

Teilautomatisierte ETCS L2-Planprüfung durch Formalisierung des Regelwerks

Unterstützung automatisierbarer Arbeitsschritte in der ETCS L2-Ausrüstungsplanung durch formale Modellierung spezifischer Regeln und fachlicher Kompetenzen

VOLKMAR BACHMANN |
PEDRO LEHMAN IBÁÑEZ |
ANDREAS OETTING | MIROSLAV PEJIC |
BILAL ÜYÜMEZ | SALOME VOGEL

European Train Control System Level 2 (ETCS L2) muss gemäß EU-Vorgabe als Zugbeeinflussungssystem für Neubau- und wesentliche Umbauprojekte im Netz der Deutschen Bahn AG (DB) zur Anwendung kommen. Ein rascher Roll-out von ETCS L2 hängt auch von den zur Verfügung stehenden Planungskapazitäten ab. Zur Unterstützung der Ausrüstungsplanung konnte im Rahmen vergangener gemeinsamer Forschungsaktivitäten der DB Netz AG (DB Netz) und der TU Darmstadt bereits die Machbarkeit einer teilautomatisierten ETCS L2-Ausrüstungsplanung durch strukturierte Formalisierung einzelner, datenpunktspezifischer Regeln gezeigt werden. Zur Erhöhung des Automatisierungsgrades ist ein übergeordneter Algorithmus erforderlich, der die spezifischen Regeln aufruft und steuert. Mit einer fachlichen Architektur sowie einem möglichen übergeordneten Algorithmus wird ein Ansatz zur Erhöhung des Automatisierungsgrades in der ETCS L2-Planprüfung vorgestellt.

Einführung

Die EU-Klimaziele erfordern ein Konzept zur Reduktion der Treibhausgasemissionen, um den globalen Temperaturanstieg auf deutlich unter 2°C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Für eine klimafreundliche Mobilität nimmt der Verkehrsträger Schiene daher eine Schlüsselrolle ein. Um eine umfassende Verkehrsverlagerung von der Straße auf die Schiene zu realisieren, ist eine Kapazitätssteigerung auf der Schiene erforderlich. Einen Beitrag hierzu soll die Einführung von ETCS L2 leisten. Zur Erfüllung der EU-Vorgabe, ETCS L2 als Zugbeeinflussungssystem im deutschen Schienennetz zu installieren, wurde im Dezember 2017 ein nationaler Umsetzungsplan ETCS vom Bund vorgelegt. In der Planung und Umsetzung möchte die DB der Herausforderung des steigenden Planungsbedarfs für eine zeitnahe Migration effizient begegnen. Um den Bahnbetrieb über die europäischen Grenzen hinweg zu vereinfachen und Kapazitäten zu

steigern, sollen die Planungsprozesse unterstützt und durch die Entwicklung geeigneter Werkzeuge beschleunigt werden. Hierdurch ist zusätzlich eine Harmonisierung der Planungsergebnisse zu erwarten.

Durchgängig Digitale Datenhaltung im Planungsprozess (D3iP)

Um die benötigte Beschleunigung der Planungsprozesse zu erreichen, werden im Rahmen des Projekts „Durchgängig digitale Datenhaltung im Planungsprozess (D3iP)“ bei der DB Netz die Planerstellungs- und Planprüfprozesse durchgehend standardisiert und digitalisiert. Der zukünftige digitale Planungsprozess ist im Zielbild des Projekts D3iP verankert und bildet die Grundlage zur fristgerechten Umsetzung des Flächen-Roll-outs der Digitalen Schiene Deutschland (DSD) bei der DB. Dieser stellt sich wie folgt dar:

