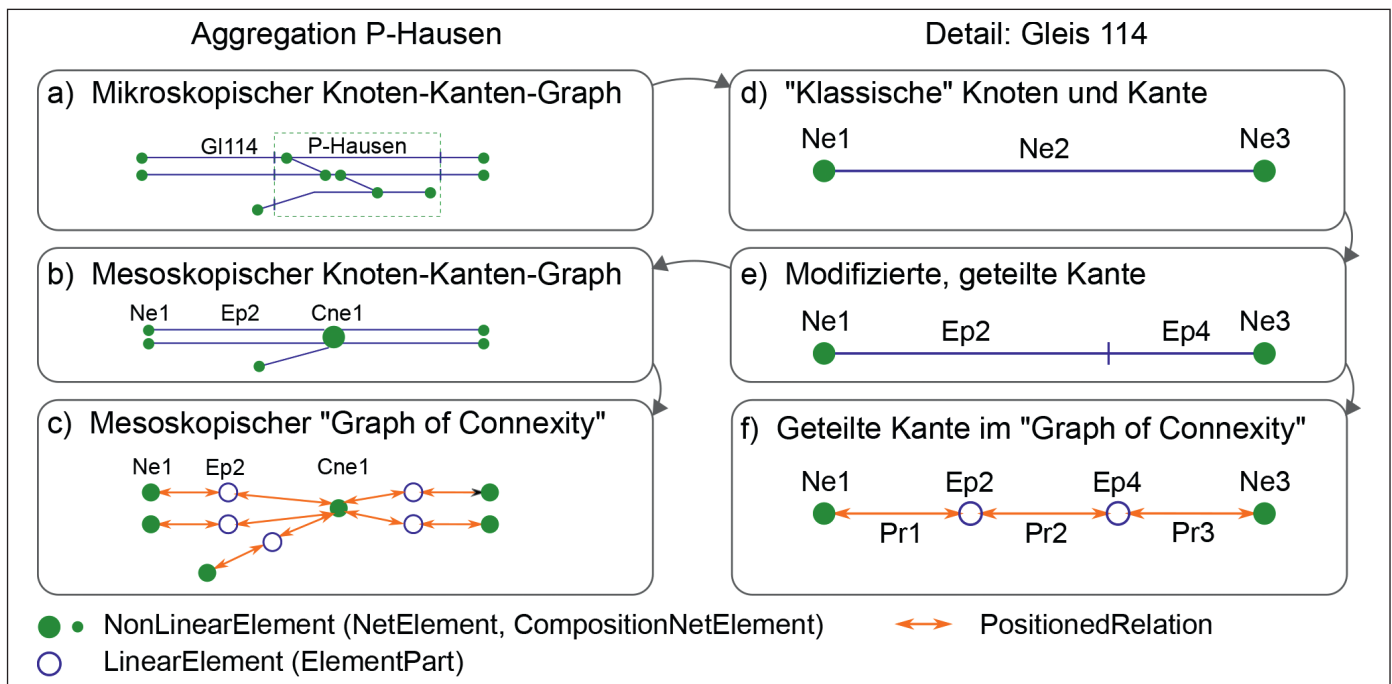


Abb. 5: Bahnhof P-Hausen in der mikro- und mesoskopischen Ebene

der mesoskopischen Ebene aggregiert und um Streckengleise zu den Nachbarbahnhöfen ergänzt, wie in Abb. 3b) gezeigt. Für strategische Planungen bzw. die Kundensicht auf den Eisenbahnbetrieb werden die Streckengleise auf der makroskopischen Ebene aggregiert (Abb. 3a).

#### Analyse anhand ausgewählter Details der Modellierung im RailTopoModel Traversierbarkeit des Graphen durch „Verdichtung“

Bei Eisenbahnen wird die Fahrwegverzweigung durch verschiedenartige Weichen oder selten durch Drehscheiben bzw. Schiebebühnen ermöglicht. Gegenüber den Knoten anderer Netzwerke, z.B. Vermittlungsstellen in Telefonnetzen, impliziert eine Weiche immer Fahrtausschlüsse zwischen anliegenden Kanten. Diese Information muss zusätzlich zur reinen Topologie eingeführt werden, um Routing-Algorithmen und spezielle Planungsaspekte ausreichend zu bedienen.

