

# Projekt RIMcomb: Entwicklung neuer digitaler Methoden im Bereich BIM für die Ausrüstungstechnik

## The RIMcomb project: development of new digital tools in BIM for the equipment industry

Thomas Winkelbauer | Thorsten Hiebenthal

**M**it den in den Jahren 2015/2016 bei der Deutsche Bahn AG verstärkt aufgekommenen Forderungen nach Nutzung digitaler Planungsmethoden des Building Information Modeling (BIM) wurde bereits frühzeitig ersichtlich, dass diese Entwicklungen nicht auf die baulichen Verkehrsanlagen beschränkt bleiben würden, sondern auch ein hohes Effizienzpotenzial für die elektrische Bahnausrüstungstechnik beinhalten könnten.

### 1 Einführung

Aus dieser Erkenntnis heraus hat die Signon Deutschland GmbH, ein Tochterunternehmen des TÜV SÜD, bereits frühzeitig erste Überlegungen und kleinere Forschungsprojekte ins Leben gerufen, um die Digitalisierungsmöglichkeiten in den Planungsprozessen für die hochspezialisierten Fachgewerke

- Leit- und Sicherungssysteme,
- Oberleitungs- / Fahrleitungssysteme,
- elektrische Energieversorgungs- und Anlagensysteme und
- IT- / Telekommunikationsanlagensysteme

auf Basis der BIM-Methodik zu untersuchen.

Themen waren hierbei z. B. Digitalisierung von Planungsgrundlagen, Untersuchung vorhandener Softwaretools und deren Anpassung/Optimierung für zukünftige Anforderungen, Optimierungsmöglichkeiten durch stärkere Digitalisierung in den Planungsabläufen usw.

Anfang 2017 erhielt die Signon Deutschland GmbH zusammen mit der Technischen Universität München und der AEC3 Deutschland GmbH einen Forschungsauftrag der Bayerischen Forschungsförderung unter dem Titel „RIMcomb: Rail Information Modeling für die Ausrüstungstechnik von Bahninfrastruktur“.

Das Forschungsvorhaben RIMcomb hat zum Ziel, neue computer-gestützte Methoden für die modellgestützte, gewerkeübergreifende Planung von Bahnanlagen mit Fokus auf die Ausrüstungstechnik zu entwickeln, um auf diese Weise sowohl die Planungseffizienz als auch die Planungsqualität deutlich zu steigern. Das Forschungsprojekt hat eine Laufzeit von drei Jahren.

Ziel ist die Erforschung eines ganzheitlichen IT-Ansatzes zur Unterstützung der kooperativen, gewerkeübergreifenden Planung der Ausrüstungstechnik von Bahninfrastruktur. Kern des verfolgten Ansatzes ist die Schaffung eines herstellerneutralen Datenmodells, das die Beschreibung von Gleisanlagen und Ausrüstungstechnik und das Ableiten von Sichten mit unterschiedlichen Abstraktionsstufen erlaubt – von der 2D-Darstellung der Gleis-topologie bis hin zur hochdetaillierten 3D-Repräsentation. Die BIM-Methodik bildet dabei eine Grundlage für die zu definierenden Ablauf- und Aus-

**G**iven the growing demand in 2015/2016 for the use of digital planning methods in Building Information Modeling (BIM) at Deutsche Bahn AG, it became clear at a very early stage that such developments would not be limited to structural traffic facilities, but could also entail a high efficiency potential for electric rail equipment technologies.

### 1 Introduction

Based on this insight, Signon Deutschland GmbH, a subsidiary of TÜV SÜD, took the matter under early consideration and started a number of small research projects to study the opportunities for digitising the planning processes in highly specialised railway equipment systems such as

- signalling systems
- contact line / catenary systems
- power supply systems and
- IT / telecommunication systems

based on the BIM methodology.

The topics included, among other things, the digitisation of design documents, an analysis of the existing software tools and their adaptation to / optimisation for future requirements, the options for optimisation using the increased digitisation of planning procedures, etc.

At the beginning of 2017, Signon Deutschland GmbH, the Munich Technical University and AEC3 Deutschland GmbH received a joint research contract from the Bavarian Research Foundation called “RIMcomb: Rail Information Modeling for Railway Infrastructure Equipment Technology”.

The RIMcomb research project calls for the development of new computer-aided methods for the model-based, cross-system planning of rail facilities with a clear focus on equipment technology and significant increases in both planning efficiency and quality. The research project will run for three years.

