

Datenformate, -modelle und -konzepte für den Eisenbahnbetrieb

Ausgewählte Ergebnisse des Arbeitspakets 3.4 im EU-Projekt Capacity4Rail

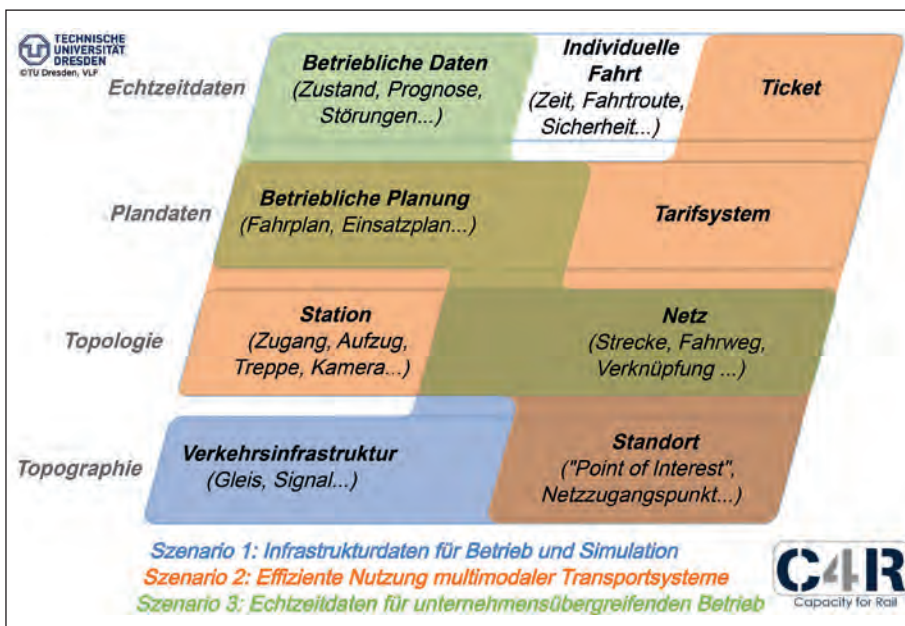


Abb. 1: Datenklassifizierung und Einordnung der Szenarien

Quelle: Eigene Darstellung nach [1]

SUSANNE WUNSCH | MARTIN LEHNERT |
JÜRGEN KRIMMLING | JOHN EASTON

Im Forschungsprojekt Capacity4Rail wurden im Teilprojekt 3 und dessen Arbeitspaket 3.4 die Möglichkeiten für universell verwendbare Daten im Eisenbahnbetrieb in verschiedenen Zeithorizonten untersucht. Ergebnisse dieses Arbeitspaketes werden vorgestellt. Neben einer Übersicht über aktuelle Datenformate, -modelle und -konzepte wird verstärkt auf die generell möglichen und nötigen, mittel- und langfristigen Entwicklungsziele eingegangen. Dazu werden drei Anwendungsszenarien als Untersuchungsrahmen für universelle Eisenbahndaten identifiziert und ausgehend vom Status quo hinsichtlich des Zielszenarios mit dem Zeithorizont 2050 betrachtet.

Datenaustausch im Eisenbahnbetrieb Allgemeine Anforderungen

Um einen zukunftsfähigen Datenaustausch im Eisenbahnbetrieb zu gewährleisten, der auf universellen Formaten, Modellen oder Konzepten aufbaut, sollten sie folgenden allgemeinen, gewerkeübergreifenden Anforderungen genügen:

- Eine geringe Anzahl führt zu preiswerteren Schnittstellen und geringerem Entwicklungsaufwand,

- standardisierte Datenformate senken die Hürden für den Datenaustausch und erleichtern das Erschließen neuer Märkte,
- eine fundierte Dokumentation minimiert Fehlinterpretationen und daraus resultierende Mehraufwände,
- ein großer Nutzerkreis ermöglicht vielfältige Anwendungs- und Praxistests in verschiedenen Regionen und Szenarien sowie
- OpenSource-Ansätze vereinfachen die Zugänglichkeit und senken die rechtliche Unsicherheit durch bereits anderweitig evaluierte Lizenzen.

Eine mögliche thematische Klassifizierung der Eisenbahndaten ist in Abb. 1 (adaptiert nach [1]) dargestellt. Darin sind die Wirkungsbereiche der oben genannten Szenarien, die später näher erläutert werden, farblich hervorgehoben. Die Topologiedaten eines Netzes spielen im Rahmen dieser Analyse offensichtlich eine entscheidende Rolle für alle drei Szenarien.

Datenformate und -modelle auf XML-Basis

Die eXtensible Markup Language (XML, deutsch: erweiterbare Auszeichnungssprache) wurde durch das World Wide Web Consortium (W3C) spezifiziert und definiert ein Datenformat in formaler Weise, welches für fachbezogene Sprachfamilien verwendet werden kann.

XML ist mit einer großen Anzahl an Dialekten in IT-Systemen weit verbreitet.

Während XML-Dateien einen Datenbestand repräsentieren, können XSD-Dateien als plattformabhängiges Datenmodell angesehen werden. Plattformunabhängige Modelle, bspw. hierfür erstellte UML-Klassendiagramme (Unified Modeling Language), ermöglichen hingegen eine Anwendung der Modelle über den XML-Datentransfer hinaus.

In Tab. 1 sind gängige XML-basierte Formate und Modelle im Eisenbahnbetrieb zusammengestellt. Deren Zuordnung zu den Szenarien erfolgt in Abb. 2.

Weitere Datenformate und -konzepte

Neben XML-basierten Formaten zum Datenaustausch gibt es historisch gewachsene, binäre oder CSV-basierte Datenformate bzw. generische Datenkonzepte, die ebenfalls die Anforderungen der Szenarien erfüllen. Dies sind im Eisenbahnsektor beispielsweise die Formate zur TAP TSI, im Bereich des ÖPNV das Format GTFS oder das generische Schlüssel-Wert-Konzept bei OpenStreetMap.

Sie werden in Tab. 2 umrissen und wiederum in Abb. 2 den Szenarien zugeordnet.

Semantische Datenkonzepte sowie Entwicklungstendenzen

Obwohl XML-basierte Formate bereits den Austausch semantisch ausgezeichneter Daten ermöglichen, wird seit einigen Jahren erst unter dem Begriff Semantic Web, später unter Linked (Open) Data gezeigt, dass neue Zusammenhänge durch geschickte Analyse verschiedenartiger, geeigneter Datenquellen automatisiert hergeleitet werden können. Dafür werden Begriffe bzw. deren einheitliche Bezeichner (URI) aus Wissensnetzwerken (Ontologien), die sowohl für Mensch als auch Maschine eindeutig sind, in die Daten eingeflochten.

Einige für den Eisenbahnbetrieb relevante Ontologien werden nachfolgend kurz vorgestellt und den Szenarien in Abb. 2 zugeordnet.

