

Blöcke waren gestern – Chancen einer zugzentrischen LST

Mehrere europäische Infrastrukturbetreiber arbeiten in RCA an der Standardisierung einer Leit- und Sicherungstechnik, die den Zug in den Mittelpunkt stellt.

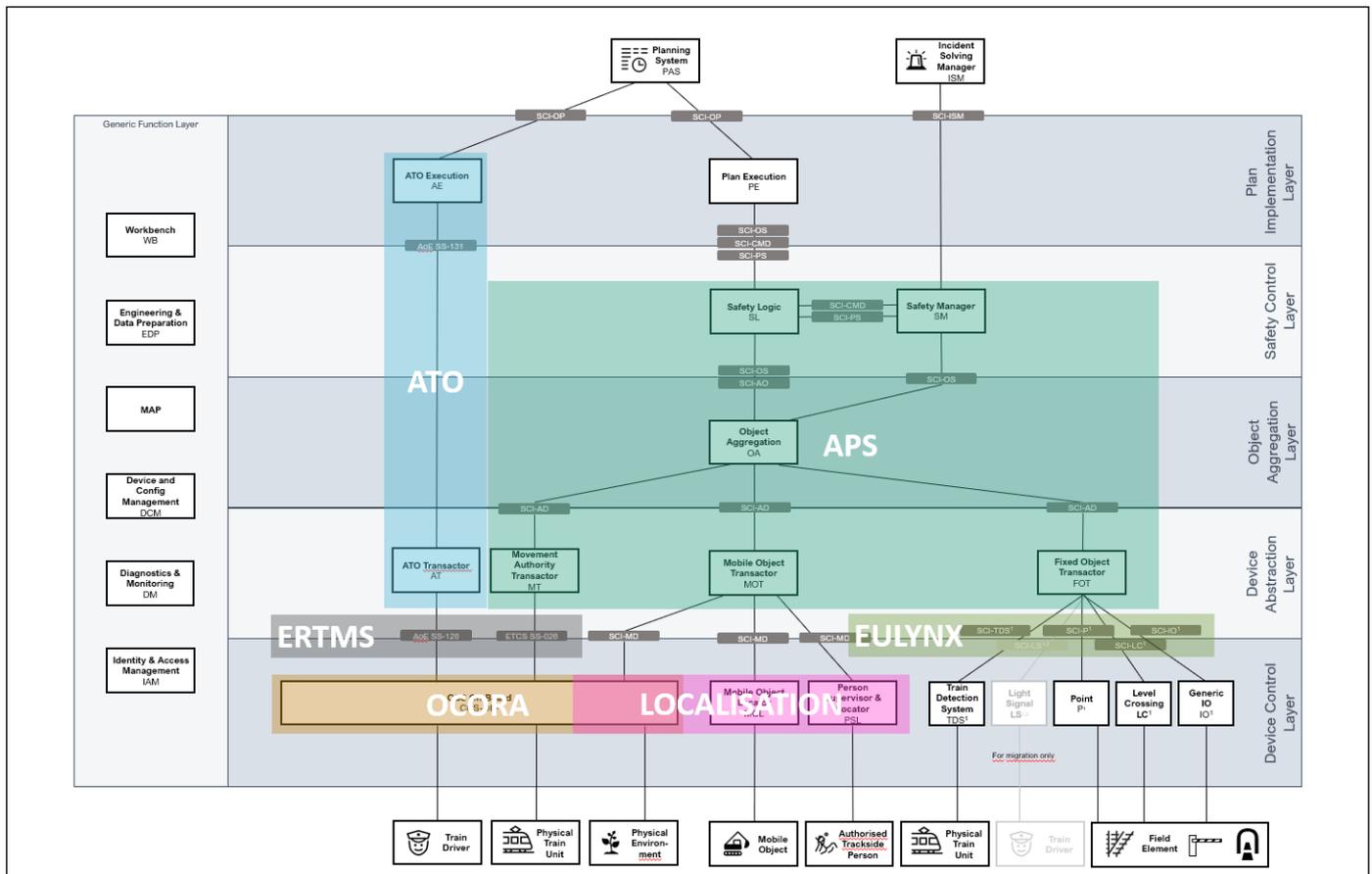


Abb. 1: RCA-Architektur (innerhalb des äußeren Kastens)