The objective is to research a holistic IT approach to support the cooperative, cross-system planning of rail infrastructure equipment. The core of the adopted approach involves the creation of a vendor-neutral data model which enables the description of track systems and equipment technology and the subsequent derivation of views thereof with different levels of abstraction – from 2D representations of track topologies through to highly detailed 3D representations. The BIM methodology is also used as the basis for the process and exchange procedures which are to be defined. Using this data model, it is intended to design and develop a platform which

tauschprozeduren. Auf Basis dieses Datenmodells soll eine Plattform konzipiert und entwickelt werden, die die Konsistenz der Repräsentationen sicherstellt und die kollaborative Planungsarbeit auf der Grundlage synchronisierter Fachmodelle erlaubt. Für den Abgleich der Fachmodelle sollen neuartige Methoden zur Übermittlung von Modelländerungen („Patching“) entwickelt werden. Darüber hinaus werden Verfahren zur Beschreibung und Prüfung der bei der Planung von Ausrüstungstechnik geltenden Regeln entwickelt, um die Planung einer teilautomatisierten Überprüfung unterziehen zu können. Ein weiterer wichtiger Aspekt des Forschungsprojektes ist die Untersuchung von Möglichkeiten für eine korrekte digitale Erfassung des Anlagenbestandes, welcher zwingend als Planungsgrundlage für ein erfolgreiches Projekt vorliegen muss. Im Forschungsprojekt wird daher auch die Weiterentwicklung von Methoden zur Erzeugung von semantisch angereicherten 3D-Modellen aus Punktwolken, die mittels Laserscanning oder Photogrammetrie gewonnen werden, bzgl. des Aufwands und Nutzens, Fehlerraten, Nachhaltigkeit und Weiternutzungsfähigkeit untersucht.

Das Projekt wurde aufgrund seiner Vielschichtigkeit in zeitlich aufeinander aufbauende Arbeitspakete (AP) unterteilt:

- AP1 Analyse der Planungsprozesse aller Ausrüstungsgewerke
- AP2 Erstellen eines Datenmodells für die elektrische Bahnausrüstungstechnik
- AP3 Datenaufnahme und Modellgenerierung
- AP4 Automatisierte Plausibilitätskontrolle
- AP5 Methoden zur Konsistenzsicherung
- AP6 Datenplattform RIMcore
- AP7 Kopplung existierender Systeme.

Aktuell hat das Forschungsprojekt 65 % seiner Projektlaufzeit absolviert und kann bereits grundsätzliche Ergebnisse vorweisen, welche schon auf der Innotrans 2018 auf erhebliches Interesse gestoßen sind. Derzeit sind die Arbeitspakete 1 bis 3 abgeschlossen und die Arbeitspakete 4, 5 und 6 befinden sich in einer fortgeschrittenen Bearbeitungsphase.

## 2 Aktueller Sachstand

Zum Frühjahr 2019 wurde der nachfolgende Sachstand im Forschungsprojekt RIMcomb festgestellt und der Bayerischen Forschungsförderung vorgestellt.

### 2.1 AP1 Analyse der Planungsprozesse aller Ausrüstungsgewerke

Die Analyse von Planungs- und Instandhaltungsprozessen für die oben genannten vier Ausrüstungsgewerke ist bereits abgeschlossen. Es wurde ein Abbildungstemplate bzgl. des IST-Zustandes (ohne BIM-Methodik) und ein aktuell realisierbarer SOLL-Zustand (unter Beachtung der BIM-Methodik) erstellt und mit Analyseergebnissen gefüllt. Dies wurde in Form von Prozesslandkarten dokumentiert. Bei der Analyse wurden Ablaufprozesse innerhalb eines Gewerkes sowie übergreifende Austauschprozesse betrachtet und mögliche Anwendungsfälle herausgearbeitet.

Die Prozesslandkarten (Bild 1) bilden neben dem gesamten Lebenszyklus fokussiert die Planungsphasen der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI – Lph 1 bis 9) ab.

### 2.2 AP2 Erstellen eines Datenmodells für die elektrische Bahnausrüstungstechnik

Ziel des AP2 war es, BIM-Anwendungsfälle zu identifizieren, softwaretechnisch abzubilden und nachhaltige Strukturen von Elementen, Geometrien und Attributen aufzustellen. Hierfür wurde die webbasierte Datenbank BIMQ (Product owner: AEC3) genutzt und an die Anforderungen und Spezifika der Bahnausrüstungstechnik angepasst.

ensures the consistency of the representations and allows for collaborative planning work based on synchronised sector planning models. New methods of transmitting model changes (“patching”) are to be developed for the coordination of the different planning models. In addition, procedures are also being developed to describe and test the rules applying to the equipment technology design in order to allow for a semi-automated check of the planning. Another important aspect of the research project involves an investigation into the possibilities of the correct digital recording of system inventories, which must necessarily be available as the planning basis for any project to be successful. Therefore, the research project is also looking into the further development of methods of generating semantically enriched 3D models consisting of scatter diagrams obtained by means of a laser scan or photogrammetry in order to determine the costs and benefits, error rates, sustainability and further usability.

Due to its multidimensional nature, the project has been divided into sequential work packages (AP) which are built upon each other:

- AP1 Analysis of the planning procedures for all equipment technology trades
- AP2 The creation of a data model for electrical rail equipment technology
- AP3 Data collection and model generation
- AP4 The automated plausibility check
- AP5 Methods of protecting consistency
- AP6 The RIMcore data platform
- AP7 Coupling existing systems.

At this moment, the research project has completed 65 % of its project duration and is already showing basic results, which were met with considerable interest at Innotrans 2018. Work packages 1 to 3 have been completed and work packages 4, 5 and 6 are in an advanced stage of processing.