- **Semantic Railway Infrastructure RI*** – **Eisenbahninfrastruktur-Ontologie RI***: In [2] wird eine Eisenbahninfrastruktur-Ontologie RI* entwickelt, die darauf abzielt, infrastrukturelle Elemente und Zusammenhänge der Leit- und Sicherungstechnik zu überprüfen und zu korrigieren. Diese Ontologie besteht aus fachspezifischen, hierarchisch gruppierten Teilontologien,

Name	Version	Modell/Format	Entwicklung oder Definition durch/ lt. Verordnung/Gesetz	Themen	Quelle / Literatur	Anmerkungen
railML ⁽¹⁾	2.3	Format	Konsortium aus Eisenbahn-, Beratungs-, Industrie- und Softwareunternehmen sowie Universitäten und Bildungseinrichtungen	– Rollmaterial, – Infrastruktur, – Fahr- und Fahrzeugumlaufplan, – Leit- und Sicherungstechnik (ab Version 3)	[45, 46, 51]	– Versionen 1.0 und 1.1 selten, – Versionen 2.0 bis 2.3 weit verbreitet, – Version 3 in Entwicklung mit neuen Entwicklungsprinzipien basierend auf Use Cases und dem RailTopoModel
RailTopo-Modell (RTM) ⁽²⁾	1.0	Modell	UIC in Kooperation mit dem railML-Konsortium	Infrastruktur	[38, 46, 53]	– Version 1.0 im IRS 30100 veröffentlicht, – railML3 als Referenzimplementierung für den Datenaustausch vorgesehen, – berücksichtigt verschiedene Betrachtungsebenen der Infrastruktur (makroskopisch, mesoskopisch, mikroskopisch)
RINF ⁽³⁾	1.1	(Datenbank und) Format	EU-Richtlinie 2008/57/EC	Infrastruktur (der Hauptgleise)	[27, 31, 46]	– für den Austausch zwischen Mitgliedsstaaten und zentraler Datenbank
INSPIRE ⁽⁴⁾	4.0	(Datenbank und) Format	EU-Richtlinie 2007/2/EC	Verkehrsnetze (und weitere 33 Themenfelder)	[29, 40, 41]	– Fortschritt je nach Mitgliedsstaat unterschiedlich, – Ziel: öffentlich verfügbare Streckennetze für verschiedene Verkehrsträger
IDM ⁽⁵⁾	4.0	Modell und Format	VDV-Schrift 456	Infrastruktur	[39, 54]	– bei den Projektpartnern praxistauglich eingeführt, – für Planung, Konstruktion, Betrieb, Instandhaltung und Entsorgung von Eisenbahninfrastruktureinrichtungen
NeTEx ⁽⁶⁾	1.01	Modell und Format	Europäisches Komitee für Normung (CEN)	– Infrastruktur, – Fahrplan, – Fahrschein/Tarife	[26, 47, 52]	– basiert u. a. auf [23, 24], NEPTUNE, VDV-Schrift 452, – kombinierbar mit S _{IRI}
S _{IRI} ⁽⁷⁾	2.0	Format	Europäisches Komitee für Normung (CEN)	– Betriebliche Echtzeitinformation, – Fahrplan, – Anlagenmonitoring	[25, 33]	– eingeführt in europäischen Unternehmen des öffentlichen Verkehrs, – Referenzen zu NeTEx
TAF TSI ⁽⁸⁾	5.3.0	Format	EU-Verordnung 1305/2014	– Echtzeitmonitoring von Gütern und Fahrzeugen, – elektronischer Frachtbrief, – verkehrsträgerübergreifendes Management	[17, 18]	– Ziel: verkehrsträgerübergreifender Informationsaustausch im Güterverkehr, – S _{IRI} für den Austausch von Echtzeitinformationen vorgesehen
RTTP ⁽⁹⁾	–	Format	EU-Projekt On-Time – Arbeitspaket 4	– Echtzeitinformation – Fahrplan	[48]	– basierend auf weiteren Formaten, z. B. railML, – Demonstration und Testimplementierung

Fußnoten:
⁽¹⁾ railML ist ein eingetragenes Markenzeichen beim Amt der Europäischen Union für Geistiges Eigentum
⁽²⁾ ursprünglich UIC RailTopoModel
⁽³⁾ Register of Infrastructure
⁽⁴⁾ Infrastructure for Spatial Information in the European Community
⁽⁵⁾ Infrastruktur Daten Management für Verkehrsunternehmen
⁽⁶⁾ Public transport – Network and Timetable Exchange
⁽⁷⁾ Public transport – Service Interface for Real-time Information relating to public transport operation
⁽⁸⁾ Technische Spezifikation für die Interoperabilität zum Teilsystem „Telematikanwendungen für den Güterverkehr“ des Eisenbahnsystems
⁽⁹⁾ On-Time Real-Time Traffic Plan aus dem EU-Projekt „Optimal Networks for Train Integration Management across Europe“

Tab. 1: Übliche XML-basierte Formate und Modelle im Eisenbahnbetrieb

die durch Zuarbeiten gewerkespezifischer Experten gefüllt und verantwortet werden.

- **Railway Core Ontology (RaCoOn):**
RaCoOn wurde u. a. auf Basis von railML, RailTopoModel, Railway Domain Ontology (RDO) und National Public Transport Access Node (NaPTAN) entwickelt [3, 4]. Sie ist in vier verschiedene Ebenen gegliedert: die „upper“-Ebene für generelle Verkehrskonzepte (z. B. Geopositionierung, Einheiten, Dimensionen); darunter die Ebene „Railway Core“; danach die Untersetzungen mit den Grundlagen zu Infrastruktur, Fahrplan und Fahrzeugen; und als unterste Ebene die anwendungsspezifischen Modelle.
- **Transit-Ontologie:**
Die Transit-Ontologie beschreibt Begriffe der Fahrplanung, u. a. Verkehrssysteme, Linien, Haltestellen und Fahrpläne [5, 6, 7]. „Linked GTFS“-Daten stützen sich auf diese Ontologie.
- **NEPTUNE-Ontologie:**
Die NEPTUNE-Ontologie (Norme d'Échange Profil Transport collectif utilisant la Normalisation Européenne) basiert auf dem französischen Standard NFP-99506 und

beschreibt Begriffe der Fahrplanung [8, 9]. Der NeTEx-Standard baut u. a. auf den Konzepten von NEPTUNE auf.

- **Advanced Public Transport Services and Data (PTSaD):**
Die Ontologien für erweiterte Fahrgastinformationen werden für die Verknüpfung von Fahrplandaten mit anderen Quellen in Datennetzwerken verwendet. Ein Beispiel für diese Gruppe ist die Ontologie für Public Transport Services and Data, die eine Verknüpfung von touristisch-relevanten Daten mit Verkehrsdaten ermöglicht [10].
- **GetThere (Echtzeit-Fahrgastinformation für ländliche Gebiete)**
Fahrgastinformationen in ländlichen Gegenden können durch die ÖV-Nutzer selbst ermöglicht werden, indem die Fahrgäste während der ÖV-Nutzung ihre Ortungsinformationen auf eine Ontologiegestützte Weise bereitstellen. Beispielsweise wird in [11] eine Ontologie für GetThere beschrieben, die u. a. fehlende Ortungsinformationen des Fahrzeugs (GPS) durch die Datenerfassung der Fahrgäste (Smartphone etc.) ausgleicht.

Anwendungsszenarien für universelle Eisenbahndaten Szenarienwahl

Im Projekt Capacity4Rail wurden drei Anwendungsszenarien als repräsentative Beispiele und damit als Untersuchungsrahmen für universelle Eisenbahndaten identifiziert:

- Szenario 1: Konsistente und gewerkeübergreifende Infrastrukturdaten für Planung, Simulation und Betrieb,
- Szenario 2: Effiziente Nutzung multimodaler Transportsysteme und
- Szenario 3: Unternehmens- und länderübergreifende Echtzeit-Betriebsdaten.

Für diese Szenarien wurden die Entwicklungen in den Zeithorizonten 2020, 2030 und 2050 betrachtet [12]. Nachfolgend wird jeweils auf den Status quo und das Zielszenario mit dem Zeithorizont 2050 für alle drei Szenarios eingegangen.