Quelle: RCA

FRANK SKOWRON | ROMAN TREYDEL

Die europäischen Bahnen erarbeiten eine harmonisierte, ganzheitliche Lösung für eine zukunftsfähige Leit- und Sicherungstechnik (LST). Damit antworten sie auf Herausforderungen wie Steigerung der Kapazität, Stärkung des umweltfreundlichen Verkehrsträgers Bahn sowie technische Weiterentwicklung, Vereinfachung und Kostensenkung. Dabei steht eine umfassende Lösung an, die ganzheitlich den Betrieb von optimierter Fahrplanung bis zur automatisierten Durchführung der Fahrt abbildet und flexibel auf Änderungen im Betriebsablauf reagieren kann. Im Rahmen der Sektorinitiative Digitale Schiene Deutschland (DSD) ist die Deutsche Bahn AG (DB) von Anfang an stark involviert.

Einführung

RCA ist eine Referenzarchitektur (Reference CCS Architecture) für LST des Bahnbetriebs und definiert Komponenten sowie deren Schnittstellen. Die Architektur ist in verschiedene Bereiche untergliedert (Abb. 1). Dabei erfindet RCA das Rad nicht komplett neu, sondern bedient sich soweit möglich existierender Standards (European Rail Traffic Management System (ERTMS) mit European Train Control System (ETCS) und Automatic Train Operation (ATO) sowie EULYNX). Dies erleichtert den Übergang von bestehender auf neue LST und erlaubt die Anbindung vorhandener Fahrzeuge (über ETCS) und Infrastrukturausrüstung (über EULYNX-SCI-Schnittstellen der Object Controller) bei gleichzeitigen Kostenersparnissen insbesondere durch Reduktion der Anzahl erforderlicher Außenanlagen. Der Schwerpunkt der Neuentwicklung liegt auf der streckenseitigen Sicherungstechnik. Die fahr-

zeitigen Komponenten werden in Kooperation mit OCORA [3] definiert.

Ein wichtiges Prinzip ist die Schichtung der Architektur in Layern (Abb. 1), die eine klare Abgrenzung von Aufgaben („separation of concerns“), Konzentration von Safety-Integrity-Level (SIL)-4-Funktionen, Modularisierung/Austauschbarkeit und Stabilisierung von Produktlebenszyklen einher bringt. Ein großer Vorteil ist, dass die Layer eine Abstraktion der Objekte so ermöglichen, dass obere Layer weitgehend unabhängig von Anpassungen unterer Layer sind. So können z.B. durch eine neue Version der TSI ZZS notwendige Änderungen auf die Komponente MT (Movement Authority Transactor) beschränkt werden. Das außerhalb von RCA liegende Planungssystem (PAS) als Teil des Traffic Management Systems (TMS) liefert den optimierten Fahrplan, der durch die Plan Execution (PE) umgesetzt wird und dabei das rechtzeitige Stellen von Feldele-