Die Abb. 4a) stellt die „klassische“ Knoten-Kanten-Topologie in der mikroskopischen Ebene dar, die in Abb. 4b) in die Topologie des „Graph of Connexity“ überführt wurde. Die Beziehungen zwischen den NetElements sind in allen Fällen in beide Richtungen traversierbar, da jeweils ein punktförmiges mit einem linearen NetElement verknüpft wird. Der Fahrtausschluss zwischen Ne4 (Stammgleis der Weiche) und Ne6 (Zweiggleis der Weiche) kann in diesem Fall nicht dargestellt werden.

Die Abb. 4c) zeigt eine modifizierte Kanten-Topologie in der logischen Betrachtungsweise der mikroskopischen Ebene, die entsprechend der Hinweise in [2] derart verdichtet wurde, dass die punktförmigen NetElements entfernt wurden. In Abb. 4d) werden die Be-

ziehungen der linearen NetElements untereinander dargestellt, wobei mit Pr9 definiert ist, dass zwischen Ne4 und Ne6 zwar eine Verknüpfung besteht, diese jedoch nicht traversierbar ist.

#### Aggregation zu einem punktförmigen NetElement inkl. Elementteilung

Die Aggregation eines Bahnhofes von der mikro- zur mesoskopischen Ebene spielt eine zentrale Rolle im RailTopoModel und unterscheidet dieses signifikant vom „klassischen“ Knoten-Kanten-Modell mit unflexiblen Ebenen. Abb. 5 zeigt die Verdichtung des Bahnhofes P-Hausen, so dass dieser auf der mesoskopischen Ebene dem punktförmigen NetElement Cne1 entspricht.

In der Abb. 5a) wird der Bahnhof P-Hausen mit seinen angrenzenden Gleisen in der mikroskopischen Ebene dargestellt. Mithilfe der nächsten Schritte wird er am gestrichelten Rahmen herausgelöst, dafür wird das Gleis 114 in den Abb. 5d) bis 5f) beispielhaft herausgestellt. Dieses durchgehende Gleis der mikroskopischen Ebene wird unterteilt in Bahnhof- und Streckengleis. Das NetElement Ne2 wird in die linearen ElementParts Ep2 und Ep4 getrennt und eine beidseitig traversierbare Beziehung Pr2 zwischen ihnen eingeführt. Das RailTopoModel erlaubt hierfür das direkte Verknüpfen von Kanten.

Wie in Abb. 5b) ersichtlich, wird Ep4 (Bahnhofsgleisanteil) in den Bahnhof Cne1 (P-Hausen) integriert, während Ep2 (Streckengleisanteil) in der mesoskopischen Ebene bestehen bleibt und eine beidseitig navigierbare Beziehung zu Cne1 erhält (Abb. 5c). Die in Cne1 zu integrierenden NetElements werden jeweils als ElementParts modelliert, auch wenn sie voll-

ständig in diesem CompositionNetElement zusammengefasst werden.

#### Ergänzung von „fremden“ Datensätzen

Das hiermit in die mesoskopische Ebene gehobene Gleisnetz kann nun mit weiteren Informationen angereichert werden. Beispielhaft wird in Abb. 6 gezeigt, wie die angrenzenden Bahnhöfe und weitere Streckengleise um den bisherigen Datensatz, der im gepunkteten Rahmen hervorgehoben wird, ergänzt werden. Der entsprechende „Graph of Connexity“ wird in Abb. 6b) dargestellt.