Szenario 1: Infrastrukturdaten für Betrieb und Simulation

Allgemeine Anforderungen

Für eine bestmögliche Ausnutzung vorhandener Kapazitäten in Eisenbahnnetzen hat der betreiber- und gewerkeübergreifende In-

Name	Version	Modell/Format	Datenformat	Entwicklung oder Definition durch / lt. Verordnung / Gesetz	Themen	Quelle / Literatur	Anmerkungen
TAP TSI ⁽¹⁾	1.2.0	Format	verschiedene Dateiformate je nach Einzelspezifikation	EU-Verordnung 1371/2007 und EU-Richtlinie 2008/57	- Tarif, - Ticket, - Fahrplan, - Reservierungsnachrichten	[28, 30, 32]	Formate z. B. in Form von Festlängentexten, binären Formaten, XML-Formaten, UN/EDIFACT ⁽²⁾
GTFS ⁽³⁾	fortlaufend neu	Format	CSV-Dateien (GTFS feed)	- ursprünglich Google Inc., - heute: offene Entwicklergemeinschaft	- Fahrplan, - geographische Information	[34, 35, 37, 42, 44]	- kompatibel mit Google Transit, - weltweit verbreitet
GTFS-realtime ⁽³⁾	fortlaufend neu	Format	Binär-Datei	- ursprünglich Google Inc., - heute: offene Entwicklergemeinschaft	Echtzeitinformation	[36, 43]	- nur in Kombination mit GTFS verwendbar, - hauptsächlich in Amerika verbreitet
OSM ⁽⁴⁾	fortlaufend neu	(Datenbank und) Format	„Schlüssel-Wert-Paare“ (key-value-pairs) sowie Knoten, Kanten, Relationen	offene Entwicklergemeinschaft	Infrastruktur	[49, 50]	- Daten unter einer Open Data Commons Open Database Lizenz (ODbL) v1.0, - Kartenfunktion weit verbreitet, - Datenaquise und -pflege über Crowdsourcing, - unterschiedliche regionale Detaillierung

Fußnoten:

⁽¹⁾ Technische Spezifikation für Interoperabilität zu "Telematikanwendungen für Fahrgäste"

⁽²⁾ United Nations Electronic Data Interchange For Administration, Commerce and Transports

⁽³⁾ General Transit Feed Specification

⁽⁴⁾ OpenStreetMap und OpenRailwayMap (ehemals Bahnkarte)

Tab. 2: Weitere, nicht XML-basierte Formate und Modelle im Eisenbahnbetrieb

formationsaustausch eine erhebliche Bedeutung. Aus diesem Grund werden im ersten Szenario konsistente und gewerkeübergreifende Infrastrukturdaten für Planung, Simulation und Betrieb betrachtet. Typischerweise wird die Eisenbahninfrastruktur je nach Anwendungsbereich in verschiedenen topologischen Beschreibungsebenen betrachtet, die in Abb. 3 dargestellt werden. Auf der linken Seite sind in dieser Abbildung die typischen Nutzungen und deren Zuordnung zu den Ebenen erkennbar.

Analyse

Folgende Formate, Modelle und Konzepte könnten einen zukunftsfähigen Austausch unterstützen:

- railML / RailTopoModel,
- Infrastruktur-Daten-Management für Verkehrsunternehmen (IDM^{VU}),
- INSPIRE Transport networks,
- Register of Infrastructure (RINF),
- OpenStreetMap (OSM) / OpenRailwayMap,
- Railway Core Ontology (RaCoOn).

Während das XML-Format railML vor allem im Fahrplanbereich verbreitet ist, wird das RailTopoModel als Modellierungsbasis für „railML3-infrastructure“ entwickelt und weist erste erfolgreiche internationale Implementierungen auf [13]. IDM^{VU} ist auf Instandhaltungsbedürfnisse von ÖV-Betreibern fokussiert und in diesem Zusammenhang für die Prozesse des Eisenbahnbetriebs nur bedingt geeignet. Für INSPIRE und RINF wurden öffentlich dokumentierte Datenformate für die Abfrage zentraler Datenbanken entwickelt. OSM ist eine öffentliche Datenbank für Geodaten, zudem existieren vielfältige Visualisierungen dieser Geodaten in Form von Karten.

Status quo

Zwischen unterschiedlichen Softwareanwendungen, Unternehmen oder Unternehmensteilen werden verschiedene, betreiberspezifische, meist proprietäre Datenformate für den

Datenaustausch von Eisenbahninfrastrukturdaten verwendet.

Perspektive 2050 – Vernetzter und standardisierter Datenaustausch

Die langfristige Vision für den Zeithorizont 2050 geht davon aus, dass ein standardisiertes, offenes Datenformat bzw. -modell oder -konzept für einen konfliktfreien Austausch von Infrastrukturdaten zwischen den betreiber- und gewerkespezifischen Anwendungen verwendet wird. Über die Versionierung der Datenquellen sind Änderungen rückverfolgbar. Die verschiedenen Beschreibungsebenen werden vollständig nutzbar sein und ermöglichen ein situationsbezogenes, flexibles Navigieren sowohl zwischen den typischen Ebenen als auch zwischen konsistent definierten, anwendungsspezifischen Mischebenen (Abb. 4).

Für die betrachteten Datenformate ist eine Aggregation von mikroskopischer zu mesoskopischer Ebene nur für railML3 und OSM möglich. IDM^{VU}, INSPIRE und RINF sind auf mesoskopischer bzw. mikroskopischer Ebene nicht definiert.

Für die vorgesehenen Datenkonsistenztests wird in [14] ein Weg im Bereich der XML-Datenmodelle beschrieben. Er enthält nicht nur syntaktische Überprüfungen hinsichtlich XML-Schema-Definitionen sondern auch semantische Überprüfungen basierend auf den intrinsischen Beziehungen im Eisenbahnbereich. Dafür ist das Aufstellen von Schematron-Regeln für:

- allgemeine Regeln über das Eisenbahnsystem,
- zusätzlich spezifische Regeln für Datenformat und -modell (z. B. railML3 / RailTopoModel),
- zusätzlich anwendungsfall-spezifische Regeln und
- zusätzlich möglicherweise projektspezifische Regeln nötig.

Bezogen auf die Datenformate erfüllen das RailTopoModel in Verbindung mit railML3 die anspruchsvollen Anforderungen. Weiterhin ist für 2050 vorgesehen, dass das RINF-Format vollständig im RailTopoModel integriert ist.

Aufgrund der Unabhängigkeit von OSM und der Ehrenamtlichkeit der Mitarbeiter kann diese Datenbank zwar als Backup-Möglichkeit für Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) dienen, jedoch die eigene Datenhaltung nicht ersetzen. Gleichwohl können Aktualisierungen und Vervollständigungen in OSM in den Systemen des EIU genutzt werden.

Die Daten werden durch semantische Auszeichnungen mit Wissensnetzwerken (Ontologien), bspw. eine angepasste und erweiterte RaCoOn, verknüpft und ermöglicht dadurch eine Veredelung durch anderen Datenquellen. Ein Beispiel ist die Verknüpfung mit Daten der Wetterdienste, wie in [15] vorgestellt.