## 2 The current state of affairs

In the spring of 2019, the status of the RIMcomb research project was presented to the Bavarian Research Foundation as follows:

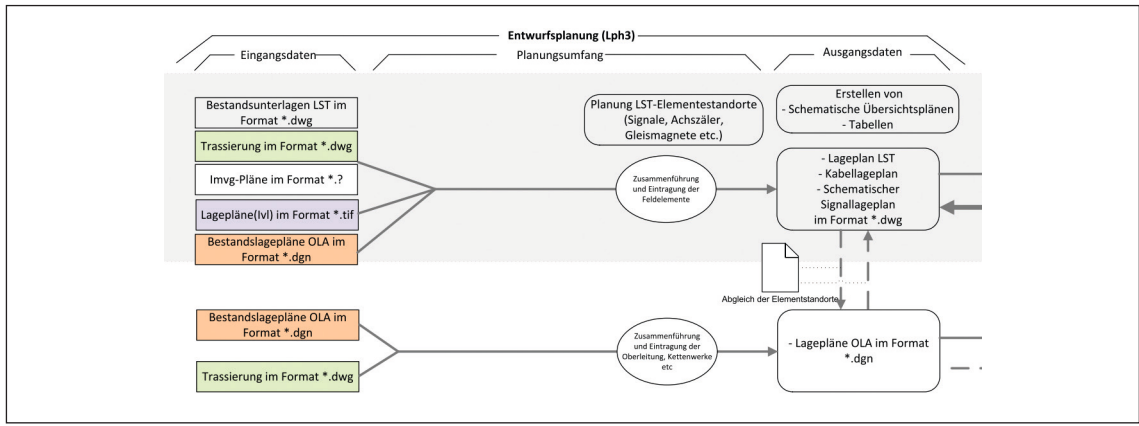
### 2.1 AP1 Analysis of the planning procedures for all equipment technology trades

The analysis of the planning and maintenance processes for the four aforementioned equipment trades is complete. A mapping template showing the CURRENT state (without the BIM methodology) and a currently feasible TARGET state (using the BIM methodology) has been filled with the analysis results. This has been documented in the form of process maps. The analysis has also considered the process flows within a trade as well as any cross-system exchange processes and it has identified potential use cases.

In addition to the entire life cycle, the process maps (fig. 1) also focus on the planning phases according to HOAI (Lph 1 to 9).

### 2.2 AP2 The creation of a data model for electrical rail equipment technology

The goal of AP2 was to identify BIM use cases, to map them in software and to set up sustainable structures of elements, geometries and attributes. The web-based BIMQ database (product Owner: AEC3) was used to this end and adapted to the requirements and specifications of the rail equipment technologies.



**Bild 1: Auszug aus Prozesslandkarte IST-Zustand (ohne BIM-Anteil)**  
 Fig. 1: An extract from the ACTUAL state process map (without BIM content)

Es liegt nunmehr eine vollständige Attributstruktur für verschiedene Anwendungsfälle, Leistungsphasen und Elemente/Objekte auf der Grundlage planerischer Erkenntnisse vor. Weitergehende Abstimmungen und Untersuchungen mit Bahnunternehmen zur Konkretisierung dieser Objektattribute (LoI – Level of Information) für die Ausrüstungsgewerke sind aktuell nicht Bestandteil des Forschungsauftrages.

Mit den vorliegenden Attributstrukturen sind verschiedene Programmausgaben und Formate möglich (Bild 2).

Die Attribute der Ausrüstungstechnik wurden mit den bestehenden IFC (Industry Foundation Classes)-Standardstrukturen verknüpft, sodass sich hieraus eine Zuordnung für die Datenübergaben der Ausrüstungstechnik zwischen verschiedenen Programmen mittels IFC-Schnittstelle ermöglichen lässt. IFC steht hierbei für einen openBIM-Schnittstellenstandard zwischen verschiedenen Softwareprogrammen auf der Grundlage der ISO16739.

Hieraus ergab sich folgendes (Bild 3) UML (Unified Modeling Language)-Diagramm, aus welchem die Vernetzungs- und Vererbungsstruktur ersichtlich wird.

Hiermit ergeben sich nunmehr gesicherte Aus- und Übergabemöglichkeiten durch die eingesetzte online-Datenbank BIMQ, z. B. mit der Möglichkeit der Ausgabe einer vorformatierten AIA (Auftraggeber-Informationsanforderung) in einem eigenständigen Dokument. Erforderliche strukturelle Änderungen bei Anforderungsänderungen (z. B. Anwendungsfälle, Elemente, Attribute etc.) lassen sich übersichtlich in der Datenbank durchführen und eine geänderte AIA zeitnah erstellen.

Die in der Datenbank zugeordneten IFC-Attribute entsprechend dem Standard IFC 4 Add2 können bei Bedarf in der AIA ebenfalls mit übergeben werden, um entsprechende Anforderungen an die IFC-Austauschschnittstelle zwischen verschiedenen Softwareprogrammen als Grundlagen zu dokumentieren.

There is now a complete attribute structure for different use cases, performance phases and elements/objects based on the findings. Further coordination and studies with rail operators aimed at the further substantiation of these object attributes (level of information) for the equipment trades are not currently part of the research contract.

The current attribute structures afford different program outputs and formats (fig. 2).