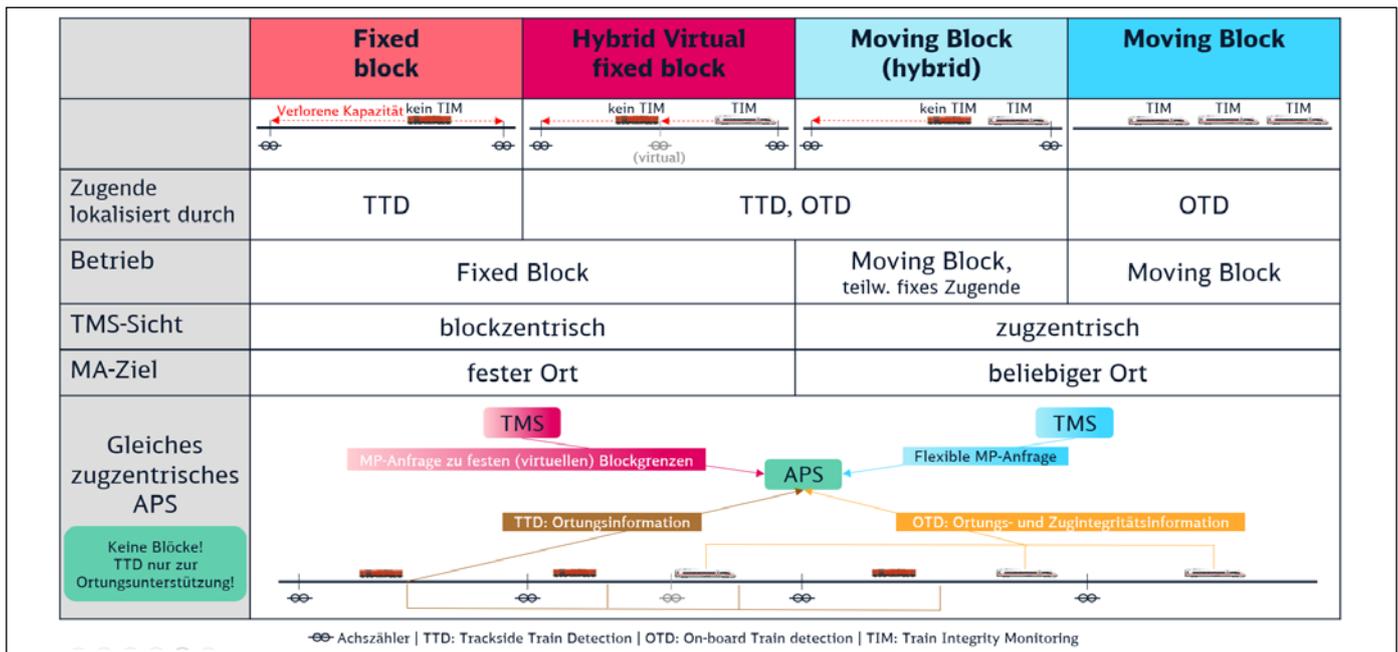


Abb. 2: Der Einsatz von APS ist für verschiedene Systemtypen möglich bei gleichbleibender innerer Funktion. Quelle: Digitale Schiene Deutschland / DB Netz AG

menten und Erteilen der Fahrerlaubnisse an das zentrale Sicherungssystem Advanced Protection System (APS) delegiert. APS realisiert ganz strikt nur die Prüfung auf Zulässigkeit sowie die Ausführung der Aufträge. Vom PAS erhält ATO Execution (AE) den Fahrplan, um die Optimierung der sicheren Fahrt vorzubereiten sowie eine Automatisierung der Fahrt zu erreichen – vom triebfahrzeugführer-unterstützten Grade of Automation (GoA) 2 bis hin zu GoA 4. Alle Komponenten basieren auf einer einheitlichen Topologie MAP.

Eine der wesentlichen Kernkomponenten der RCA-Architektur ist APS. Zentrale Aufgaben von APS sind die in heutigen Systemen meist getrennten streckenseitigen Funktionen Zugbeeinflussung und Fahrwegsicherung. Auf APS soll im Folgenden vertiefend eingegangen werden.

Zugzentrik

Durch APS wird mit der Fokussierung auf eine zug- statt blockzentrische Sicherungslogik ein wesentlicher Paradigmenwechsel vollzogen. Dies ist der Schlüssel für eine Vereinfachung und zukunftsfähige Weiterentwicklung der LST.

Fast von Anbeginn der Stellwerksgeschichte stand das eigentliche Geschäftsobjekt Zug technikbedingt nicht im Mittelpunkt der Sicherungslogik, stattdessen wurde sich des Hilfsobjektes „Belegung“ innerhalb des Betriebsmodus „Fahren im festen Raumabstand“ bedient. Technische Weiterentwicklungen fanden kontinuierlich statt, aber auch das heutige elektronische Stellwerk (ESTW)/digitale Stellwerk (DSTW) arbeitet immer noch mit Belegungsinformationen, die a priori keinen Zugbezug haben. Daran ändert auch das Zusammenwirken mit dem RBC nicht viel, da beide Systeme nur wenig Informationen austauschen. Im Gegenteil, im RBC müssen aufwendig Zuordnungen von Zügen zu Fahrstraßen

(Signalen) ermittelt werden, die bei ungenügender Informationslage betrieblich hinderlich geringwertigere ETCS-Modi als die angestrebte Vollüberwachung (Full Supervision) am Anfang einer Fahrt erforderlich machen können. Ein weiteres Beispiel ist die Signalhaltfallbewertung im RBC: Hat ein Zug regulär durch Passieren des Signals den Signalhaltfall bewirkt oder liegt eine irreguläre Situation vor?