Szenario 2: Effiziente Nutzung multimodaler Transportsysteme

Allgemeine Anforderungen

Tür-zu-Tür-Mobilität umfasst im Allgemeinen eine Transportkette mit mehreren Verkehrsträgern. Insbesondere für die öffentlichen Verkehrssysteme sind detaillierte Informationen unabhängig vom aktuellen Verkehrsträger vor, während und nach der Reise von Interesse. Reisende benötigen vorrangig:

- Echtzeit-Fahrplanlage-Informationen,
- Stationsinformationen und
- Fahrpreisinformationen.

Neben ökologischen und ökonomischen Motiven spielen folgende Aspekte bei der Verkehrsmittelwahl eine wichtige Rolle:

- Aufwand zur individuellen Information über alternative Routen und Reiseketten,
- Verlässlichkeit der Informationen,
- Verfügbarkeit der Verkehrsmittel für die ausgewählte Fahrt und
- Komfort bezüglich notwendiger Umstiege.

Die Kundenzufriedenheit kann durch aktuelle, zuverlässige und leicht verfügbare Fahrgastinformationen erhöht werden. Sehr gut informierte Fahrgäste wechseln eher zu alternativen und ungewohnten Reisevarianten unter Berücksichtigung von Zeit, Kosten und

Komfort, während uninformierte Fahrgäste ihre gewohnte Fahrt mit bereits bekannten Verspätungen unternehmen.

Analyse

In Europa existieren mehrere Standards und Formate für Linienführung, Fahrpläne und Fahrpreise. Als bereits etabliert bzw. Option für die Zukunft wurden folgende Datenformate, Datenmodelle und -konzepte ausgewählt:

- GTFS,
- NeTEx,
- TAP TSI,
- railML / RailTopoModel,
- Transit-Ontologie,
- NEPTUNE-Ontologie,
- Ontologie für Fahrgastinformationssysteme (PTSaD) und
- durch semantische Datensensoren gewonnene Echtzeitdaten (GetThere).

Status quo

Wie in der EU-Initiative „All Ways Travelling (AWT)“ [16] herausgefunden, sind vor allem die Formate NeTEx, TAP TSI und GTFS für dieses Anwendungsszenario relevant.

Neben statischen werden dynamische Informationen, wie Echtzeitposition der Fahrzeuge oder ad-hoc-Betriebsänderungen für alle Verkehrsträger benötigt. Für multimodale Informationssysteme sind die Datenformate der verschiedenen Betreiber zu harmonisieren. Dies stellt hinsichtlich unterschiedlicher Tarifsysteme und Ticketoptionen sowie der damit einhergehenden Verrechnung der Einnahmen bei multimodalen Transportketten eine gewaltige Herausforderung dar, die im Rahmen von Verkehrsverbänden bereits erfolgreich gemeistert wurde.

Die Auswirkungen von Störungen und der Aufwand zu ihrer Beseitigung variieren je nach Verkehrsmittel. Während ein Unfall auf der Straße oft recht einfach umfahren werden kann, ist dies bei Bahnsystemen nicht möglich. Abgesehen von der Handhabung dieser betrieblichen Aspekte, erfordern die Informationsflüsse für den Fahrgast unabhängig vom Verkehrsträger die gleichen Inhalte. In Tab. 3 wird gezeigt, wie die gewählten Formate diesen Anforderungen gerecht werden.

TAP TSI orientiert sich an den Fahrgastrechten für Bahnreisende und scheint damit für multimodale Fahrgastinformation ungeeignet. GTFS und NeTEx sind für multimodale Anwendungen vorgesehen und bereits in Anwendung. NeTEx baut auf verschiedenen national etablierten Standards auf und stellt eine zukunftsfähige Lösung dar. railML bietet mit dem XML-Format gute Anknüpfungspunkte für die Datenintegration und Verlinkung aus anderen Quellen. Da es jedoch für den Datenaustausch in Eisenbahnsystemen vorgesehen ist, werden andere Verkehrsträger nur unzureichend berücksichtigt.

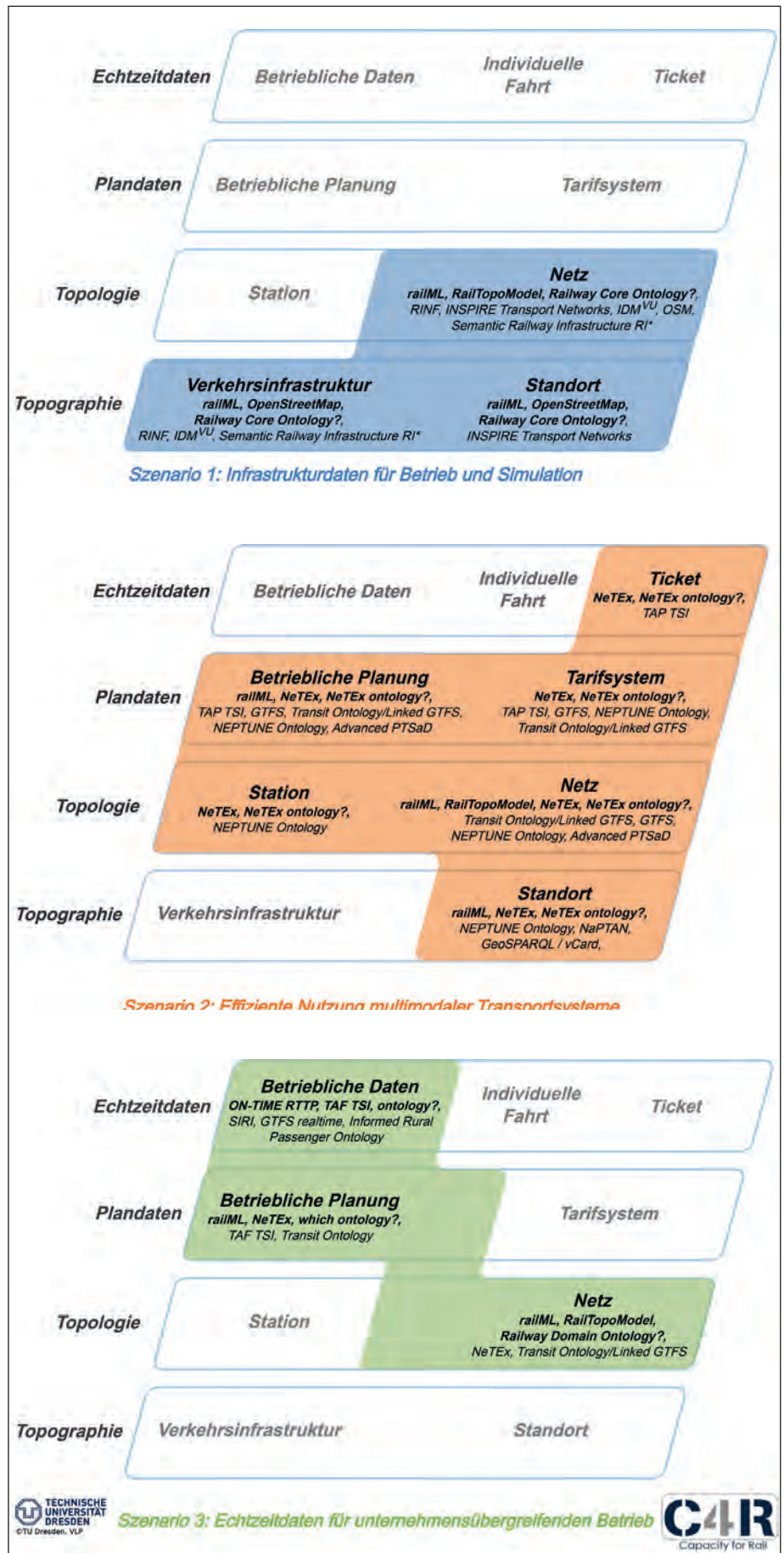


Abb. 2: Zuordnung der Datenformate, -modelle und -konzepte zu den Szenarien (empfohlene Auswahl fett gedruckt)