Alle notwendigen Bestandsdaten liegen aktuell und korrekt in einer Bestandsdatenbank vor und werden in ein standardisiertes, einheitliches Datenmodell überführt. Die Planungsdaten werden über die Projektphasen konsequent angereichert. Weiterhin erfolgt zwischen den Bedarfsträgern, der Industrie, der Forschung und der Instandhaltung ein Austausch, und schlussendlich werden die Daten zurück in die Bestandsdatenbank überführt. Durch das standardisierte Datenmodell und das formalisierte Regelwerk können Planerstellungs- und Prüfalgorithmen entwickelt und in den entsprechenden Softwarewerkzeugen implementiert werden. Das Fundament hierfür bildet ein digitales, zertifiziertes Planlaufkonzept im Kontext des Building Information Modeling (BIM), über alle Beteiligten und Projektphasen hinweg.

Im Zuge des Projekts D3iP ergibt sich eine große Zahl an Schnittstellen und hoher Abstimmungsbedarf. Zum einen besteht dieser intern bei der DB und zum anderen extern zur Softwareentwicklung, zur Signalbauindustrie sowie zu Forschungseinrichtungen. Dabei ist es wichtig, frühzeitig in den Austausch zu gehen und Standards zu definieren. Denn nur, wenn tatsächlich ein durchgängig datenbasierter Planungsprozess vorliegt, können bspw. durch Formalisierung des Regelwerks entstandene Algorithmen zur Unterstützung der Planerstellung oder Planprüfung sinnvoll angewendet werden. Gleichzeitig kann das gesamte Potenzial der digitalen Planung – sei es eine

Beschleunigung und/oder eine Qualitätserhöhung – nur ausgeschöpft werden, wenn diese Algorithmen oder durch deren Implementierung entstandene Werkzeuge entwickelt und angewendet werden.

Aktueller Wissensstand und Forschungsbedarf

Gemäß den Vorgaben des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) [1] müssen Ausführungsunterlagen für Baumaßnahmen nach dem Vier-Augen-Prinzip im Anschluss an die Planerstellung eine getrennte Planprüfung durchlaufen, bevor weitere Schritte zur Realisierung der Baumaßnahme gegangen werden können. Bei ETCS-Baumaßnahmen trifft dies u.a. für die Ausführungsplanung der ETCS L2 Datenpunkte (DP) zu.

Zur Unterstützung der menschlichen Planersteller und Planprüfer hat die TU Darmstadt gemeinsam mit der DB Netz die Machbarkeit einer Werkzeugunterstützung durch strukturierte Formalisierung des ETCS-Planungsregelwerks untersucht. Erkenntnisse dieser strukturierten Formalisierung wurden u.a. im Rahmen des Scientific Railway Signalling Symposium (SRSS) Darmstadt 2019 [2] sowie in [3] vorgestellt.

Zentrale Erkenntnis ist der Nachweis der Machbarkeit teilautomatisierter ETCS L2-Planungsprozesse (Planerstellung und Planprüfung). Für den Schritt der Planprüfung, die in diesem Beitrag im Folgenden weiter erläutert wird, ist das Ergebnis eine Auswahl formal dargestellter, datenpunktspezifischer Prüfregeln, die bei der ETCS L2-Planprüfung eingehalten werden müssen. Die formale Darstellung, z.B. durch Ablaufdiagramme ist Vorbereitung und Voraussetzung für die Implementierung einer teilautomatisierten Planprüfung durch Programmierer.

Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich des Ziels, den Automatisierungsgrad in der Ausrüstungsplanung digitaler Leit- und Sicherungstechnik (DLST) zu erhöhen, um die Ausrüstungsplanungsprozesse zu beschleunigen. Voraussetzung dafür ist eine durchgängig digitale Datenhaltung im Planungsprozess (D3iP), um beispielsweise Doppelarbeiten, wie das Prüfen von Planungstabellen und Übersichtsplänen, zu reduzieren. Eine Erhöhung des Automatisierungsgrades in der Ausrüstungsplanung wird durch die Entwicklung einer fachlichen Architektur und eines über-

geordneten Algorithmus angestrebt. Der Algorithmus repräsentiert die Vorgehensweise menschlicher Planprüfer, indem er beispielsweise spezifische Prüfvorgänge und -regeln aufruft und steuert. Die zentralen Anforderungen sowie ein Ansatz für eine teilautomatisierte ETCS L2-Planprüfung durch Formalisierung des Regelwerks, in Form einer fachlichen Architektur und deren Komponenten, werden in diesem Beitrag vorgestellt.