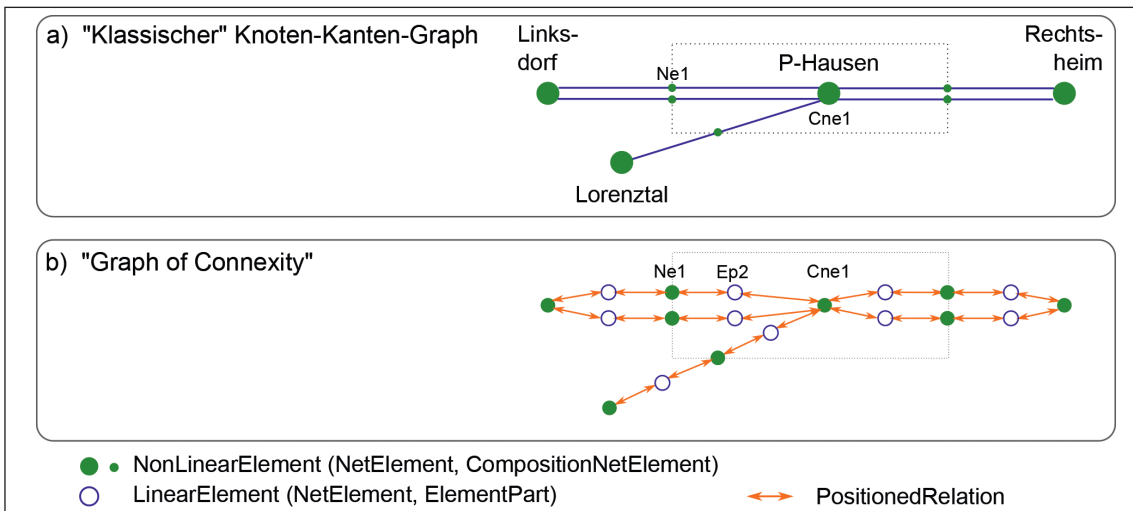
#### „Vertikale Navigation“ eines linearen CompositionNetElements

In Abb. 7 wird beispielhaft gezeigt, wie von einer höheren Ebene (Abb. 7a) in eine detailliertere Ebene (Abb. 7b) „abgestiegen“ werden kann. Dafür wird der Streckenabschnitt von Linksdorf nach P-Hausen von der makroskopischen Ebene zur mesoskopischen Ebene aufgelöst. Dabei offenbart sich, dass der Streckenabschnitt eine Aggregation zweier paralleler Gleise mit je einem Knoten ist.

Verfügbare Aggregationen können durch „vertikales Navigieren“ zwischen den Ebenen in ihre Bestandteile aufgelöst werden. Dabei werden keine NetElements unterteilt und somit keine neuen NetElements erzeugt, die im CompositionNetElement hinterlegten Referenzen zu den Bestandteilen werden lediglich abgerufen.

#### Implementierungsvarianten verschiedener Ebenen

Die vorliegende Fassung des RailTopoModel [2] überlässt der Implementierung, ob die Ebenen streng getrennt oder miteinander vermascht



**Abb. 6:** Ergänzung des Bahnhofs P-Hausen in der mesoskopischen Ebene

abgebildet werden. Abb. 8a) zeigt symbolisch die Trennung zwischen NetElements und den zugehörigen PositionedRelations in der makroskopischen (oberen) und mesoskopischen (unteren) Ebene. Zusätzlich wurde die UML-Symbolik zur Verdeutlichung der Aggregation eingeführt, um die vorhandenen „Ganzes-Teil-Beziehungen“ in Cne2 darzustellen.

Die nicht aggregierten NetElements (Cne1, Links-dorf) müssen in diesem Fall dupliziert und in LevelNetwork-Containern abgelegt werden. Abb. 8b) zeigt hingegen die vermaschte Implementierung der Ebenen. Dabei werden die NetElements Cne1 und Links-dorf, die für beide Ebenen zur Verfügung stehen, nicht dupliziert. Es erscheint für beide Varianten ausreichend, die Ebeneninformation in der PositionedRelation anzusiedeln, dazu gibt die Spezifikation jedoch keine Hinweise. Eine Nennung der Ebenenzugehörigkeit findet sich in keinem der Elemente, was in der Praxis eine Aggregation/Disaggregation erschwert, insbesondere falls mehr als zwei Ebenen in einer Datei geführt werden oder Ebenen streng getrennt modelliert werden.

**Zusammenfassung**

Anhand der durchgeführten „Verdichtung“ sowohl eines Streckenabschnitts als auch einer

Betriebsstelle konnte gezeigt werden, dass Aggregationen sowohl für punktförmige als auch für lineare NetElements erstellt werden können. Unterschiedliche Datensätze der gleichen Ebene können verknüpft werden. Unabhängig von der gewählten Ebene kann die Traversierbarkeit innerhalb der Ebene mithilfe des Entfernens der punktförmigen NetElements definiert werden. Für das „vertikale Navigieren“ wurden abschließend verschiedene Implementierungsansätze vorgestellt.