The attributes of the equipment technology were linked to the existing IFC (Industry Foundation Classes) standard structures. This allows for the assignment of the equipment data to be transferred between different programs using an IFC interface. In this case, IFC stands for an open BIM interface standard between different software programs based on ISO16739. This has resulted in the following UML diagram (fig. 3), which depicts the network and hereditary structure.

This has resulted in secure delivery and transfer options thanks to the online BIMQ database, i.e. the option of outputting a pre-formatted AIA (customer information requirement) in a separate document. Required structural changes in the case of requirement changes (i.e. use cases, elements, attributes, etc.) can easily be carried out in the database and the modified AIA can be created in a timely manner.

Where necessary, the IFC attributes assigned in the database according to the IFC 4 Add2 standard can also be transferred within the AIA to document the respective requirements for the IFC exchange interface as the basis between different software programs.

Furthermore, the object attributes pre-configured in the database for the respective use cases or performance phases can also be transferred as a shared parameter to the BIM software's Revit Autodesk. Revit uses such shared parameters to

Anforderungen für IT/TK-Modell (IT-/Telekommunikationsanlagen)		Code	Lph0-6	Lph2-6	Lph3-1	Lph3-6	Lph5-1	Lph5-6	Lph9-6
▲	■ Anschlussdosen/-verbinder	8.4							
▲	■ Geometrie	7.0	x		x		x	x	x
	■ LOG100	7.01	x						
	■ LOG200	7.02	x		x		x	x	
	■ LOG300	7.03							x
	■ LOG400	7.04							x
	■ LOG500	7.05							x
▲	■ RIMComb - Eigenschaften Befestigung	2.0	x		x		x	x	x
	■ Befestigungshöhe (Unterkante)	2.01	x					x	x
	■ Befestigungshöhe (mittig)	2.03	x		x		x	x	x
	■ Höhe über NN	2.02	x						x
▲	■ RIMComb - Eigenschaften allgemein	1.0	x		x		x	x	x
	■ Ausrüstungsgewerk	1.01	x		x		x	x	x
	■ Ausrüstungssystem	1.02	x		x		x	x	x
	■ Ausrüstungsuntersystem	1.03	x		x		x	x	x
	■ Bahnhof, Haltepunkt	1.04	x		x		x	x	x

**Bild 2: IT/TK-Modell: Anforderungen in BIMQ, entsprechend Anwendungsfall und Leistungsphase**  
 Fig. 2: The IT/TK Model: the BIMQ requirements based on the application and performance phase

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für TU München /  
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten  
 genehmigt von DW Media Group, 2019



Des Weiteren können die für die jeweiligen Anwendungsfälle bzw. Leistungsphasen in der Datenbank vorkonfigurierten Objektattribute als Shared Parameter an die BIM-Software Autodesk Revit übergeben werden. Diese Shared Parameter dienen im Revit der Ergänzung der vorgegebenen Familienkategorien und können den einzelnen Objekten/Modellen zugeordnet werden. Eine schnelle Zuordnung bzw. Modifikation der Attribute ist mithilfe der Online-Datenbank BIMQ und der Übergabe an Revit schnell und unkompliziert möglich. Da sowohl die Abbildungen auf Revit als auch die Abbildungen auf IFC4 Add2 in BIMQ definiert wurden, kann die IFC-Mapping-Datei für Revit generiert und zum Konfigurieren des IFC-Exports aus Revit verwendet werden.

### 2.3 AP3 Datenaufnahme und Modellgenerierung

Das Ziel dieses AP war die Erforschung von Methoden und Technologien zur Digitalisierung von analogen Plänen und Realumgebungen der Ausrüstungstechnik der Eisenbahn. Die Digitalisierung von Plandaten und deren Aktualität sind nach wie vor ein ungelöstes Problem in der Eisenbahnwelt.

In der Praxis äußert sich dieses Problem dadurch, dass vor nahezu jedem Bauvorhaben geprüft werden muss, ob die oftmals mehrere Jahrzehnte alten Unterlagen noch den realen Gegebenheiten entsprechen. Diese Überprüfung geschieht heute häufig mittels Ortsbegehung, Fotodokumentation und Vermessung per Messrad. Dazu muss die Eisenbahnstrecke gesperrt werden, um Gefährdungen zu vermeiden. Anschließend müssen die meist nur in Papierform vorliegenden Bestandsplanunterlagen in Handarbeit in eine Planungssoftware übertragen werden. Beide Schritte sind aufgrund des hohen manuellen Aufwands äußerst kosten- und zeitintensiv sowie fehleranfällig.

Im Kontext der Planung von Ausrüstungstechnik für die Eisenbahn sind daher insbesondere die nachfolgenden Digitalisierungsvorhaben relevant:

- Digitalisierung von analogen Bestandsplänen in Papierform
- Automatisierte Erkennung von Infrastrukturelementen der Realumgebung.