APS kennt hingegen keine Blöcke – unabhängig von seiner Fähigkeit zum Fahren im wan-

dernden Raumabstand („Moving Block“). Als zentrales Sicherungsobjekt anstelle des Blocks wird das sogenannte Movable Object (MOB) benutzt, eine Abstraktion im Wesentlichen von Zügen (in späteren Ausbaustufen aber auch von nicht-/teilweise spurgeführten Fahrzeugen wie Zweibegefahrzeugen sowie auch Beschäftigten im Gleis).

Folge-, Gegen- und Flankenfahrtschutz werden durch geometrische Betrachtungen (Ausschluss von Überlappungen) dieser MOB und der zuge-

i

Reference CCS Architecture

Heute ist bei Vollbahnen das Fahren im festen Raumabstand üblich, d.h. zur Sicherung von Zugfahrten wird die Belegung von ortsfesten Gleisabschnitten (Blöcken) festgestellt und Fahrten unter bestimmten Bedingungen in diese hinein zugelassen. Diese Philosophie prägt die Betriebsregeln und die Technik (insbesondere Stellwerke). Mit dem Aufkommen von Zugbeeinflussungssystemen wie Linienförmiger Zugbeeinflussung (LZB) und ETCS mit kontinuierlicher Datenübertragung und Überwachung entfiel die technische Notwendigkeit, eine Fahrerlaubnis an vordefinierten ortsfesten Punkten beginnen und enden zu lassen. Insbesondere bei der Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB) entstand die Idee, eine Fahrwegsicherung zu entwickeln, die die Möglichkeiten von ETCS bestmöglich nutzt. Die Idee eines ETCS-Stellwerks führte nach Diskussionen mit anderen Bahnen 2017 zur Gründung der Initiative „Reference CCS Architecture“ (RCA) durch ERTMS Users Group (EUG) und EULYNX mit dem Ziel, eine Architektur für eine moderne Sicherungstechnik auf Basis von ETCS L2/3 und EULYNX zu entwickeln. Dies wurde in einem Whitepaper [2] festgehalten. Die Digitalisierungsprogramme der DB, Network Rail und SBB schlossen im Jahr 2019 eine Vereinbarung zur vertieften Zusammenarbeit an diesem Thema.

Von 2018 bis heute wurden die jeweils erreichten Arbeitsstände der RCA regelmäßig veröffentlicht [1]. Im Herbst 2022 erfolgte die Publikation aller aktuellen Ideen und Konzepte im Release BL1 R0. Dieser Meilenstein markiert auch den Übergang der Arbeit zu Europe's Rail. In diesem Programm der Europäischen Kommission finden sich die wesentlichen Ansätze von RCA wieder. In System Pillar (Standardisierung) und Innovation Pillar (Forschung & Entwicklung) werden Bahnen und Industrie ab Herbst 2022 gemeinsam an der Entwicklung einer europäischen Sicherungstechnik arbeiten.

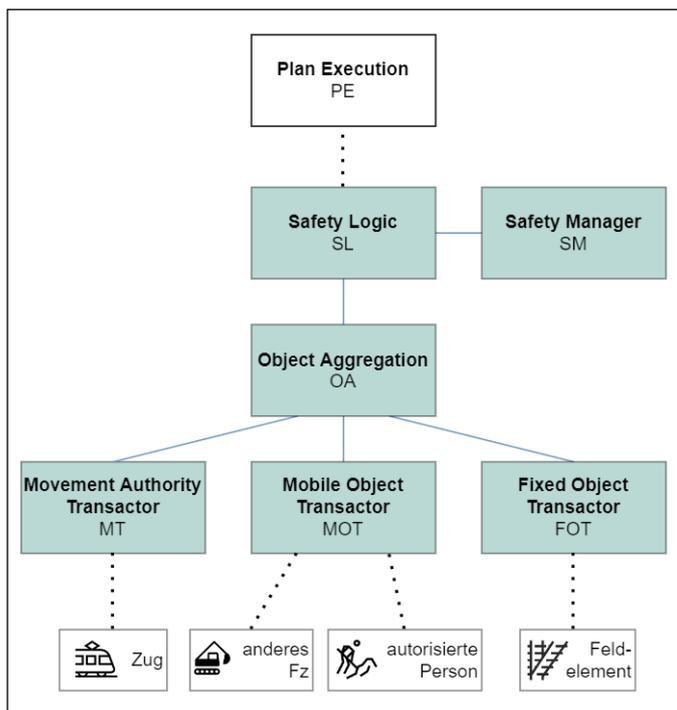


Abb. 3: Architektorentwurf für APS Quelle: Digitale Schiene Deutschland/DB Netz AG