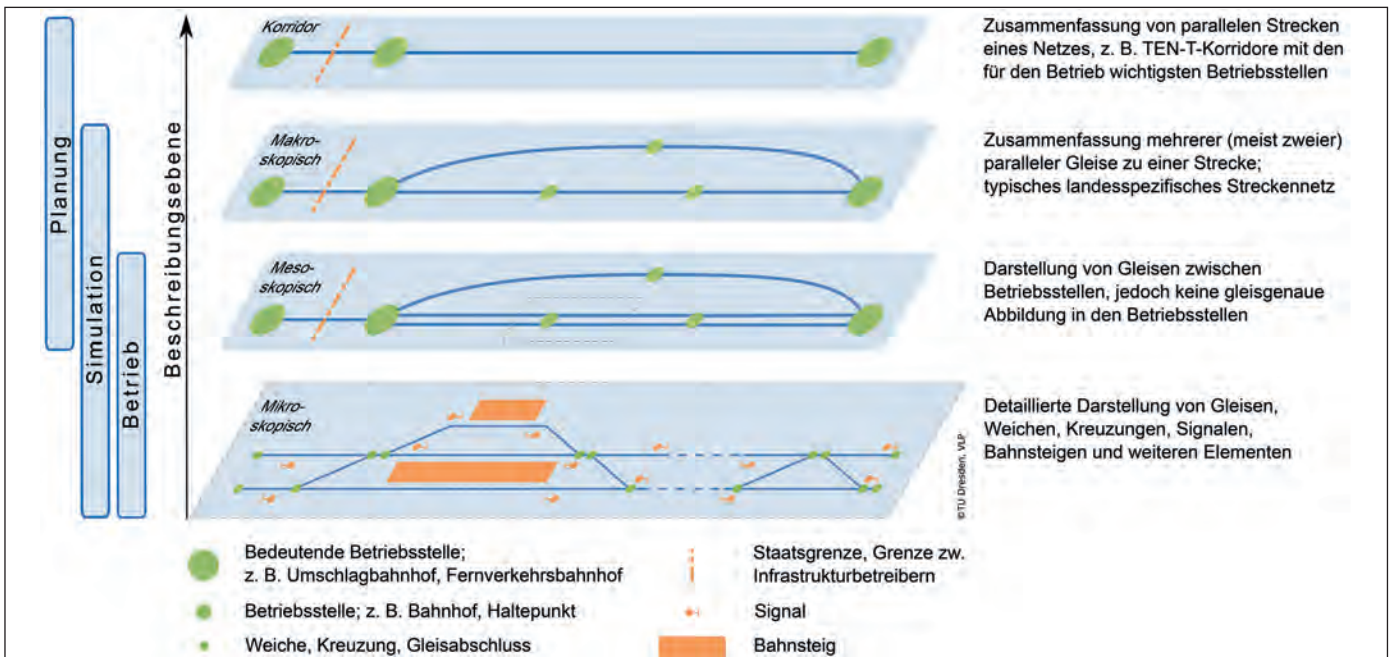


Abb. 3: Topologische Beschreibungsebenen der Eisenbahninfrastruktur

Eine Ergänzung von NeTeX mit railML und dem RailTopoModel kann die multimodale fahrgastzentrierte Sicht mit der eisenbahnspezifischen betrieblichen Sicht vereinigen und neue Anwendungen hervorbringen. Eine zusätzliche Verknüpfung über Linked-(Open)-Data-Technologien ermöglicht weitere Einsatzgebiete.

Perspektive 2050 – Kapazitätserhöhung durch etablierte Reisendenlenkung
 Fahrgäste lassen sich anhand von etablierten Fahrgastinformationssystemen mit verlässlichen Daten hinsichtlich einer optimalen Kapazitäts-

nutzung und unter Einhaltung ihrer persönlichen Randbedingungen lenken. Während die Reisendenführung bei Umstiegen bisher nur von einem Bahnsteig zu einem anderen Bahnsteig vorhanden ist, soll künftig eine kontinuierliche Führung vom Aussteigen aus einem Verkehrsmittel bis zum Sitzplatz im darauffolgenden Verkehrsmittel auf Basis von NeTeX-Daten erfolgen. Dabei können Umsteigezeiten verkürzt und Sitzplatzkapazitäten besser ausgenutzt werden. Verlässliche Betriebsdaten, z.B. bei Änderung des Bahnsteigs oder der Wagenreihung, erhöhen die Nutzerakzeptanz. Das eisenbahnspezifische Datenformat und -modell railML/Rail-

TopoModel wird hierfür mit NeTeX für die multimodale Echtzeitinformation verknüpft. Die Datenerfassung über Endgeräte der Reisenden im Rahmen von Ontologie-basierten Verfahren wird bei weniger modern ausgerüsteten Fahrzeugen helfen, Lücken in der Überwachung von Fahrzeugpositionen, Besetzungsgraden oder Umsteigewegen zu schließen. GTFS in Verbindung mit der Transit-Ontologie leistet dafür einen wichtigen Beitrag, der, ergänzt um NeTeX, das Handling komplexer Szenarios ermöglicht. Die Verantwortlichkeit und Haftung für die Daten ist ein wichtiger, nicht nur juristischer

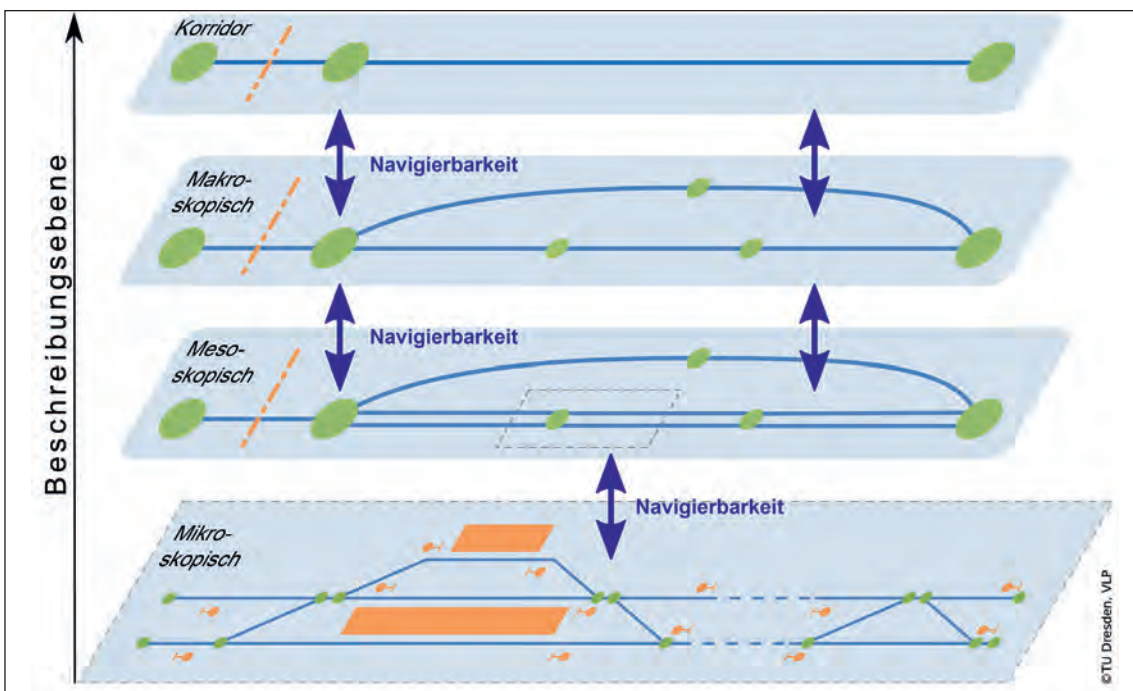


Abb. 4: Perspektive 2050 – Navigierbarkeit von Daten zwischen allen Ebenen

Aspekt, der im Projekt Capacity4Rail nicht untersucht wurde.