Beide Anwendungsfälle wurden im AP3 bearbeitet mit nachfolgend dargestellten Ergebnissen:

- Digitalisierung von analogen Bestandsplänen

Das im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelte Convolutional Neural Network (CNN) erkennt Symbole, auch wenn sie in unterschiedlichen Größen, Verzerrungen oder Rotationen in einem Plan vorliegen. Auch auf Plänen mit vergleichsweise schlechter Qualität (Scans von Dokumenten) werden in der Regel alle Symbole erkannt, wenn das Training korrekt durchgeführt wurde. Das Netzwerk wurde so optimiert, dass es eher zu viele Symbole (False Positives) als zu wenig Symbole (False Negatives) detektiert. Dies ist für diesen Anwendungsfall als vorteilhaft anzusehen, da der Benutzer die False Positives mit wenig Aufwand löschen kann und garantiert wird, dass fast keine Symbole nicht erkannt werden. Die Genauigkeit für ein ROI (Regions Of Interest)

complement the predefined family categories. They can also be assigned to individual objects / models. The assignment or modification of attributes is fast and easy thanks to the online BIMQ database and the transfer to Revit. Since both the images on Revit and the images on IFC4 Add2 have been defined in BIMQ, the IFC mapping file can be generated for Revit and used to configure the IFC export from Revit.

### 2.3 AP3 Data collection and model generation

The goal of this work package was to explore methods and technologies which allow the digitisation of the analogue documents and real-world environments of rail equipment technologies. The digitisation of planning data and its up-to-date nature continue to be an unsolved problem in the railway world. In practice, this problem is reflected in the fact that it is necessary to check whether the documents, which are often several decades old, still match the real-world conditions prior to almost every construction project. These days, this is done by means of a site inspection, photographic documentation and a measuring wheel. As such, the track must be closed in order to prevent hazards. The inventory documents, which are usually only hard copies, then have to be manually transferred to the planning software. Both steps are extremely costly, time-consuming and prone to errors due to the high degree of manual effort involved.

The following digitisation projects are particularly relevant within the context of rail equipment planning:

- the digitisation of analogue hard copy inventory documents
- automated recognition of the infrastructure elements in the real world environment.

Both use cases have been processed in AP3 and have yielded the following results:

- The digitisation of analogue inventory documents
- The Convolutional Neural Network (CNN) developed within the scope of the research project recognise symbols, even if they are shown in different sizes, distorted or rotated in a lay-



**Bei WSP wissen wir Ihre Berufserfahrung zu schätzen.**

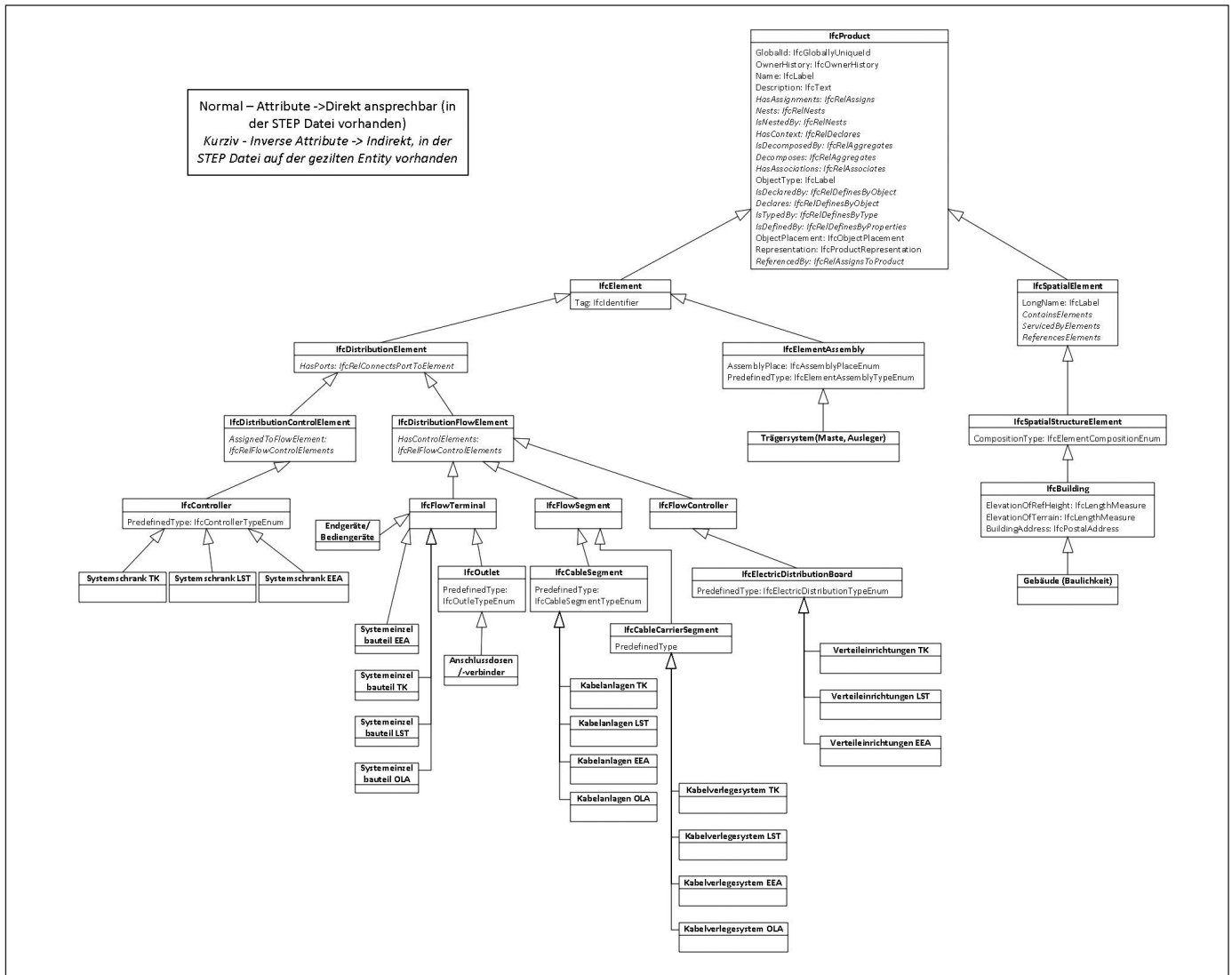
**WSP** bietet Ihnen hervorragende Perspektiven als Planungsingenieur und Projektleiter (m/w/d) der Gewerke Leit- und Sicherungstechnik, Oberleitungsanlagen, Elektrotechnik, Telekommunikation, Verkehrsanlagen und Eisenbahnbrücken (Ingenieurbauwerke).