Zentrale Anforderungen und Vorgehensweise

Die Anforderungen an eine übergeordnete Struktur von Algorithmen sind aus Workshops und Interviews mit Fachexperten der ETCS L2-Planerstellung, Planprüfung und Stellwerksprüfung sowie der Konzernrichtlinie Ril 819.1344, Grundsätze zur Erstellung der Ausführungsplanung PT 1 für ETCS Level 2 [4], hergeleitet. Die identifizierten funktionalen Anforderungen las-

sen sich durch Systematisierung auf die folgenden zentralen Anforderungen zurückführen:

- Prüfung der Vollständigkeit der ETCS L2-Planung
- Prüfung der Korrektheit der ETC L2-Planung
 - Prüfung der Einhaltung datenpunktspezifischer Regeln
 - Prüfung der Einhaltung der Grundsätze zu Datenpunktorten
- Ausgabe des Ergebnisses der teilautomatisierten ETCS L2-Planprüfung als Prüfvermerk.

Zur Erfüllung dieser Anforderungen wird eine anforderungsgerechte fachliche Architektur hergeleitet, die der Beschreibung und Kommunikation des entstehenden Systems dient. Zur Darstellung der Funktionen eines Werkzeugs zur teilautomatisierten ETCS L2-Planprüfung (Planprüfungstool) in einer fachlichen Architektur bietet beispielsweise die UML-Notation verschiedene Möglichkeiten. Um die großen Zusammenhänge in einem System zu zeigen,

eignet sich beispielsweise ein Komponentendiagramm aus der Unified Modeling Language (UML)-Notation. Mit dessen Hilfe sind die Struktur des Planprüfungstools in Form von Komponenten und deren Verbindungen beziehungsweise Assoziationen zueinander darstellbar. Ergänzend zur grafischen Darstellung kann eine textuelle Beschreibung wichtige zusätzliche Informationen geben.

Um das System zu detaillieren, wird anschließend das Zusammenspiel der Komponenten und Assoziationen zwischen den Komponenten hergeleitet, aus dem sich das Systemverhalten ergibt. Dieses basiert auf Erkenntnissen aus Interviews mit Fachexperten der ETCS L2-Planprüfung sowie der Ril 819.1344. Das Systemverhalten wird in der UML-Notation durch Beschriftung der Assoziationen bereits näher beschrieben und spiegelt sich in den Algorithmen, die das gesamte Systemverhalten definieren, wider.