Szenario 3: Echtzeit-Betriebsdaten für unternehmensübergreifenden Betrieb

Allgemeine Anforderungen

Im dritten Szenario wird die Übergabe von betrieblichen Echtzeitdaten während der Fahrt zwischen verschiedenen EIU und Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU), auch über Ländergrenzen hinweg, betrachtet, die für die Betriebsoptimierung und Kundeninformation benötigt wird.

Betriebliche Plandaten, wie bestellte Trassen, Fahr- und Einsatzpläne, sind neben den Echtzeitdaten für die individuelle Prognose zukünftiger Betriebszustände erforderlich. Ein einheitliches Verständnis von Verspätungen und Verspätungsprognosen ist für eine effektive Nutzung der vorhandenen Infrastruktur, die möglichst in einer geeigneten Netztopologie verknüpft mit externen Datenbeständen für multimodale Transportketten vorliegt, entscheidend.

Für ein Echtzeit-Betriebsmanagement wird der aktuelle Zustand der Infrastruktur und Fahrzeuge benötigt, um nicht nur auf Abweichungen zu reagieren, sondern möglichst unerwünschte Auswirkungen in weiteren Netzbereichen frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden.

Analyse

Die Entwicklungsschritte dieses Szenarios wurden bereits im EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 09/2016 mit dem Blickwinkel auf das Störungsmanagement vorgestellt [15]. Als zukunftsfähig wurden folgende Datenformate, -modelle und -konzepte identifiziert:

- GTFS-realtime / GTFS,
- SIRI / NeTeX,
- TAF TSI,
- On-Time RTTP,
- railML / RailTopoModel und
- Ontologie-basierte Konzepte für Echtzeit-Betriebsdaten.

Status quo

Zwar erfolgt das Echtzeit-Betriebsmanagement bereits übergreifend in regionalen Betriebszentralen, eine durchgehende, diskriminierungsfreie Behandlung individueller Fahrten insbesondere über Betreiber- und Ländergrenzen findet kaum statt.

Die ausgewählten Datenformate helfen diesbezüglich folgendermaßen:

- GTFS-realtime (in Verbindung mit GTFS) fokussiert auf die Echtzeit-Fahrgastinformation für den multimodalen öffentlichen Personenverkehr, sieht jedoch keine eisenbahnspezifischen Prozesse, wie das Kuppeln und Trennen von Zügen, vor.
- SIRI (in Verbindung mit NeTeX) ermöglicht ebenfalls Echtzeitinformationen für den multimodalen öffentlichen Personenverkehr, jedoch nur an Haltestellen. Verschiedene Beschreibungsebenen bezüglich der Infrastruktur-

Anforderung	GTFS	NeTeX	TAF TSI	railML/ RailTopoModel
Fahrplan	Textdatei	flexibel	vorhanden	flexibel
Fahrpreis	Textdatei	flexibel	vorhanden, neue Konzepte nicht vorgesehen	nicht vorgesehen
Haltestellen	Textdatei	flexibel	vorhanden	flexibel
Koordinatensystem	WGS84	nicht vorgesehen	nicht vorgesehen	flexibel
Stationsaggregation	vorhanden	vorhanden	nicht vorgesehen	vorhanden
Zusatzinformationen	vorhanden	vorhanden	nicht vorgesehen	vorhanden
Navigationswege	nicht vorgesehen	vorhanden	nicht vorgesehen	nicht vorgesehen
Detaillierte Stationsbeschreibung	gering ausgeprägt	vorhanden	nicht vorgesehen	vorhanden

Tab. 3: Erfüllung der Anforderungen von den ausgewählten Datenformaten im Szenario 3

komponenten und ihrer Zustände sind nicht abbildbar.

- Für TAF TSI sind Entwicklungsziele beschlossen, die eine Implementierung von Echtzeitdaten vorsehen [17, 18, 19]. Da TAF TSI für die Harmonisierung des Güterverkehrs eintritt, sind die speziellen Bedürfnisse des Personenverkehrs nicht abgedeckt.
- Das RTTP-Datenformat des Projekts On-Time ermöglicht die Übertragung von auf die aktuelle Betriebssituation angepassten Kurzfristfahrplänen für Streckenabschnitte und Züge. Dafür werden die statischen Daten aus railML2.2-Dateien für Infrastruktur, Fahrplan und Fahrzeuge vorausgesetzt. Für eine Einbindung des RTTP in die Beschreibungsebenen im Rahmen von railML3/RailTopoModel sind Anpassungen notwendig. Zudem wird ein früher Entwicklungsstand für das railML-Stellwerksschema verwendet, dieser Informationsgehalt ist mit dem zukünftigen, offiziellen railML-Stellwerksschema abzugleichen. Das Format wurde im Projekt On-Time prototypisch implementiert und anhand verschiedener Szenarien erfolgreich demonstriert.

Perspektive 2050 – Echtzeitinformationen der gesamten Streckennetze für alle EVU Korrekte und konsistente Echtzeitdaten sind für alle direkt oder indirekt Betroffenen verfügbar und hinsichtlich Art der Information und Detaillierungsgrad auf verschiedenen Beschreibungsebenen harmonisiert. Die aktuellen Zustände der Infrastruktur werden dabei genauso berücksichtigt wie die der Fahrzeuge. Sowohl Zustands- als auch Prognosedaten werden über Länder- und Betreiber Grenzen hinweg allen EVU bereitgestellt.

Der On-Time RTTP wird als Ergänzung zum railML3-Standard unter Berücksichtigung der Beschreibungsebenen des RailTopoModel weiterentwickelt. Lücken bezüglich des Zustandes von Fahrzeugen werden – basierend auf den Erfahrungen mit der Echtzeitdatenerfassung über Smartphones der Fahrgäste [11] – geschlossen. Zugpositionen und Ankunftsprognosen für die künftigen Stationen werden als Open-Data verfügbar sein, während zusätzliche, betriebspezifische Informationen als Closed-Daten nur den EVU verfügbar gemacht werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Die drei Szenarien zeigen beispielhaft verschiedene Einsatzbereiche für den im Eisenbahnbetrieb benötigten Datenaustausch auf. Bereits etablierte Datenformate, -modelle und -konzepte wurden neben in der Entwicklung befindlichen Alternativen vorgestellt. Offene Formate und Modelle mit kommerziell verträglichen Lizenzen können sowohl von der Industrie als auch von Forschungseinrichtungen im Rahmen von Projekten zur Lösung aktueller Probleme weiterentwickelt werden und besitzen damit ein großes Potenzial für dynamische Entwicklung und weite Verbreitung. In der Abb. 2 sind die Datenformate, -modelle und -konzepte, die künftig für die verschiedenen Datenklassen empfohlen werden, fett gedruckt hervorgehoben.