**Gemeinsam** streben wir nach einer vertrauensvollen und erfolgreichen Zusammenarbeit. Sprechen Sie Frau Schulz-Bastian an T. 069 1201430-15 oder bewerben Sie sich unter [wsp-ie-career@wsp.com](mailto:wsp-ie-career@wsp.com).

**WSP Infrastructure Engineering GmbH**

Frankfurt/Main | Berlin | Braunschweig | Dresden | Hannover | Leipzig

[wsp-ie@wsp.com](mailto:wsp-ie@wsp.com) | [wsp.com](http://wsp.com)



**Bild 3: UML-Diagramm – IFC-Standardzuordnung zur Bahnausrüstungstechnik**  
 Fig. 3: The UML diagram – the IFC standard assignment for rail equipment technologies

liegt bei den durchgeführten Tests mit Plänen, die dem Netzwerk unbekannt waren, immer deutlich über 95 %. Daher treten sehr wenige falsch erkannte Symbole auf. Die Genauigkeit der Koordinaten liegt für ein Symbol in einem ROI bei unter drei Pixeln Differenz und für zwei Symbole in einem ROI bei unter fünf Pixeln. Diese Werte konnten wir selbst bei qualitativ schlechten Plänen und stark verzerrten Symbolen erreichen, wenn der Trainingsprozess entsprechend optimiert wird. Im allgemeinen Vergleich zu anderen Methoden sind diese Ergebnisse als sehr gut einzustufen.

**b) Automatisierte Erkennung von Infrastrukturelementen der Realumgebung**

Ziel dieses AP war die Implementierung eines Softwareprototyps, der die Objektklassen ETCS-Balise, Oberleitungsmast, Lichtsignal, Weiche und Bahnsteigkante mittels neuronaler Netze automatisiert in Videos erkennt. Als Akzeptanzkriterien wurden Werte für die Trefferquote bei mindestens 99 % und für die Genauigkeit bei mindestens 95 % vorgegeben. Diese entsprechen einer Fehlerrate für die Nichterkennung von 1 % und einer Fehlerrate für die Falscherkennung von 5 %.

Für das Training des neuronalen Netzes wurde ein Datensatz aus 6722 markierten Bilddateien zusammengestellt. Das so trainierte neuronale Netz erreicht auf reinen Bilddaten für die geforderten

out plan. All the symbols are usually recognised even on poor quality documents (document scans), provided the network has been trained correctly. The network has been optimised to detect too many symbols (false positives) rather than too few symbols (false negatives). This is an advantage for the use case in question as users can delete the false positives with little effort and can be sure that there are almost no symbols which have not been recognised. The accuracy of the ROI (Regions of Interest) in the tests carried out using layout plans unknown to the network is consistently well above 95 %. As such, there are very few incorrectly recognised symbols. The accuracy of the symbol coordinates in an ROI is less than three pixels for one symbol and less than five pixels for two symbols in an ROI. These values have been achieved even with poor quality documents and greatly distorted symbols, provided the training process has been optimised accordingly. These results can be ranked as very good when compared with other methods.

**b) The automated recognition of infrastructure elements in the real world environment**

The goal of this work package was the implementation of a software prototype which automatically recognises the ETCS balise, contact line mast, light signal, point and platform edge

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für TU München /  
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten  
 genehmigt von DW Media Group, 2019

Objektklassen Trefferquoten von 86,80 % (Oberleitungsmast) bis 93,73 % (Bahnsteigkante vorne). Die erzielten Genauigkeiten liegen hier zwischen 83,35 % (Bahnsteigkante hinten) und 94,01 % (Balise). Videos bestehen in der Regel aus 25 Einzelbildern pro Sekunde. Das neuronale Netz hat also pro Sekunde, die ein Objekt im Bild zu sehen ist, 25 Versuche, dieses zu erkennen (Bild 4). Um die Ergebnisse der Objekterkennung weiter zu verbessern, wurden Post-Processing-Maßnahmen umgesetzt. Die Werte für die Trefferquote für Balisen und Weichen für 15 Stunden Videotestmaterial konnten dadurch auf 100 % erhöht werden. Für die Trefferquoten der übrigen Objekte wird erwartet, dass sie sich durch Anwendung des Post-Processing auch auf Werte anheben lassen, die das Akzeptanzkriterium von mindestens 99 % erfüllen. Die Untersuchung der Genauigkeit inkl. Post-Processing konnte aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums des verwendeten Testwerkzeugs nicht vorgenommen werden, wird aber in einem späteren separaten Projekt untersucht.