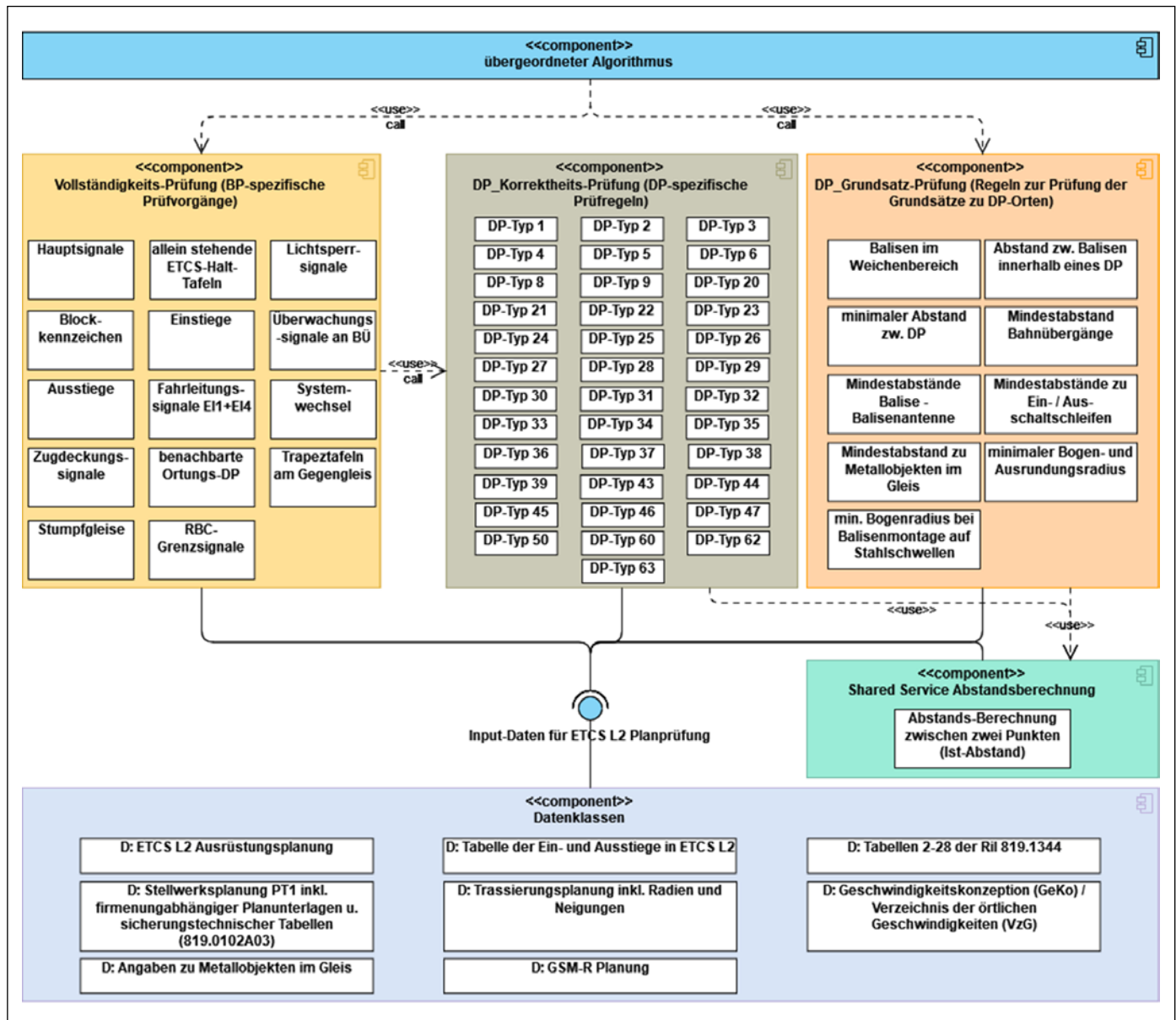


Abb. 1: Fachliche Systemarchitektur für eine teilautomatisierte ETCS L2-Datenpunktprüfung

Neuer Ansatz für eine teilautomatisierte ETCS L2-Planprüfung

Nachdem die zentralen Anforderungen und Vorgehensweisen identifiziert und beschrieben wurden, stellt dieser Abschnitt einen Ansatz für eine teilautomatisierte ETCS L2-Planprüfung vor. Dieser umfasst die erforderlichen Eingangsdaten, die erforderlichen Komponenten (in Form einer möglichen fachlichen Architektur) sowie den übergeordneten Algorithmus (in Form einer textuellen Spezifikation der Abläufe) und die Ausgabedaten der teilautomatisierten ETCS L2-Planprüfung.