hörigen Fahrterlaubnis (Movement Permission – MP) erreicht. Die Anfrage seitens PE für eine Fahrterlaubnis umfasst daher lediglich die Anfrage einer Fahrt vom Start (der gegenwärtigen Position der Zugspitze) zum Ziel der Fahrt. Es ist dabei im Ermessen von PE (in Anbetracht der Produktionsaufträge des Fahrplans und weiterer Restriktionen), wo das Ziel liegt. Aus Sicht der Sicherheitslogik in APS ist jedes Ziel akzeptabel, sofern die grundlegende Sicherheit der Fahrt erfüllt ist. Ob dies betrieblich sinnvoll ist, obliegt nicht der Einschätzung von APS.

Somit ist es für APS auch transparent, ob betrieblich als Ziel fest vordefinierte Punkte (wie heutige ortsfeste Signale) oder quasi-kontinuierlich dynamische Punkte („Moving Block“) angefragt werden. Nach außen können je nach Umgebung unterschiedliche Systemtypen umgesetzt werden (Abb. 2):

- Fahren im festen Raumabstand gleisseitig freigemeldeter Abschnitte (feste Blöcke)
- Fahren im festen Raumabstand kombiniert fahrzeugpositions- wie gleisseitig freigemeldeter Abschnitte (reale und virtuelle feste Blöcke – Hybrid Level 3)
- Fahren im kombiniert festen oder wandernden Raumabstand (reale und wandernde virtuelle „Blöcke“)
- Fahren im wandernden Raumabstand („Moving Block“)

Die Unterstützung unterschiedlicher Systemtypen ermöglicht den Einsatz eines standardisierten APS in unterschiedlichen Konfigurationen des Gesamtsystems. Dadurch wird insbesondere die Migration ausgehend von der heute sehr diversen LST vereinfacht.

Architektur und sich daraus ergebende Vorteile

Mit der Veröffentlichung von RCA BL1 R0 ist bereits die grundlegende Architektur von APS entworfen und sind die wesentlichen Konzepte erläutert (Abb. 3).

Die Kommunikation mit dem Zug und die Umsetzung in Subset-026 erfolgt durch den MT. Er dient der Abstraktion vom konkreten ETCS-Protokoll, weitergehende Logik ist dort nicht implementiert.

Der Fixed Object Transactor (FOT) wiederum abstrahiert von den konkreten Feldelementen (wie Weichen, Bahnübergängen) und kommuniziert mit ihnen über EULYNX-SCI-Schnittstellen.

Der Mobile Object Transactor (MOT) erlaubt einerseits die Anbindung von Fahrzeugen ohne ETCS (z.B. Zweigegefahrzeuge, abgestellte Wagen) und sorgt andererseits für die Einbeziehung von systemeigenen Personen (z.B. Beschäftigte im Gleis). Die Arbeitssicherheit (Warnung vor herannahenden Zügen, Abhängigkeit angefragter Fahrterlaubnisse davon) wird von Anfang an als integraler Systembestandteil berücksichtigt.

Eine wichtige Rolle nimmt die Object Aggregation (OA) ein, in der die Abstraktion Movable Object gebildet wird: einerseits aus Position Reports (Positionsdaten mit gesicherter Zugintegrität und -länge), andererseits aus streckenseitiger Gleisfreimeldeinformation (besonders für das Zugende von Zügen ohne oder mit gestörter Zugintegritätsüberwachung). Denkbar ist auch jede zukünftige Ortungstechnologie als weitere Datenquelle. Informationen aus der Gleisfreimeldung beim Belegen oder Freifahren werden lediglich zur Positionierung verwendet und stehen in keinem Zusammenhang mit einer Blockinformation.