**Erkenntnisse der Analyse**

Das RailTopoModel erweist sich gegenüber dem „klassischen“ Knoten-Kanten-Modell (auf mikro- und makroskopischer Ebene) als deutlich flexibler und ermöglicht dadurch maßgeschneiderte Datensätze für verschiedene Nutzergruppen, die konsistent auf denselben Basisdaten aufbauen.

„Verdichtete“, logische Topologien (Abb. 5d) auf höheren Ebenen können Routing-Algorithmen zur Verfügung gestellt werden, damit diese die vorhandenen Datenbestände effektiv durchwandern können. Für die treffende Auswahl der parallel vorgehaltenen Topologien wären flexible Auszeichnungen (sogenanntes „Tagging“) für Relationen bzw. Aggregationen hilfreich.

Während die Implementierung getrennter Ebenen (Abb. 8a) einen Datenexport deutlich erleichtert, ist bei gemischten Ebenen (Abb. 8b) von einem geringeren Datenumfang auszugehen.

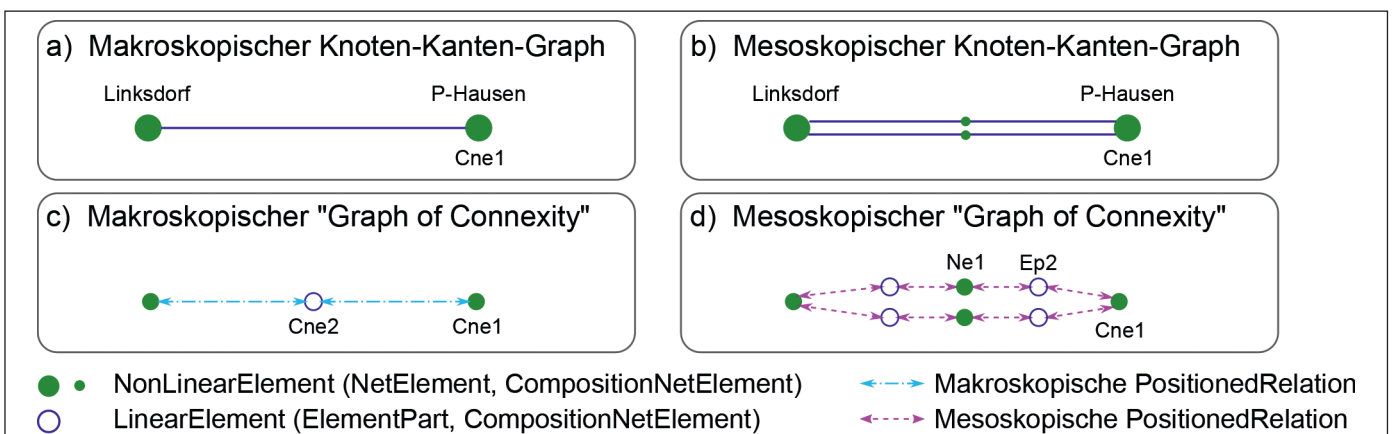
Obwohl in der vorliegenden Spezifikation des RailTopoModel [2] nicht unmittelbar ersichtlich, ist davon auszugehen, dass Änderungen in der detaillierten Ebene mithilfe von automatisch ausgelösten Methoden Anpassungen der topologischen Beschreibungen auf höheren Ebenen zur Folge haben. Auf diese Weise kann die Datenkonsistenz sichergestellt werden.

Parallel zur Erstellung von Datensätzen im RailTopoModel sind künftig Prüfungsmethoden zu evaluieren, die u. a. mögliche zirkuläre Referenzen zwischen verschiedenen Ebenen der Datenbestände aufdecken können, die zu Rekursionen führen würden.