Eingangsdaten für eine teilautomatisierte ETCS L2-Planprüfung

Um die Vollständigkeit und Korrektheit der ETCS L2-Planung teilautomatisiert zu prüfen, können basierend auf [4] und Erfahrung von Fachexperten die folgenden Eingangsdaten als erforderlich identifiziert werden:

- Daten aller Teilergebnisse der ETCS L2-Ausrüstungsplanung (inkl. Tabellen der Ein- und Ausstiege)
- Tabellen 2–28 der Ril 819.1344
- weitere Teilergebnisse der (D)LST Planung (Stellwerksplanung, Trassierungsplanung, Geschwindigkeitsplanung, Angaben zu Metallobjekten im Gleis, GSM-R-Planung).

Zukünftig werden alle erforderlichen Daten, wie im Zielbild des Projekts D3iP dargelegt, digital im Standardformat vorliegen. Somit muss lediglich die Planungsdatei über eine standardisierte Schnittstelle eingelesen werden.

Komponenten und Ablauf einer möglichen teilautomatisierten ETCS L2-Planprüfung

Benötigte Komponenten

Zur Erfüllung der Anforderungen werden die erforderlichen Komponenten sowie bestehende Assoziationen, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, hergeleitet. Die Komponenten können jeweils mehrere unabhängige Klassen beinhalten, um die funktionalen Anforderungen zu erfüllen. Den Klassen können jeweils Attribute und Operationen zugeordnet sein. Die Operationen entsprechen den Algorithmen, die das Systemverhalten beschreiben. Einen Überblick über die für eine teilautomatisierte ETCS L2-Planprüfung erforderlichen Komponenten und deren Assoziationen geben Abb. 1 sowie die folgenden Abschnitte.

Datenklassen

Die Komponente Datenklassen stellt „Input-Daten“ für die (teil-)automatisierte ETCS L2-DP-Planprüfung in einer weiterverwendbaren Form über die gleichnamige Schnittstelle zur Verfügung. Sie beinhaltet unabhängige Klassen, die jeweils einem Teilergebnis der ETCS L2-Ausrüstungsplanung oder davor abgeschlossener (D)LST Planungsschritte oder Angaben aus [4] entsprechen.

Übergeordneter Algorithmus

Die Komponente übergeordneter Algorithmus beinhaltet eine Operation, die die systematische Planprüfung steuert, indem sie weitere Komponenten der fachlichen Architektur aufruft (call), die zur Ausführung ihrer jeweiligen Operationen z.T. die weiteren Komponenten verwenden (use). Der übergeordnete Algorithmus selbst ruft die Komponenten Vollständigkeits-Prüfung und DP_Grundsatz-Prüfung auf.

Vollständigkeits-Prüfung

Die Komponente Vollständigkeits-Prüfung beinhaltet unabhängige Klassen, die jeweils einem Bezugspunkt(BP)-spezifischen Prüfungsvorgang, zur Überprüfung der Vollständigkeit der ETCS L2-DP-Planung, entsprechen. Jeder BP-spezifische Prüfungsvorgang besitzt mindestens eine Operation, mithilfe derer die Vollständigkeit der ETCS L2-DP-Planung gemäß Ril 819.1344 [4] für den jeweiligen BP überprüft werden kann.

DP_Korrektheits-Prüfung

Die Komponente DP_Korrektheits-Prüfung beinhaltet unabhängige Klassen, die jeweils einer DP-spezifischen Prüfregel, zur Überprüfung der Korrektheit der ETCS L2-DP-Planung, entsprechen. Jede DP-spezifische Prüfregel besitzt eine Operation, mithilfe derer die korrekte Platzierung eines DP der ETCS L2-DP-Planung gemäß Ril 819.1344 [4] für einen DP-Typ überprüft werden kann.

DP_Grundsatz-Prüfung

Die Komponente DP_Grundsatz-Prüfung beinhaltet unabhängige Klassen, die jeweils einer Regel zur Überprüfung der Korrektheit der ETCS L2-DP-Planung, hinsichtlich Konformität mit den Grundsätzen zu DP-Orten, entsprechen. Jede unabhängige Klasse besitzt eine Operation, mithilfe derer die korrekte Platzierung eines DP der ETCS L2-DP-Planung gemäß Ril 819.1344 [4] für einen der Grundsätze überprüft werden kann.