Die eigentliche Sicherheitslogik (Safety Logic und überwachender Safety Manager) benötigt nur die Abstraktion Movable Object. Sie beschreibt den Zug als Objekt mit seiner Ausdehnung einschließlich Sicherheitszuschlägen. Ob sie rein durch Gleisfreimeldung, durch Position Reports oder beides ermittelt wurde, ist nicht ersichtlich und auch nicht relevant. Somit ist die Sicherheitslogik vollkommen unabhängig von der Lokalisierungstechnologie.

Eine weitere Abstraktion wird bei den beweglichen Fahrwegelementen vorgenommen. Sogenannte Drive Protection Sections (DPS, Abb. 4) beschreiben den allgemeinen Sachverhalt

der Kontinuität oder Diskontinuität des Schienenwegs. Ob der Fahrweg in eine bestimmte Richtung gestellt ist oder nicht, wird einheitlich allgemein abgebildet. Somit ist wiederum gewährleistet, dass die Sicherheitslogik keine konkreten Eigenschaften der beweglichen Fahrwegelemente kennen muss, sondern nur die wesentlichen: Eine Weiche verhindert oder ermöglicht in eine bestimmte Richtung eine Fahrt genauso wie eine Gleissperre, eine Hubbrücke, ein Wehrkammertor, eine Drehscheibe, ...

Schließlich gibt es noch Allocation Section (AS, Abb. 4) genannte Abschnitte in der Gleisopologie, die profilverletzende Fahrzeugbegegnungen kennzeichnen (Abbildung der Grenzzonenfreiheit bei Weichen ebenso wie Sonderfälle wie ungenügender Gleismittlenabstand). Diese statisch in der Projektierung hinterlegten Informationen sind ein weiteres Beispiel für Abstraktionen von konkreten Situationen – der Sicherheitslogik genügt die Prüfung des erfüllten Ausschlusses: Es darf nur ein MOB bzw. dessen MP eine Gruppe sich ausschließender AS belegen.

Die genannten Abstraktionen (MOB, DPS, AS) sind ein Beispiel für die vorteilhafte Architektur: Änderungen an konkreten Instanzen der abstrahierten Objekte schlagen nicht auf die Arbeitsweise der Sicherheitslogik durch: Würde beispielsweise Fibre Optic Sensing zur Ortung herangezogen werden, müsste lediglich das entsprechende EULYNX-Interface geschaffen sowie der FOT angepasst werden. Alle Komponenten oberhalb blieben unangetastet.

Aus dem bisher Genannten wird ersichtlich, welch großes Potenzial APS für eine neue, leistungsfähige, stabile, aber erweiterbare Sicherungstechnik hat. Das ist auch der Grund, sich bereits während des Roll-outs aktueller DSTW- und RBC-Produkte europäisch harmonisiert über die Weiterentwicklung leistungsfähiger LST Gedanken zu machen. Mit einer neuen Technikgeneration können weitere Potenziale für noch deutlichere Verbesserungen im europäischen Eisenbahnverkehr gehoben werden.

Weitere Vorteile

Im vorangegangenen Abschnitt sind einige technisch-betriebliche Vorteile von APS genannt worden. Darüber hinaus machen sich noch eine Reihe weiterer Verbesserungen bemerkbar.

Vereinfachung des Betriebs

Viele heutige Regeln in der Fahrdienstvorschrift sind gegenwärtiger, blockbasierter Technik geschuldet, was sich auch außerhalb des Regelbetriebs auswirkt.

Flexible Infrastrukturnutzung

Aufgrund zahlreicher Restriktionen der heutigen LST kann die vorhandene Infrastruktur ihr Potenzial vielfach nicht voll entfalten. Weit über eine beliebig feine Blockteilung bzw. „Moving Block“ hinaus zeigen sich mit einer zugzentrischen LST zahlreiche Möglichkeiten, die Infrastruktur besser zu nutzen. Beispielsweise können Bahnsteige flexibler genutzt werden (Mehrfachbelegungen,