Aus den Szenarien lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- Alle Transportprozesse hängen von einer soliden, skalierbaren Netztopologie ab, die verschiedene Detaillierungsebenen unterstützt. Das RailTopoModel erfüllt diese Anforderung und bringt mit railML3 ein flexibles, XML-basiertes Format als Referenzimplementierung mit. Die Evaluierung und Ergänzung vorhandener Infrastrukturdaten wird unter anderem

i

Zusatzinformationen

Das Forschungsprojekt Capacity4Rail ist eine durch die Europäische Union im Rahmen des 7. Forschungsrahmenprogramms geförderte und von der Industrie geführte Initiative mit 46 Partnern, die der Frage nachgeht, wie bezahlbarer, flexibler, automatisierter, belastbarer und leistungsstarker Bahnverkehr in den Zeithorizonten 2020, 2030 und 2050 erreicht werden kann.

Ein allgemeiner Überblick über das Projekt mit seinen Teilprojekten und Arbeitspaketen wurde bereits im EI-Beitrag „Störungsmanagement bei Extremwetter-Ereignissen“ [15] gegeben. Im Teilprojekt 3 stehen betriebliche Möglichkeiten für eine verbesserte Nutzung der vorhandenen Kapazitäten im Fokus.

durch Daten der crowd-sourced OSM-Datenbank ermöglicht.

- Es wurden verschiedene Initiativen gestartet, um den Austausch multimodaler Fahrgastinformation zu verbessern [16, 20, 21, 22]. Bestehende Systeme nutzen bisher nationale Datenformate. Ob sich NaTeX künftig zur Ablösung durchsetzt, wird sich zeigen. Die Notwendigkeit für eine Harmonisierung im länderübergreifenden Kontext ist jedoch unbestritten.
 - Fahrpläne werden sowohl von railML als auch von NeTeX unterstützt, wobei erstes die betriebliche Sicht, zweites die Fahrgastsicht fokussiert. Gleiche Daten können zwischen beiden Formaten konvertiert werden.
 - Betriebliche Echtzeitdaten und darauf gestützte Kurzfrist-Plandaten von EIU und EVU können über ein angepasstes RTTP-Format ausgetauscht werden. Dabei ist die Einbindung der railML-Community für eine kontinuierliche Weiterentwicklung und weite Verbreitung unerlässlich. Die Erfassung von Zustandsdaten mittels Linked-(Open)-Data-Technologien durch die Fahrgäste kann zur Ergänzung unvollständiger Echtzeitdaten herangezogen werden.
 - Für alle einzelnen Datenaspekte bieten entsprechende Ontologien Möglichkeiten der Veredlung mit Linked-(Open)-Data-Technologien. Eine weitere Entwicklung von Ontologien, die offene Datenformate, wie z.B. railML und NeTeX, unterstützen, wäre wünschenswert.
- Mit Blick in die Zukunft stellt sich künftig verstärkt auch die Frage der Verifikation von Eisenbahndaten. Hier bieten neben Methoden, wie Schematron [14], auch Ontologie-basierte Ansätze ein großes Potenzial. ■

Danksagung

Das Projekt Capacity4Rail wird durch die Europäische Union gefördert (Projektnummer SCP3-GA-2013-605650).