**Ausblick**

**Neue Anwendungsfelder**

Die Einführung des RailTopoModel in Planungsprozessen würde bereits in frühen Planungsphasen eine Bereitstellung der Daten für Simulation und Fahrplanung ermöglichen. Die Abschluss- bzw. Bestandsdokumentation von



**Abb. 7:** Detaillierung eines Streckenabschnitts von makro- zur mesoskopischen Ebene

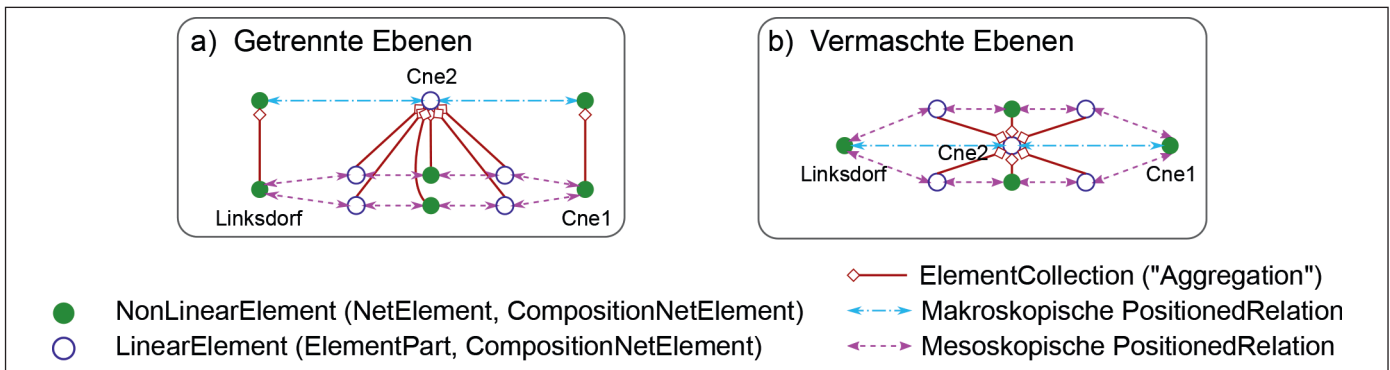


Abb. 8: „Graph of Connexity“ in verschiedenen Implementierungen

Baumaßnahmen könnte für das Fachgewerk selbst nachverfolgbar und jederzeit nutzbar abgelegt werden. Zudem stünden innerhalb kürzester Zeit aktuelle Daten für „fachfremde“ Abnehmer zur Verfügung, die darauf aufbauend einen zukunftsfähigen Betrieb absichern könnten.

Einheitliche Datenbestände von Planung über Bau und Instandhaltung bis zur Außerbetriebnahme bieten nicht nur Einsparungen in den betroffenen Abteilungen, sie erhöhen auch die Prozess- und Datenqualität. Diese Vorteile werden durch eine gemeinsame topologische Grundlage und deren flexible Ergänzung um gewerkespezifische Eigenschaften erreicht. Einen ähnlichen Fokus haben derzeit verschiedene Aktivitäten unter dem Stichwort „Building Information Modeling“ (BIM), die jedoch auf den Hochbau fixiert sind und noch nicht abschließend auf Schienenverkehrsinfrastruktur übertragen wurden.

Unter dem Vorbehalt einer weitergehenden Prüfung empfiehlt sich die Echtzeitsimulation in Gleisnetzen, die durch Navigation in den höchstmöglichen Abstraktionsebenen Rechenzeit spart und somit Auswirkungen betrieblicher Varianten zur Verfügung stellen könnte. Sogar Datenbestände benachbarter Betreiber oder Länder könnten in die Simulation integriert werden, ohne dass jegliche Aggregierungsdetails bekannt sein müssten.

### Nächste Schritte und offene Punkte

Mit der Veröffentlichung des IRS 30100 wurde eine solide Basis für die Implementierung des RailTopoModel geschaffen. Es ist vorgesehen, dass railML 3.0 als Datenaustauschformat mit seinen zahlreichen eisenbahnspezifischen Ergänzungen (Infrastruktur, Fahrzeug, Fahrplan, Umlaufplan) zur Verfügung stehen wird. In der Ankündigung [9] wird railML 3.0 als das Datenaustauschformat für das RailTopoModel zwischen verschiedenen Systemen, Betreibern und Ländern beworben.