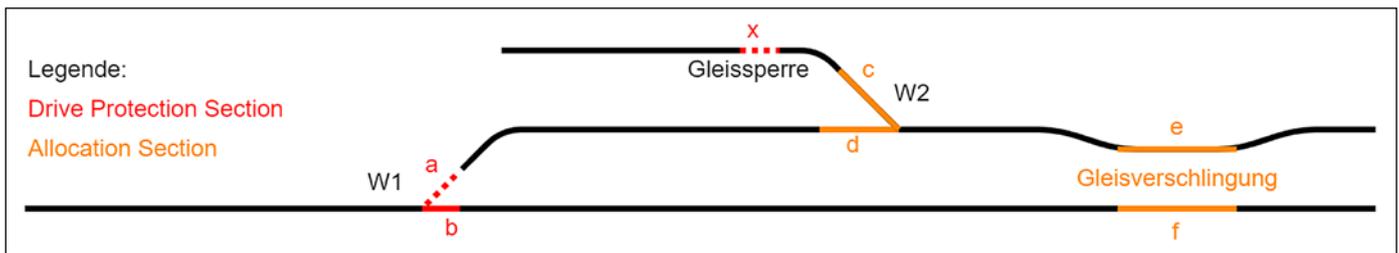


Abb. 4: Drive Protection Sections an beweglichen Fahrwelementen (dargestellt bei W1 und der Gleissperre) und Allocation Sections bei Lichtraumverletzungen (dargestellt bei W2 und der Gleisverschlingung). Nur ein Element der Tupel {a, b}, {c, d} usw. kann höchstens einer Movement Permission zugeordnet sein.

Quelle: Digitale Schiene Deutschland / DB Netz AG

Überstand). Durchrutschwege können zug- und situationsabhängig metergenau eingestellt, optimiert und dynamisch variiert, somit beispielsweise auch die Nutzlänge von Überholgleisen vielfach erhöht werden. Bei Zugkreuzungen könnte der wartende Zug bereits anfahren, während der einfahrende Zug noch den gemeinsamen Fahrweg belegt. Dazu wird zeitoptimal eine kurze Fahrerlaubnis bis kurz vor den Gefahrenpunkt erteilt, die dann nach Freifahren und Umstellen verlängert wird.

Weiterhin ergeben sich Potenziale durch die Ausnutzung der genauen Kenntnis der jeweiligen Zugeigenschaften und der aktuellen Betriebslage wie dynamische Geschwindigkeitsbeschränkungen, flexibles Tunnelbegegnungsverbot oder Adaption der zulässigen Geschwindigkeit an den aktuell verfügbaren Flankenschutz.

Verbesserter Verspätungsabbau

Die Ausschöpfung der Potenziale vom Fahren im wandernden Raumabstand im Regelbetrieb hängt stark von der Fahrplangestaltung ab (Zusammenfassung von ähnlich schnellen Zügen). Im Verspätungsfall tritt jedoch ein entscheidender Vorteil auf: auf einen verspäteten Zug kann schneller (dichter) gefolgt werden.

Reduktion der Außenanlagen

Über den bei ETCS L2oS bereits erzielten Verzicht auf ortsfeste Signale hinaus gibt es noch zwei wesentliche Einsparpotenziale: Auf viele (auch zur Kapazitätssteigerung) ansonsten notwendige Gleisfreimeldeabschnitte kann verzichtet werden. Somit entfallen die Installation und Wartung entsprechender Außenanlagen.

Vorteile bei Projektierung

Die generische Sicherungslogik verwendet als gemeinsame Datenbasis mit Systemen wie TMS und ATO eine digitale Karte. Bei der Projektierung wird im Wesentlichen nur das genaue Gleisnetz erfasst und validiert mit allen zugehörigen Attributen wie zulässige Geschwindigkeit, Neigung, Bogenradien. Bei der Erteilung einer Fahrerlaubnis verwendet APS die Echtzeit-Betriebslage und die jeweils gültige Version der digitalen Karte. Eine statische Projektierung von parallel zulässigen Fahrten oder von Gradientenprofilen ist nicht mehr notwendig. Zusätzlich sinkt der Projektierungsaufwand noch durch die Reduk-

tion der Anzahl von Feldelementen wie Balisen und Achszählern.

Zulassung

Generell wird eine Verringerung der Zulassungsaufwände erwartet (verringerte Komplexität, Modularität). Jedoch ist auch zu beachten, dass eine grundlegend neue Technik auch ein Umdenken im Zulassungsprozess und bei allen Beteiligten notwendig macht.