QUELLEN

- [1] Jutand, F.: Overture des données de transport, rapport remis au secrétaire d'État chargé des Transports, de la Mer et de la Pêche, 2015, http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/vf_rapport_2015.pdf, letzter Aufruf: 13.09.2016
- [2] Lodemann, M.; Luttenberger, N.; Schulz, E.: Semantic Computing for Railway Infrastructure Verification, in: 8th IEEE International Conference on Semantic Computing (ICSC), Irvine, 16.-18.09.2013, S. 371-376
- [3] Tutcher, J.; Easton, J. M.; Roberts, C.: Enabling Data Integration in the Rail Industry Using RDF and OWL – the RaCoOn Ontology, in: ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering, 2015, DOI: 10.1061/AJRUA6.0000859, Referenz: F4015001
- [4] Tutcher, J.: Ontology-driven Data Integration for Railway Asset Monitoring Applications, in: IEEE International Conference on Big Data, Washington 27.-30.10.2014, S. 85-95, DOI: 10.1109/BigData.2014.7004436
- [5] Davis, I.: Transit: A vocabulary for describing transit systems and routes, 2011, <http://vocab.org/transit>, letzter Aufruf: 14.09.2016
- [6] Mishevskva, E.; Najdenov, B.; Jovanovik, M.; Trajanov, D.: Open Public Transport Data in Macedonia, in: 11th International Conference for Informatics and Information Technology, Bitola, 11.-13.04.2014
- [7] Colpaert, P.; Byrd, A.: OpenTransport/linked-gtfs GitHub, 2015, <http://vocab.gtfs.org>, letzter Aufruf: 14.09.2016
- [8] Plu, J.; Scharffe, F.: Publishing and linking transport data on the Web, in: Proceedings of the First International Workshop on Open Data (WOD-2012), Nantes, 25.05.2012, S. 62-69
- [9] Plu, J.: NEPTUNE ontology, 2012, <http://data.lirmm.fr/ontologies/neptune>, letzter Aufruf: 14.09.2016
- [10] Keller, C.; Brunk, S.; Schlegel, T.: Introducing the Public Transport Domain to the Web of Data, in: Benatallah, B.; Bestavros, A.; Manolopoulos, Y.; Vakali, A.; Zhang, Y. (Hrsg.): Web Information Systems Engineering – WISE 2014, Proceedings of the 15th International Conference, Part II, Thessaloniki, 12.-14.10.2014, Springer: Cham, 2014, S. 521-530 (auch Reihe Lecture Notes in Computer Science, Band 8787)
- [11] Corsar, D.; Edwards, P.; Baillie, C.; Markovic, M.; Papangelis, K.; Nelson, J.: Short Paper: Citizen Sensing within a Real-Time Passenger Information System, in: Proceedings of the 6th International Workshop on Semantic Sensor Networks, Sydney, 22.10.2013, CEUR Workshop Proceedings Band 1063, S. 71-76
- [12] Technische Universität Dresden: Data Notation and Modelling – Deliverable D3.4.1, Projektbericht im Projekt Capacity4Rail, TU Dresden, 2015
- [13] UIC: Internetpräsenz RailTopoModel, 2016, <http://www.railtopomodel.org>, letzter Aufruf: 28.09.2016
- [14] Wunsch, S.: Constraining railML with Schematron and Experiences with ETD – Some outcomes of my diploma thesis, in: 17. railML-Konferenz, Zürich, 17.03.2010
- [15] Schindelhauer, A.; Wunsch, S.; Lehnert, M.; Krimmling, J.: Störungsmanagement bei Extremwetter-Ereignissen, in: El – DER EISENBahnNINGEM-EUR 09/2016, S. 151-155
- [16] All Ways Travelling (AWT) Consortium: All Ways Travelling – To develop and validate a European passenger transport information and booking system across transport modes (phase 1), Projekt-Abschlussbericht, 2014 (Referenz: MOVE/C2/SER/2012 489/SI2.646722)
- [17] Europäische Kommission: Verordnung Nr. 1305/2014 der Kommission vom 11. Dezember 2014 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität zum Teilsystem „Telematikanwendungen für den Güterverkehr“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 62/2006 der Kommission, 2014
- [18] Jugelt, S.: Telematics Applications for Passengers and Freight TAP/TAF TSI, in: 24. railML.org-Konferenz, Paris, 18.09.2013
- [19] European Railway Agency (ERA): TAF TSI - Where is my train?, in: Innotrans, Berlin, 2014
- [20] L'Agence Française pour l'Information Multimodale et la Billetique (AFIMB): Internetpräsenz chouette, 2016, <http://www.chouette.mobi>, letzter Aufruf: 16.09.2016
- [21] Google Inc.: Internetpräsenz Google Maps Transit, 2014, <http://www.google.com/transit>, letzter Aufruf: 16.09.2016
- [22] DB Vertrieb GmbH: Internetpräsenz Qixxit, 2016, <http://www.qixxit.de>, letzter Aufruf: 16.09.2016
- [23] Europäisches Komitee für Normung (CEN): Straßen- und Verkehrsstelematik – Öffentlicher Transport – Datenreferenzmodell (Transmodel V5.1), 2006 (Referenz: EN 12986:2006)
- [24] Europäisches Komitee für Normung (CEN): Intelligente Transportsysteme – Öffentlicher Verkehr – Identifizierung fester Objekte im Öffentlichen Verkehr (IFOPT), 2012 (Referenz: IFOPT EN 28701:2012)
- [25] Europäisches Komitee für Normung (CEN): Öffentlicher Verkehr – Serviceschnittstelle für Echtzeitinformationen bezogen auf Operationen im öffentlichen Verkehr (Siin) – Teil 1: Kontext und Grundstruktur, 2013 (Referenz: prEN15531-1:2013-10)
- [26] Europäisches Komitee für Normung (CEN): Öffentlicher Verkehr – Netzwerk- und Fahrplan-Austausch (NeTeX) Teile 1-3, 2014 (Referenzen: CEN/TS16614-1:2014, CEN/TS16614-2:2014, CEN/TS16614-3:2016)
- [27] European Railway Agency (ERA): Register of Infrastructure (RINF), 2016, <http://www.era.europa.eu/Core-Activities/Interoperability/Pages/RINF.aspx>, letzter Aufruf: 28.09.2016
- [28] European Railway Agency (ERA): TAP TSI: ANNEX B.2 Computer Generation and Exchange of Tariff Data Meant for International and Foreign Sales – Integrated Reservation Tickets (IRT), European Railway Agency, Interoperability Unit, 2015 (Referenz: ERA/TD/2009-05/INT)
- [29] Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE)
- [30] Jugelt, S.: Telematics Application for Passenger TSI TAP, in: 5. railML.org-Konferenz, Braunschweig, 26.03.2014
- [31] Richtlinie 2008/57/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2008 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Gemeinschaft
- [32] Verordnung (EG) Nr. 1371/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Rechte und Pflichten der Fahrgäste im Eisenbahnverkehr
- [33] Europäische Kommission: White Paper – Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system, 2011 (Referenz: COM(2011) 144 final)
- [34] Google Code: Google TransitDataFeed – PublicFeeds, 2015, <https://code.google.com/p/googletransitdatafeed/wiki/PublicFeeds>, letzter Aufruf: 13.09.2016
- [35] Google Developers: Static Transit, 2015, <https://developers.google.com/transit/gtfs>, letzter Aufruf: 13.09.2016
- [36] Google Developers: Realtime Transit, 2015, <https://developers.google.com/transit/gtfs-realtime>, letzter Aufruf: 13.09.2016
- [37] GTFS Data Exchange: Internetpräsenz, 2015, <http://www.gtfs-data-exchange.com>, letzter Aufruf: 13.09.2016
- [38] Gely, L.; Dessagne, G.; Pesneau, P.; Vanderbeck, F.: A Multi Scalable Model Based On A Connexity Graph Representation, in: Computers in Railways XI. WITpress, 2008 (Reihe: WIT Transactions on The Built Environment Bd. 103), DOI: 10.2495/CR080831
- [39] Fach- und Koordinierungsstelle IDM[®]: Internetpräsenz, 2016, <http://www.idmvu.org>, letzter Aufruf: 28.09.2016
- [40] INSPIRE: Infrastructure for Spatial Information in the European Community, 2015, <http://inspire.ec.europa.eu>, letzter Aufruf: 28.09.2016
- [41] INSPIRE Thematic Working Group Transport Networks: D2.8.I.7 Data Specification on Transport Networks – Technical Guidelines (v3.2), European Commission Joint Research Centre, 2014
- [42] Knowles, N.; Miller, P.: A Transmodel based XML schema for the Google Transit Feed Specification With a GTFS/Transmodel comparison, 2008, <http://www.normes-donnees-tc.org/wp-content/uploads/2014/05/TransmodelForGoogle-09.pdf>, letzter Aufruf: 13.09.2016
- [43] Massachusetts Bay Transportation Authority: Real-Time Data in GTFS-realtime Format, 2015, http://www.mta.com/riders_tools/developers/default.aspx?id=22393, letzter Aufruf: 13.09.2016
- [44] Meyer, D.: Open transport data in Germany? Not if you're not Google, 2012, <https://gigaom.com/2012/09/28/open-transport-data-in-germany-not-if-youre-not-google/>, letzter Aufruf: 13.09.2016
- [45] Nash, A.; Huerlimann, D.; Schütte, J.; Krauss, V.: railML – a standard data interface for rail-road applications., in: Computer in Railways IX (Comrail IX) 2004, S. 233-240, WITpress
- [46] Nissi, E.; Jeanmaire, A.; Seybold, B. et al.: Rail TopoModel and railML – The foundation for an universal Infrastructure Data Exchange Format, in: 24. railML.org-Konferenz, Paris, 18.09.2013
- [47] Network and Timetable Exchange (NeTeX): Internetpräsenz, 2016, <http://netex-cen.eu>, letzter Aufruf: 28.09.2016
- [48] Optimal Networks for Train Integration Management across Europe (On-Time): Tools for realtime perturbation management including human machine interface, Projektbericht, 2014 (Referenz: ONT-WP04-D-IFS-051-02)
- [49] OpenStreetMap: Wiki OpenStreetMap.org – OpenRailwayMap, 2014, <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/OpenRailwayMap>, letzter Aufruf: 13.09.2016
- [50] OpenStreetMap: Wiki OpenStreetMap.org, 2015, <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/OpenStreetMap.org>, letzter Aufruf: 13.09.2016
- [51] railML.org: railML.org-Software, 2016, <http://www.railml.org/en/introduction/software.html>, letzter Aufruf: 28.9.2016
- [52] Transmodel: Internetpräsenz, 2016, <http://transmodel-cen.eu>, letzter Aufruf: 28.09.2016
- [53] UIC: RailTopoModel – Railway infrastructure topological model, 01.04.2016 (Referenz: IRS 30100)
- [54] Verband deutscher Verkehrsunternehmen: VDV-Schrift 456 – Standardschnittstelle Infrastruktur-Daten-Management (IDMVU) Version 3.0 (2014-05), 2014



Dipl.-Ing. Susanne Wunsch

Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Institut für Verkehrstelematik,
Fakultät Verkehrswissenschaften
„Friedrich List“, TU Dresden
susanne.wunsch@tu-dresden.de



Dr.-Ing. Martin Lehnert

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Verkehrstelematik,
Fakultät Verkehrswissenschaften
„Friedrich List“, TU Dresden
martin.lehnert@tu-dresden.de



Prof. Dr.-Ing. Jürgen Krimmling

Professor für Verkehrsleitsysteme und
-prozessautomatisierung
Geschäftsführender Institutsdirektor
Institut für Verkehrstelematik,
Fakultät Verkehrswissenschaften
„Friedrich List“, TU Dresden
juergen.krimmling@tu-dresden.de



Dr. John Easton

Lecturer, School of Engineering,
The University of Birmingham
j.m.easton@bham.ac.uk