Die Ergänzung des RailTopoModel um fachspezifische Punkt-, Längen- und Flächeninformationen ist noch zu spezifizieren. Dies ist eine dringend benötigte Grundlage, ohne die die

zukünftige Anwendbarkeit des RailTopoModel stark eingeschränkt wäre.

Für den Anwendungsfall des Datenaustauschs wäre aus Sicht der Autoren eine Empfehlung zur Identifizierung von Datensätzen über mehrere Systeme hinweg im Rahmen des IRS 30100 sehr hilfreich. Damit könnte das Zusammenführen verschiedener Datensätze auch für unterschiedliche zeitliche Gültigkeiten standardisiert werden. In diesem Zusammenhang könnte auch die Verknüpfung verschiedener gleichwertiger topologischer Netzwerke dargestellt werden. ■

### QUELLEN

- [1] Technische Universität Dresden: Data Notation and Modelling, Deliverable D3.4.1 des Projekts „CAPACITYRail“, TU Dresden, 2015
- [2] UIC: IRS 30100 – RailTopoModel – Railway infrastructure topological model, UIC, Paris, September 2016, <http://www.railtopomodel.org/en/> (Zugang mit Login), letzter Aufruf: 29.11.2016, 9:09 Uhr
- [3] Gély, L.; Dessagne, G.; Pesneau, P.; Vanderbeck, F.: A Multi Scalable Model Based On A Connexity Graph Representation, in Computers in Railways XII, Reihe: WIT Transactions on the Built Environment, WITpress, 2008, S. 193-204, DOI: 10.2495/CR080831
- [4] Wunsch, S.; Lehnert, M.; Krimmling, J.; Easton, J.: Datenformate, -modelle und -konzepte für den Eisenbahnbetrieb, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR, Heft 11/2016, S. 8-14
- [5] Netzwerk, <https://de.wikipedia.org/wiki/Netzwerk>, letzter Aufruf: 29.11.2016, 9:11 Uhr
- [6] Nash, A.; Hürlimann, D.; Schütte, J.; Krauß, V. P.: RailML – a standard data interface for railroad applications, WITPress in „WIT Transactions on State-of-the-art in Science and Engineering“, Computers in Railways IX, 2004, S. 233-240
- [7] Rahmig, C.: Railway Infrastructure Data Exchange with railML v3, 7th RailTopoModel and 30th railML conference, Paris, 3. November 2016, <http://www.railml.org/en/event-reader/id-7th-uic-railtopomodel-conference.html> (Zugang mit Login), letzter Aufruf: 30.11.2016, 9:51 Uhr

- [8] Deutsche Bahn Netze: PlanPro – die Zukunft der LST-Planung, 2015, [http://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/technik/innovationen/planpro/planpro\\_allgemein.html](http://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/technik/innovationen/planpro/planpro_allgemein.html), letzter Aufruf: 30.1.2016, 9:16 Uhr
- [9] UIC: Data Modelling, 5th RailTopoModel and railML conference, Paris, 4.-5. November 2015, <http://www.uic.org/com/uic-e-news/473/>, letzter Aufruf: 30.1.2016, 9:15 Uhr



### Dipl.-Ing. Susanne Wunsch

Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
susanne.wunsch@tu-dresden.de



### Birgit Jaekel

Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
birgit.jaekel@tu-dresden.de

beide Autorinnen  
Professur für Verkehrsleitsysteme und -prozessautomatisierung,  
Institut für Verkehrstelematik,  
Fakultät Verkehrswissenschaften  
„Friedrich List“, TU Dresden

DQS-zertifiziert nach ISO 9001 : 2008

## Technologie

Gesellschaft für Bauingenieurleistungen und Arbeitsvorbereitung mbH

### Verkehrsplanung

Eisenbahnbau  
Straßenbau  
Brückenbau

### Bauüberwachung

Bauoberleitung  
Bauüberwachung mit Zulassung DB AG  
SiGeKo

### Projektmanagement

Projektleitung  
Projektsteuerung

### Umwelt

Erkundungen  
Analytik  
Gutachten

Hausanschrift:  
Im Finigen 6 · 28832 Achim  
Tel.: 04202/97 77-0  
Fax: 04202/97 77-20

E-Mail:  
planung@technologiegmbh.de  
umwelt@technologiegmbh.de

www.technologiegmbh.de