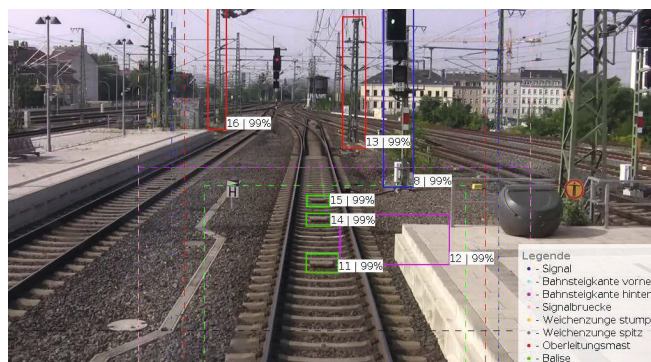
**2.4 AP4 Automatisierte Plausibilitätskontrolle**

Aufgrund der Komplexität der zu beachtenden Regelwerke im Eisenbahnwesen wurde das AP im August 2018 mit einer Analyse von Richtlinien gestartet. Um diese für eine prototypische Implementierung aufzubereiten, wurde das in Bild 5 dargestellte Schema eingeführt, um einzelne Richtlinien für eine anschließende softwaregestützte Modellprüfung vorzubereiten.

Das Schema teilt sich in vier Bereiche ein: Im „User Input“ wird spezifiziert, welche Komponenten geprüft werden sollen. Man kann hier von einer expliziten Auswahl von Modellinhalten sprechen. Im zweiten Schritt „Model Preparation“ werden Modellinhalte definiert, die für die Durchführung der Regel implizit aus dem Modell geladen werden müssen. Im „Rule Checking“-Bereich wird die eigentliche Prozedur beschrieben, die zu einer Entscheidung über die Einhaltung der geprüften Regel führt. Die Definition des „Outputs“ ermöglicht die Definition des anschließenden Vorgehens. In der Regel ist hier eine Auflistung der fehlerhaften Bauteile, die überprüft wurden, sinnvoll. Es können aber auch Verweise auf anschließende Regeln definiert werden, die durchlaufen werden müssen, wenn die aktuelle Regel verletzt wurde.

Die technische Umsetzung erfolgt im Wesentlichen auf Grundlage von IFC-Modellen. Für dieses Datenformat existieren bereits marktetablierte Softwareprodukte, die vorrangig für die Prüfung von Hochbaumodellen konzipiert wurden, aber auch für Infrastrukturanlagen eingesetzt werden können. Die Applikation „Solibri Model Checker“ (SMC) stellt hier ein häufig genutztes Produkt dar und wurde für Testimplementierungen im Rahmen dieses AP verwendet. In SMC existieren bereits diverse Regelsatzvorlagen, die für vielfältige Prüfroutinen verwendet und angepasst werden können. Dazu zählen zum Beispiel geometrische Kollisionskontrollen, das Überprüfen einzuhaltender Mindest- oder Maximalabstände oder Überprüfung von PropertySets sowie deren zugehöriger Attribute.

Für die automatisierte Plausibilitätskontrolle wurde ein vorgeanntes Konzept ausgearbeitet und bereits anhand erster Implementierungen in einer Rule-Checking-Engine getestet. Dazu wurden Regelwerke analysiert und das Konzept anhand einzelner Beispielregeln untersucht. Weiterhin wurden für viele Regeln die notwendigen Schritte im Prüfungsablauf schematisch ausgearbeitet und dokumentiert, die derzeit für Testzwecke implementiert werden. Da der IFC-Rail-Standard noch nicht fertiggestellt wurde, konnten Regelprüfungen, für die bestimmte bahnspezifische Objekte notwendig sind, nur mit Einschränkungen betrachtet werden.



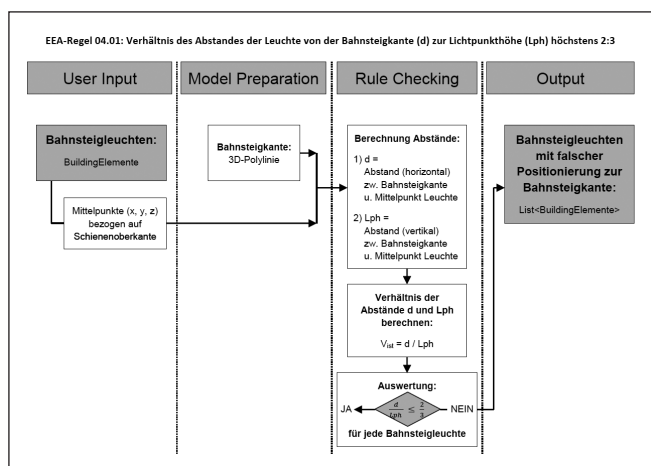
**Bild 4: Durch das neuronale Netz erkannte Objekte**