Wartbares und zukunftsicheres Produkt

Wie immer gehen mit neuen Technikgenerationen neue Chancen einher. Die Verschlingung der Sicherungslogik wird weitere Laufzeitvorteile bringen und z. B. durch striktere Modularisierung die Wartbarkeit verbessern sowie Produktlebenszyklen verbessern helfen. In diesem Kontext ist es auch wichtig, eine standardisierte Trennung von Applikationsmodulen (bis zu SIL 4) und den darunterliegenden IT-Plattformen einzuführen, wie auch u. a. durch RCA angestoßen und mittlerweile gemeinsam zwischen Bahnen und Industrie weiterentwickelt [4, 5]. Hiermit können die sehr unterschiedlichen Lebenszyklen der Domänen berücksichtigt und diese weitestgehend getrennt voneinander migriert werden, zudem bringt der Betrieb verschiedener Bahnapplikationen auf einer vereinheitlichten IT-Plattform wirtschaftliche Vorteile [6] und berücksichtigt auch von Anfang an Security-Anforderungen.

Durch verringerte Komplexität und die Möglichkeit, kleinteiligere Produkte zu entwickeln, werden sich Wettbewerbs- und Einkaufsvorteile auf einem sich durch europäische Harmonisierung vergrößernden Markt ergeben.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass APS eine Reihe von Vorteilen bringen wird. Dabei geht es gar nicht vorrangig – aber auch – um Kapazitätssteigerungen z. B. durch das Fahren im wandernden Raumabstand. Schließlich könnte dies auch – zulasten von Kosten für mehr Streckenausrüstung – annähernd mit gegenwärtiger Stellwerks- und RBC-Technik erreicht werden.

Sehr wesentlich ist die Vereinfachung des Produkts durch Konzentration auf sicherheitsrelevante Funktionen und Anwendung einer layerbasierten und die genannten Abstraktionen anwendenden Architektur. Insbesondere aus dem zugzentrischen Ansatz erwachsen viele Vorteile wie die generische und geometrische Sicherungslogik, modulare und anpassbare Ar-

chitektur, Kostenvorteile bei Projektierung und Zulassung. Gleichwohl werden höhere Anforderungen an Integrationsprozesse so modularisierter Komponenten, die von verschiedenen Herstellern stammen können, gestellt.

Ausblick

Die Arbeiten an RCA wurden in dem im September 2022 veröffentlichten RCA-Release BL1 R0 [1] konsolidiert. Die weitere Entwicklung wird voraussichtlich schwerpunktmäßig in Europe's Rail erfolgen: Im System Pillar sollen die wesentlichen Konzepte von RCA in der europaweiten Standardisierung verankert werden, während im Innovation Pillar ein Demonstrator mit ETCS L3 Moving Block auf Grundlage der APS-Konzepte geplant ist. ■

QUELLEN

- [1] RCA Releases: <https://public.3.basecamp.com/p/KeehqFmXv5R2N7tGdJa-Eokq>
- [2] RCA Whitepaper: https://ertms.be/sites/default/files/2018-09/18C044_1_White_Paper_Reference_CCS_Architecture.pdf
- [3] OCORA: <https://github.com/OCORA-Public/Publication>
- [4] Safe Computing Platform Whitepaper: https://github.com/OCORA-Public/Publication/blob/master/06_OCORA%20R2/OCORA-TWS03-010_Computing-Platform-Whitepaper.pdf
- [5] Safe Computing Platform API specification: https://github.com/OCORA-Public/Publication/blob/master/06_OCORA%20R2/OCORA-TWS03-030_SCP_Specification_of_the_PI_API_between_Application_and_Platform.pdf
- [6] SIL4 Data Center: https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/Signal%26Draht_113_10_21_SIL4DataCenter.pdf



Dipl.-Inf. Frank Skowron

Experte Digitaler Bahnbetrieb
 frank.skowron@deutschebahn.com



Dipl.-Ing. Roman Treydel

Experte Standardisierung
 Sicherungstechnik und ATO
 roman.r.treydel@deutschebahn.com

Beide Autoren:
 Digitale Schiene Deutschland
 DB Netz AG, Berlin