Shared Service Abstandsberechnung

Die Komponente Shared Service Abstandsberechnung beinhaltet eine unabhängige Klasse mit einer Operation, mithilfe derer der Abstand zwischen zwei beliebigen Punkten in der ETCS L2-DP-Planung berechnet werden kann. Diese Operation wird von den Komponenten zur Korrektheits-Prüfung gemäß Ril 819.1344 [4] verwendet.

Spezifikation der möglichen Abläufe

Die systematische Planprüfung muss sowohl die Vollständigkeit als auch die Korrektheit der vorliegenden ETCS L2-DP-Planung feststellen können. Hierfür sind die zuvor beschriebenen Komponenten und Assoziationen in Form von Algorithmen zu detaillieren. Die nachfolgenden Abschnitte spezifizieren beispielhaft den übergeordneten Algorithmus (high level Spezifikation), da dieser auf oberster Ebene die

teilautomatisierte ETCS L2-Planprüfung aufruft und steuert und über die in [4] definierten Regeln hinaus intelligentes Verhalten aufweisen muss.

Der übergeordnete Algorithmus für die ETCS L2-DP-Planprüfung entspricht einer Heuristik, die Erfahrungen von Fachexperten sowie, durch Aufrufe weiterer Algorithmen, die Inhalte der Ril 819.1344 [4] berücksichtigt.

Nach dem Einlesen der erforderlichen Datenklassen über die Schnittstelle „Input-Daten“ sind die BP und DP zu identifizieren und zu lokalisieren sowie nach BP-Art und DP-Typ sortiert aufzulisten. Im Anschluss ist eine BP-Art auszuwählen. Aus Erfahrungen der Fachexperten ist eine systematische Auswahl sinnvoll, beispielsweise angelehnt an die allgemeine Vorgehensweise zur Datenpunktplanung in [5]. Nach Entscheidung für den nächsten BP aus der Liste ist der entsprechende BP-spezifische Prüfungsvorgang durch Aufrufen eines neuen Algorithmus durchzuführen.

Dies ist so lange durchzuführen, bis die Liste der BP abgearbeitet ist. Anschließend ist die Einhaltung der Grundsätze zu DP-Orten zu prüfen. Diese Aktion ruft ebenfalls einen neuen Algorithmus auf, der diesen Schritt spezifiziert. Zuletzt ist der Prüfvermerk zu erstellen und auszugeben. Die Funktionsweise der Aktionen und Entscheidungen des übergeordneten Algorithmus sind durch die darunterliegende Struktur von Algorithmen feinspezifiziert.

Ausgabe einer teilautomatisierten ETCS L2-Planprüfung

Der auszugebende Prüfvermerk soll automatisiert an die ETCS L2-Planerstellung übermittelt werden. Dieser kann beispielsweise eine Ampellogik aufweisen. Dabei stehen die Ampelfarben für folgende Ergebnisse:

- grün = vollständige sowie korrekte ETCS L2-DP-Planung
- gelb = es sind Hinweise zur ETCS L2-DP-Planung vorhanden, diese sollten durch eine menschliche Fachkraft beurteilt und ggf. bearbeitet werden
- rot = es liegen ein oder mehrere Fälle von Missachtung der Regeln gemäß Ril 819.1344 [4] vor, eine Anpassung der ETCS L2-DP-Planung ist zwingend erforderlich.

Bei einem gelben oder roten Prüfvermerk soll ausgegeben werden, welcher Teil bzw. welche Teile der ETCS L2-DP-Planung von Hinweis bzw. Fehlermeldung betroffen sind.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Machbarkeit einer teilautomatisierten ETCS L2-Planprüfung wurde in [3] dargelegt. Die in diesem Beitrag beschriebenen Anforderungen und daraus hergeleitete Komponenten und übergeordneter Algorithmus können zur deutlichen Erhöhung des Automatisierungsgrads der ETCS L2-Planprüfung beitragen. Für eine Implementierung sind die, basierend auf den natürlichsprachlichen Regeln der Ril 819.1344 [4], formalisierten DP-spezifischen

Prüfregeln [3] sowie Regeln zur Prüfung der Grundsätze zu DP-Orten durch den übergeordneten Algorithmus geeignet in das Planprüfungstool einzubinden.

Weiterer Forschungsbedarf, von einer teilautomatisierten in Richtung einer automatisierten ETCS L2-Planprüfung, besteht z. B. hinsichtlich der Verarbeitung noch nicht digital verfügbarer Inputdaten (z. B. Angaben zu Metallobjekten im Gleis, Daten aus der Betrieblichen Aufgabenstellung (BAst) usw.). Unter anderem dieser Punkt zeigt, dass eine durchgängig digitale Datenhaltung als Grundlage (teil-) automatisierter Planungsprozesse zukünftig unverzichtbar ist, um deren Potenziale hinsichtlich der Beschleunigung und Qualität der Planungsprozesse ausschöpfen zu können. ■

QUELLEN

[1] EBA VV Bau STE § 13 (1)

[2] Oetting, A. (Hrsg.) (2019): Tagungsband Scientific Railway Signalling Symposium, lizenziert unter CC BY-SA 4.0 International, abrufbar unter https://tuprints.ulb-tu-darmstadt.de/11296/3/SRSS_2019_Tagungsband.pdf

[3] Düpmeier, F.; Pejic, M.; Üyümez, B. (2020): Innovative Konzepte und Algorithmen für eine digitale LST (Teil 2): Strukturiertes Formalisieren am Beispiel des ETCS-Planungsregelwerks, in *Deine Bahn 1/2020*, Bahn Fachverlag GmbH, Berlin

[4] DB Netz AG (2021): DB Konzernrichtlinie Ril 819.1344 Grundsätze zur Erstellung der Ausführungsplanung PT1 für ETCS Level 2, DB Netz AG, Frankfurt/M.

[5] Trinckauf, J.; Maschek, U.; Kahl, R.; Krahl, C. (Hrsg.) (2020): ETCS in Deutschland, PMC Media House GmbH, Leverkusen



Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Volkmar Bachmann

Leiter Planung DSTW/ETCS Projekte
DB Netz AG, Leipzig
volkmar.bachmann@deutschebahn.com



M. Sc. Pedro Lehmann Ibáñez

Fachplaner LST (DSTW/ETCS Projekte)
DB Netz AG, Leipzig
pedro.lehmann-ibanez@deutschebahn.com



Prof. Dr.-Ing. Andreas Oetting

Leitung
Institut für Bahnsysteme
und Bahntechnik
TU Darmstadt, Darmstadt
oetting@verkehr.tu-darmstadt.de



Dipl.-Ing. Miroslav Pejic

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Team Leit- und Sicherungstechnik
Institut für Bahnsysteme
und Bahntechnik
TU Darmstadt, Darmstadt
pejic@verkehr.tu-darmstadt.de



Bilal Üyümez

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Team Leit- und Sicherungstechnik
Institut für Bahnsysteme
und Bahntechnik
TU Darmstadt, Darmstadt
ueyuemez@verkehr.tu-darmstadt.de



Salome Vogel

Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Team Leit- und Sicherungstechnik
Institut für Bahnsysteme
und Bahntechnik
TU Darmstadt, Darmstadt
vogel@verkehr.tu-darmstadt.de

**Bleiben
Sie in der Spur!**

Mit dem Newsletter von

**Eurail
press**

**Jetzt
anmelden!**

[www.eurailpress.de/
anmeldung](http://www.eurailpress.de/anmeldung)