Fig. 4: Objects recognised by the neural network

object classes shown in videos using neural networks. The acceptance criteria specified for the hit rate and accuracy were at least 99 % and 95 % respectively. These values translate into a failure rate of 1 % and a false recognition error rate of 5 %. A data set of 6722 tagged image files was compiled to train the neural network. The trained neural network achieved hit rates of 86.80 % (contact line mast) to 93.73 % (platform edge front) for the required object classes from pure image data. The accuracies achieved are between 83.35 % (the platform edge rear) and 94.01 % (balises). The videos usually used 25 frames per second. This means that the neural network has 25 attempts to recognise any object for every second that it is visible in the picture (fig. 4). Post-processing measures were implemented to further improve the results of the object recognition. The hit rate for balises and points using 15 hours of video test material was therefore able to be increased to 100 %. It is expected that post-processing will also increase the hit rates for the other objects to levels which comply with the acceptance criterion of at least 99 %. It has not been possible to carry out the accuracy test including post-processing due to the early developmental stage of the testing tool. However, this will be realised at a later date in a separate project.

**2.4 AP4 The automated plausibility check**

This work package was launched in August 2018 to analyse the guidelines due to the complexity of the regulations in the



**Bild 5: Erfassung von Expertenwissen über Normen und Richtlinien**

Fig. 5: The collection of expert knowledge regarding the standards and guidelines

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für TU München / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt von DW Media Group, 2019



### 3 Ausblick

Auf den bereits vorliegenden Projektstand erfolgt bis 2020 die weitere Themenbearbeitung in den Arbeitspaketen 4 bis 7. Der mit dem Projekt bereits feststellbare Wissensfortschritt und dessen stetige Weiterentwicklung im gemeinsamen Austausch wird von allen Projektbeteiligten als sehr gewinnbringend eingeschätzt. Bisher ermittelte Teilergebnisse können bereits bei der Einführung der BIM-Methodik für den Planungsbereich der Signon Deutschland GmbH wertschöpfend genutzt werden.

Insgesamt resultiert aus diesem innovativen Forschungsprojekt neben den positiven wirtschaftlichen Aspekten für die Projektarbeit auch ein fundierter Erkenntnisgewinn, aus dem sich strategische Maßnahmen und eine Vision für die Zukunft für alle Beteiligten ableiten lassen. ■

rail industry. The schema depicted in fig. 5 was introduced to prepare individual guidelines for subsequent software-based model validation in order to process them for the prototype implementation.

The schema has been divided into four sections. The “User Input” specifies which components need checking. One could say that this involves the explicit selection of the model content. The second “Model Preparation” step defines the model’s contents which implicitly need to be loaded from the model to execute the rule. The “Rule Checking” section describes the actual procedure which decides on the compliance with the tested rule. The definition of the “output” allows the definition of the subsequent procedure. As a rule, it makes sense to list the faulty components which require checking. However, it is also possible to define references to subsequent rules which must be run, if the current rule has been violated.

The technical implementation is mainly based on IFC models. There are already software products on the market for this data format which have primarily been designed to check building models, but can also be used for infrastructure facilities. The Solibri Model Checker (SMC) is a widely used product and was used for the test implementations within this work package. The SMC already features a number of rule set templates which can be used and adapted for a variety of check routines. They include, for example, geometric collision detection, checking the required minimum or maximum distances or checking PropertySets and their associated attributes.

An aforementioned concept was optimised for the automated plausibility check and has already been tested in a rule checking engine on the basis of the initial implementations. The regulations were analysed for this purpose and the concept was examined on the basis of individual sample rules. Furthermore, the necessary steps in the test procedure have been worked out and schematically documented for many rules and they are currently being implemented for test purposes. Given that the IFC Rail Standard has not yet been completed, the rule checks which are necessary for certain rail-specific objects could only be considered with reservations.

### 3 Outlook

The existing project status will be expanded with the topics from work packages 5 to 7 by 2020. All the project participants appreciate the progress in the knowledge which is already visible in the project and its further development through dialogue. The partial results available to date are already being used to add value during the introduction of the BIM methodology in the planning area of Signon Deutschland GmbH. All in all, and in addition to the positive economic aspects of the project collaboration, this innovative research project has also provided in-depth insights which translate into strategic measures and a vision for the future for all the parties involved. ■

#### AUTOREN | AUTHORS

##### Dipl.-Ing. Thomas Winkelbauer

Principal Telekommunikation / *Principal Telecommunication*  
Signon Deutschland GmbH  
Anschrift / Address: Schützenstraße 15-17, D-10117 Berlin  
E-Mail: thomas.winkelbauer@signon-group.com

##### Dipl.-Ing. Thorsten Hiebenthal

Bereichsleiter Rail Systems / *Head of Department Rail Systems*  
Signon Deutschland GmbH  
Anschrift / Address: Rüdeshheimer Str. 7, D-80686 München  
E-Mail: thorsten.hiebenthal@signon-group.com

##### Co-Autoren:

M.Sc. Sebastian Esser, TU München,  
Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation  
M.Eng. Burcu Esen Barutcu, BIM-Beraterin, AEC3 Deutschland GmbH  
M.Sc. Simon Vilgertshofer, TU München,  
Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation  
Prof. Dr.-Ing. André Borrmann, TU München,  
Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation