

Digitale Stellwerke tragen die Digitalisierung der Bahn

Ralph Müller

1 Gemeinsame Aufgaben – unterschiedliche Lösungen

Die Leit- und Sicherungstechnik (LST) der Bahnen bietet jenseits der beiden standardisierten ETCS-Luftschnittstellen (European Train Control System, ETCS) zwischen Zug und Infrastruktur, also Eurobalise und RBC-Funkschnittstelle (Radio Block Centre, RBC), eine große Vielfalt. Dies, obwohl die Aufgabe der LST aus nur drei Hauptfunktionen besteht:

- Sichern Fahrweg für die Zugfahrt garantieren
- sichere Geschwindigkeit der Züge garantieren
- Züge auf sicherem Abstand halten.

Diese Hauptaufgaben gelten international. Mit der Digitalisierung eröffnen sich nunmehr neue Chancen für Standards trotz immer noch vielfältiger und unterschiedlicher Projektanforderungen [1] (Abb. 1). In den vergangenen Jahren konnten die Entwicklungsmethoden und -werkzeuge für komplexe technische Systeme entscheidend verbessert werden, nicht zuletzt aufgrund der erheblichen Fortschritte in den Rechenleistungen und bei Programmierungen. Die Entwicklung der digitalen Stellwerke (DSTW) hatte das Privileg, auf die konsequente und kompetente Anwendung des modellbasierten Systemengineerings (MBSE) zu setzen. MBSE folgt

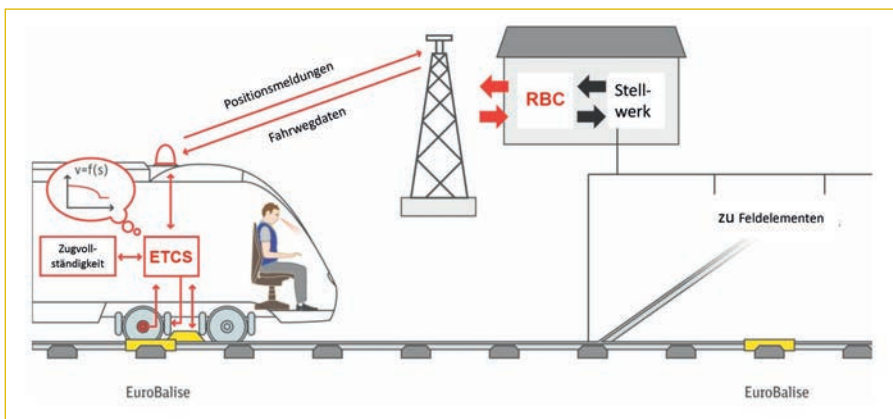


Abb. 1: Schematische Darstellung von ETCS Level 3

Quelle: DB

wie jedes planvolle Engineering dem V-Modell des Lebenszyklus eines technischen Systems. Dabei wird das frühere „Wasserfall“-ähnliche Vorgehen, in dem eine Stufe des V-Modells erst bei vollständigem Abschluss der vorherigen begonnen wird, zunehmend durch ein agileres Vorgehen abgelöst, bei dem Simulieren und Testen bereits in frühen Entwicklungsphasen Korrekturen erlaubt und damit Fehlerkosten und Zeitaufwände reduziert.

2 Der EULYNX-Erfolg: Digitalisierung erfordert Modularität

Das V-Modell wird für alle technischen Entwicklungen durchlaufen und die Rollen und Verantwortlichkeiten in jeder Stufe hängen entscheidend von den Anforderungen an das Zielsystem ab. Hier gab es in der LST einen Paradigmenwechsel bei der Einführung von Elektronik im sicherheitsrelevanten Bereich: In der Vergangenheit der mechanischen, elektromechanischen und Relais-Stellwerke hatten die Stellwerksbauteile (Innenanlage) und die Feldelemente im Außenbereich (wie Weichen, Signale, Bahnübergänge) ähnliche Nutzungsdauern. Folglich wurde die Gesamtanlage bisher von einem Hersteller geliefert, der für alle Teile eine Gesamtverantwortung „Ende-zu-Ende“ übernahm. Damit waren die Bahnen der Aufgabe der Systemintegration enthoben und fanden sich gleichzeitig in einem klassischen „vendor-lock“ wieder, da nur Ersatzteile des Systemherstellers verwendet werden durften und bereits geringfügige Änderungen an der Außenanlage, wie etwa ein Weichenein- oder -ausbau, die Mitwirkung des Systemherstellers erforderte.

Besonders die zahlreichen und werthaltigen Außenanlagen, die hohen Belastungen aus Zugfahrten und Umweltbedingungen ausgesetzt sind und entsprechend dauerhaft robust ausgeführt werden müssen, werden über mehrere Jahrzehnte abgeschrieben. Besteht die Innenanlage eines Stellwerks jedoch zunehmend aus Elektronik, so muss der Stellwerkskern schon deutlich früher als die Außenanlagen ersetzt werden. Die Identität der Lebenszeiten von Außen- und Innenanlage lässt sich also infolge der Digitalisierung selbst mit ausgefeilten Instandhaltungsprozessen nicht mehr erreichen (Abb. 2).

Diese Herausforderung wurde von allen Beteiligten bereits in den 1990er Jahren erkannt, zu deren Ende das Förderprojekt Eurointerlocking aufgesetzt wurde – leider ohne die erwarteten Ergebnisse zu liefern. Folgerichtig wurde das EU-Förderprojekt INESS (Integrated European Signalling System) von 2008 – 2012 initiiert mit den Zielen:

- Geschäfts- und Kooperationsmodelle zur Unterstützung von Migrationsstrategien für ERTMS zu entwickeln
- Datenformate, Entwicklungswerkzeuge, Datentransfer für den Betrieb und Datenflüsse in Systemarchitekturen zu harmonisieren und dabei die Wissensgrundlage über Anlagen in der Eisenbahninfrastruktur zu vergrößern

- gemeinsame validierte standardisierte funktionale Anforderungen an künftige Stellwerke zu entwickeln
- den Einfluss von ETCS Level 2 (ohne Signale, mit Gleisfreimeldetechnik) und Level 3 (ohne Signale, ohne Gleisfreimeldetechnik aufgrund dynamischer Fahrzeugortung) auf die Funktionsarchitektur zu erkennen und eine Architektur für Stellwerke und angeschlossene Teilsysteme (Feldelemente) vorzuschlagen
- sicherheitsverifizierte Testwerkzeuge und -techniken bereitzustellen, um die Prüfung und Inbetriebnahme signaltechnischer Anwendungen zu ermöglichen
- einen effizienten Weg zum Verständnis des Sicherheitsnachweis-Prozesses entsprechend der relevanten CENELEC-Norm zu finden.

Diese Ziele waren damals ambitioniert – und sind es noch heute. Wie schon zuvor im Eurointerlocking-Projekt wurden sie auch vom 16 Mio. EUR teuren INESS-Projekt verfehlt. Die hauptmotivierten Bahnen beschlossen daher, unter Verzicht auf jegliche Förderung die INESS-Ziele in eigener Verantwortung zu verfolgen. Vorteilhaft war, dass die DB Netz AG (DB Netz) bereits ab 2012 an einer signaltechnischen Systemarchitektur mit den dazu nötigen Datenschnittstellen-Spezifikationen im DB Netz internen Projekt NeuPro (Neuausrichtung der Produktionssteuerung) arbeitete.

Ein Kernteam von sechs Eisenbahninfrastrukturbetreibern initiierte im Jahr 2014 EULYNX zur eigenverantwortlichen Umsetzung der INESS-Ziele, von Anfang an als offene Entwicklungsplattform mit PTC Windchill Modeler [2] als gemeinsamem Entwicklungswerkzeug und frei auf der EULYNX-Website [3] veröffentlichten Standards. Die DB Netz AG brachte ihre NeuPro-Spezifikationen in englischer Sprache ein – ein Novum für die bisher national geprägten Stellwerksabteilungen. Der mutige Einsatz und sichtbare Erfolg der Eisenbahnen wurde durch weitere Beitritte europäischer Bahnen belohnt: Aktuell bekennen sich bereits 14 Bahnen zu EULYNX, weitere Bei-



Abb. 2: LST ohne EULYNX- Standardschnittstellen führt zu schweren wirtschaftlichen Nachteilen, da ein Ersatz der Stellwerksinnenanlage stets den Ersatz werthaltiger Außenanlagen erfordert. Beispiel: Bahnhof Aulendorf, 5. Juli 2020

Quelle: Ralph Müller

tritte sind in Vorbereitung. Trotz der angespannten Finanzsituation nahezu aller Eisenbahninfrastrukturbetreiber zeigen deren finanzielle und fachliche Beiträge zu EULYNX die gemeinsame Überzeugung und den festen Willen zur Kooperation.

In weniger als drei Jahren war es EULYNX gelungen, eine erste Baseline im März 2017 zu veröffentlichen. Diese bildete zugleich die Basis für die Ausschreibung von Bane NOR zur Umstellung des gesamten norwegischen Eisenbahnnetzes auf ETCS Level 2 auf der Basis von EULYNX-Stellwerken. Bereits Ende 2017 wurden mit der zweiten Baseline und Ende 2018 mit der dritten Baseline weitere Meilensteine erreicht. Neben kleineren Ergänzungen und Erweiterungen in Form zwischenzeitlicher Releases wird Ende 2021 mit der vierten Baseline das Gesamtpaket der EULYNX-Standards voraussichtlich abgeschlossen werden. Bis dahin werden nach der Pilotierung in Norwegen und ersten Projekten in Deutschland, den Niederlanden und Frankreich die EULYNX-Standards die Ausschreibungsgrundlage für DSTW in Europa und vielen Teilen der Welt bilden.

Was ist nun das Erfolgsrezept von EULYNX? Wie konnte eine Standardisierung einer LST-Architektur und von Datenschnittstellen zwischen dem Stellwerkskern und den Feldelementen bei der großen Vielfalt unterschiedlicher historisch gewachsener Stellwerksarchitekturen in Europa gelingen?

In der Rückschau gab es folgende Erfolgskriterien:

Die gemeinsame Systemarchitektur wurde frühzeitig festgelegt.

Eine „Neuerfindung“ der LST oder ein Prinzipienstreit zwischen den bestehenden LST-Varianten in Europa wurde von vornherein vermieden. Ganz pragmatisch wurde anerkannt, dass die bestehende Regelungsvielfalt eine direkte Folge der national isolierten und europäisch unkoordinierten historischen Stellwerksentwicklungen und Sicherheitsphilosophien darstellt, insbesondere für Störungsfälle. Entsprechend bildet die EULYNX-Architektur die bewährte Aufteilung zwischen einer Stellwerksinnenanlage und den damit verbundenen Außenanlagen, den Feldelementen, als Gesamtheit des Sicherheitssystems ab. Zwischen der Innenanlage und den Feldelementen bestehen Datenschnittstellen in Form von Standard-Steuerungsschnittstellen (SCI - Standard Control Interfaces). Entsprechend der Anforderungen und Möglichkeiten der digitalen LST gibt es ergänzend sogenannte Standard-Instandhaltungsschnittstellen (SMI – Standard Maintenance Interfaces) und Standard-Diagnoseschnittstellen (SDI – Standard Diagnostic Interfaces). Da davon ausgegangen werden darf, dass sowohl für den Stellwerkskern als auch für die Feldelemente die Rechenleistung und Sensorik stetig verbessert werden, ist die EULYNX-Architektur offen für künftige Anforderungen in Bezug auf Software-Patches via SMI als auch wachsende Diagnoseabdeckung via SDI. Die sicheren Grundfunktionen werden über die SCI gesteuert, deren Standardisierung ein zentrales Erfolgskriterium darstellt, das im Folgenden beschrieben wird (Abb. 3).

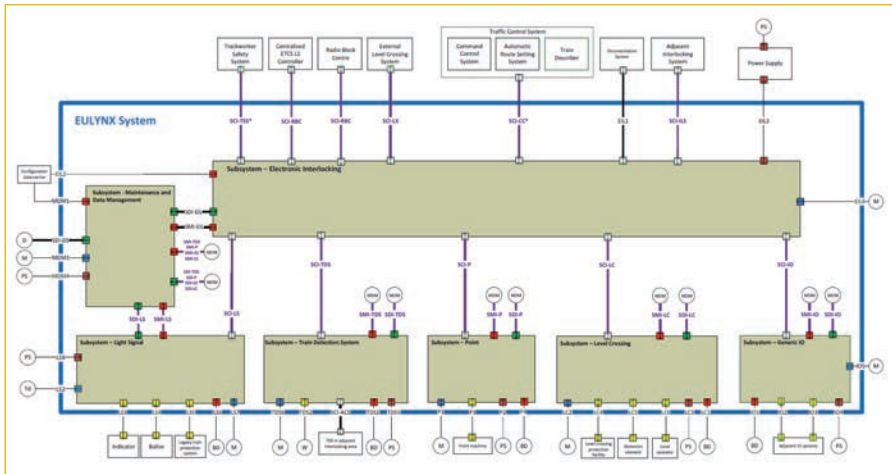


Abb. 3: Die EULYNX-Architektur

Quelle: EULYNX

Die EULYNX-Datenschnittstellen sind inklusive Standards.

Bisherige Standards außerhalb von EULYNX wurden nach dem Prinzip der gemeinsamen Schnittmenge, also des kleinsten gemeinsamen Nenners, entwickelt. Das bedeutet für jedes Projekt, das solche „exklusiven“ Standards anwenden möchte oder gar muss, dass wesentliche projektspezifische Ergänzungen erarbeitet werden müssen, um die geforderten Funktionen überhaupt vollständig realisieren zu können. Damit ist ein „exklusiver“ Standard nicht mehr hinreichend und wird selbst zum Treiber für Vielfalt.

In EULYNX wurde der umgekehrte Weg beschritten: Alle Funktionsanforderungen für das Zusammenwirken vom Stellwerkskern und einem Teilsystem, etwa einer Weiche oder einem Lichtsignal, wurden von allen mitwirkenden Bahnen erfasst und auf Übereinstimmungen und Abweichungen analysiert. Der EULYNX-Standard für jede Datenschnittstelle wurde als inklusiver Standard mit dem Anspruch entwickelt, alle Anforderungen der Bahnen abdecken zu können. Die von allen gemeinsam genutzten Daten bilden den „Default“-Datensatz. Die nur von einzelnen Bahnen benötigten Daten sind mit dem Attribut des Länder-Codes der entsprechenden Bahn versehen und werden zusätzlich bei den entsprechenden nationalen Implementierungen zwischen Stellwerk und Teilsystem verwendet. Für die Technikentwicklung hat das den entscheidenden Vorteil, dass die Gesamtheit aller Anforderungen von vornherein transparent und vollständig beschrieben ist und die national benötigte Datenteilmenge einer EULYNX-SCI auf dem Wege der Parametrisierung von EULYNX-konformen Produktplattformen erreicht werden kann. Das EULYNX-Variabilitätsmanagement ermöglicht damit eine

Vielzahl unterschiedlicher Funktionsvarianten bei Standardtechnikentwicklungen. Da aber der „Teufel im Detail“ liegt und die genaue Analyse bereits im Erkunden der Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Anforderungen zwischen den Bahnen essenziell war, folgt nun das dritte Erfolgskriterium (Abb. 4). **Die Teilsysteme und Datenschnittstellen wurden mit formalen Methoden spezifiziert.**

Bereits bei Standardisierungsarbeiten unter Muttersprachlern versagt die natürliche Sprache als Garant für Eindeutigkeit und Vollständigkeit. Daher haben exakte Wissenschaften wie die Mathematik, Physik und Informatik ihre eigenen Sprachsysteme in Form von Formeln erschaffen, und das Ingenieurwesen tut gut daran, sich dieser

zu bedienen. Umso wichtiger wird dieser Grundsatz bei internationaler technischer Zusammenarbeit mit zusätzlichen Sprachbarrieren beim Spezifizieren in der gemeinsamen Fremdsprache Englisch. EULYNX hat daher von Anfang an ein gemeinsames Modellierungs-Werkzeug (PTC) für die technischen Teilsysteme und Schnittstellen verwendet, das auf der System-Modelling-Language (SysML) [4, 5] basiert. Wie erwarben nun langjährig erfahrene LST-Ingenieure der Bahnen diese neue Fähigkeit? Dies wurde durch ein „Twinning“ der LST-Erfahrungsträger mit erfahrenen Modellierern, Experten im modellbasierten System-Engineering (MBSE), ermöglicht. Die Modellierer transformierten die Anforderungen der LST-Ingenieure in Diagramme (Modelle), die bereits formal die geforderten Funktionen beschreiben und damit den früher üblichen Textspezifikationen weit überlegen sind. Die modellierten Teilsysteme wurden dann in Form ausführbarer Zustandsautomaten simuliert, und zwar für jede Netzkonfiguration separat. Beispielsweise wählten die Weichenexperten der Deutsche Bahn AG (DB) die Einstellung „DB“ an der Grafikoberfläche für das Stimulieren des Objekt-Controllers der Weiche im Sinne von Stellwerksbefehlen oder (Stör-)Zuständen der Weiche und erhielten vom Simulator die Antworten des Teilsystems Weiche. Obwohl das durch intensives Testen ermittelte Teilsystemverhalten weit überwiegend erwartungsgemäß war und damit die hohe Spezifikationsqualität bewies, traten auch Testfälle auf, die zu

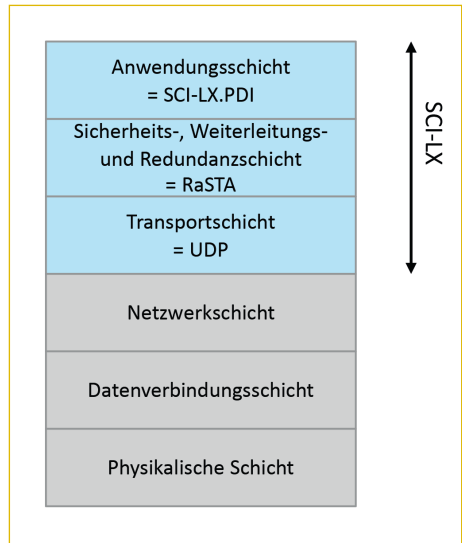


Abb. 4: Beispiel eines EULYNX-SCI-Standards für Bahnübergänge (LX)

Quelle: DB Netz / A. Rasheeq

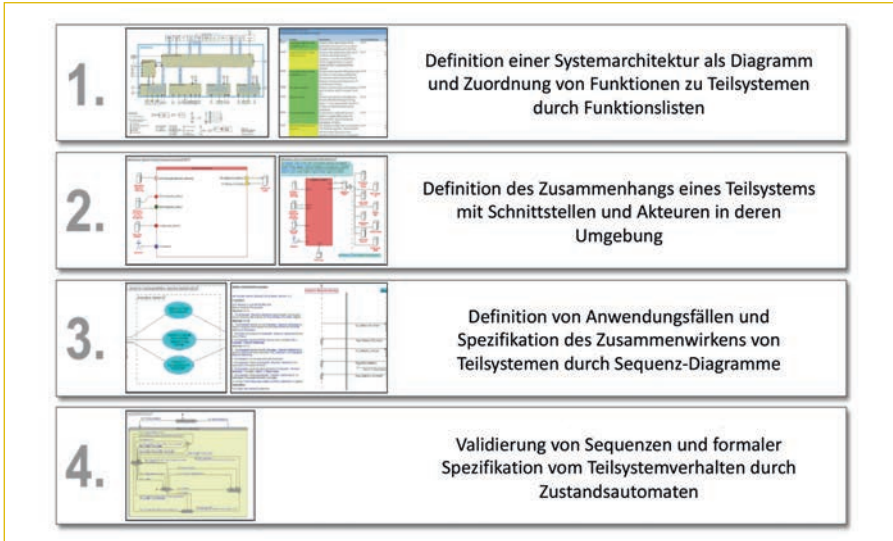


Abb. 5: Modellbasiertes Vorgehen im Systemengineering führt zur Validierung von Anwenderanforderungen auf der Basis simulationsfähiger Zustandsautomaten.

Quelle: www.eulynx.eu

Korrekturen an den Modellen führten und damit die Notwendigkeit dieser modell-simulationsbasierten Validierung von Nutzeranforderungen nachdrücklich zeigen. Dabei stellt die Konformität mit den Anwenderanforderungen nur einen ersten notwendigen Schritt in der Nachweisführung für die LST dar.

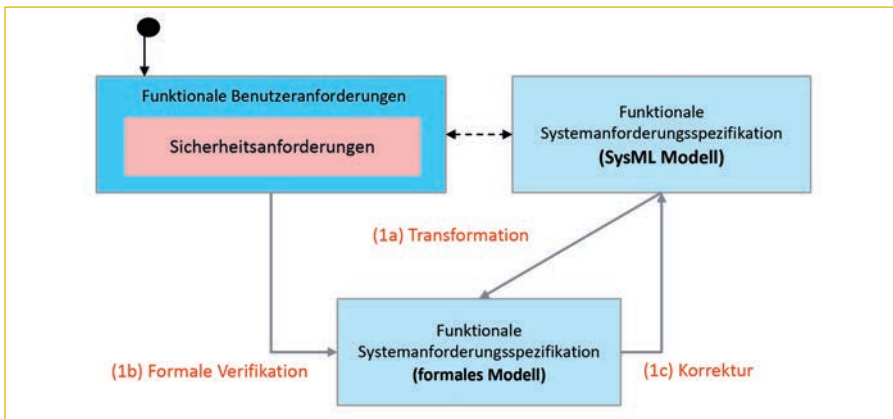


Abb. 6: Prinzip der formalen Spezifikation und Verifikation

Quelle: DB Netz / A. Rasheeq

Die Vielzahl von Review-Zyklen der Modelle unter früher Einbeziehung interessierter LST-Hersteller sollte nach allgemeiner Erwartung zu nahezu fehlerfreien Spezifikationen führen. Doch zur Überraschung der LST-Ingenieure – nicht der Modellierer – offenbarten selbst die allseits als fehlerfrei bewerteten Modelle in der Simulation noch Fehler. Dies erlaubte Korrekturen an den Modellen und bestätigt eindrucksvoll die Notwendigkeit von Simulationen zur Validierung von Anwenderanforderungen (Abb. 5). Jenseits aller validierten Nutzeranforderungen verlangt ein vollständiger Sicherheitsnachweis den Einsatz formaler Methoden, sodass die Überführung der EULYNX-SysML-Modelle in vollformale Modelle (etwa in den Sprachen EVENT-B oder mcr12) im Fokus der aktuellen Arbeiten steht (Abb. 6).

3 EULYNX als Marke

EULYNX hat nicht erst seit seinem weithin beachteten Messeauftritt auf der InnoTrans 2018 mit einem modularen Stellwerk unter Integrationsverantwortung der Bahnen auf der Basis der EULYNX-Standards weltweit Beachtung gefunden. Bereits zuvor und verstärkt in jüngster Zeit bemühen sich LST-Hersteller um Konformität mit den EULYNX-Standards [8-10].

Dieses Bemühen wollen die EULYNX-Bahnen nach Kräften fördern und dabei faire und gleiche Randbedingungen für alle Wettbewerber sicherstellen. Hierzu genügt nicht allein die freie und offene Bereitstellung aller EULYNX-Standards zum kostenlosen Download, wie dies von Anfang an ein Grundprinzip von EULYNX darstellt, sondern auch die Veröffentlichung aller Vorgaben für Konformitätstests durch unabhängige Prüfstellen, wie dies auch für ERTMS geübte Praxis ist. Mit der Fertigstellung aller EULYNX-Standards verschiebt sich der Fokus der Arbeiten in EULYNX daher auf die zertifizierte Konformitätsprüfung nach EN ISO/IEC 17025:2018 als eine Voraussetzung zur Integration von EULYNX-konformen Produkten unabhängig vom Produkthersteller.

4 EULYNX als Digitalisierungskatalysator

EULYNX findet nicht zuletzt deshalb so viel Zuspruch unter den Bahnen in Europa und weltweit, weil EULYNX-Standards eine sanfte Migration hinein in das mit vielen Risiken und vor allem Chancen versehene Anwendungsfeld der Digitalisierung ermöglicht. Warum ist das so? Die historisch gewachsenen Signaltechnikarchitekturen lassen keine einfache modulare Zerlegung mit Standardschnittstellen zu. Bereits innerhalb der Bahnen bedeutet die Wahl verschiedener Hersteller häufig, dass die Funktionszuweisung in verteilten Anlagen im Detail unterschiedlich ausfällt. Ganz augenscheinlich wird das am Beispiel des Bahnübergangs: Es gibt solche, die quasi als vollständig abhängige Außenanlage den Befehlen des Stellwerks folgen, das die sichere Ein- und Ausschaltung verantwortet. Und es gibt Anlagen, die über eine gewisse Autonomie

und dezentrale Verantwortung in Bezug auf die Ein- und Ausschaltlogik verfügen und eher Basis- und Statusinformationen mit dem Stellwerk austauschen.

Wie sollen bei einer derartigen Vielfalt Schnittstellenstandards entstehen? EULYNX hat einen einzigartig pragmatischen Weg eingeschlagen: Die Abbildung der zahlreichen unterschiedlichen LST-Architekturen in einer an die Hardware-Implementierung angelehnten Systemarchitektur (Abb. 3), in der eine Zentraleinheit, also eine Stellwerksinnenanlage, mit einer wechselnden Anzahl von Außenanlagen, den Feldelementen, verbunden ist. Die Aufteilung von Funktionen zwischen Innen- und Außenanlagen ist, wie schon beschrieben, zwischen Bahnen und Herstellern oft unterschiedlich. Auch die Sicherheitsprinzipien und die Rückfallebenen für Störungszustände unterscheiden sich trotz der drei eingangs genannten systemischen Hauptfunktionen im Detail. EULYNX hat den Fokus auf die Schnittstellen zwischen Innenanlage und den Feldelementen gerichtet, denn dort findet die Änderung vom elektronischen zum digitalen Stellwerk (DSTW) tatsächlich statt: Während der Stellwerkskern bei ESTW und DSTW im Prinzip gleich sein kann – sichere Rechentechnik mit sicheren Algorithmen –, erfolgt die Ansteuerung und Überwachung der Feldelemente IP-basiert mittels Daten anstelle der analogen Ansteuerung, wie sie bei ESTW in Gebrauch ist. Das ermöglicht nicht nur unbegrenzte Stellentfernungen, sondern auch neue und vielfältige Diagnosemöglichkeiten, wie sie für ESTW nicht denkbar waren.

Die EULYNX-Schnittstellen sind, wie oben beschrieben, inklusive Standards, sodass jede bahnspezifische Implementierung nur einen Teil des Datentelegramms auf der Applikationsebene nutzt. Dennoch gelingt damit eine Standardisierung nicht nur der beteiligten Hardware-Funktionen und Schnittstellen, sondern auch der relevanten Software-Module. Damit entfallen zum einen projektspezifische Erweiterungen, wie sie typisch für viele traditionelle exklusive Standards klassischer Normungsorganisationen sind, die bisher das Ziel technischer Kompatibilität im Sinne eines „plug & play“ deutlich verfehlen. Zum anderen wird den Bahnen eine schrittweise Migration ermöglicht, in der anfangs nur einzelne Schnittstellentypen in der vorhandenen Stellwerksarchitektur digitalisiert und auf den EULYNX-Standard gehoben werden und andere Schnittstellenarten in analoger Technik bestehen bleiben. Diese „Mischbestückung“ wurde ebenfalls mit dem EULYNX-Stellwerk auf der InnoTrans 2018 (Abb. 7) gezeigt: Die Schnittstellen zu Weichen und Achszähler waren digital als SCI-P und SCI-TDS ausgeführt worden, das Lichtsignal wurde weiter analog angesteuert. Gerade für Bahnen, die noch länger abzuschreibende Alttechnik vorzuhalten haben, ist EULYNX damit ein idealer Einstieg in eine schrittweise Digitalisierung der LST. In der Digitalisierung mit ihren kurzen Entwicklungszyklen ist jede Investitionsentscheidung von Bahnen vor dem Hintergrund langlebiger öffentlich geförderter Anlagen und langfristigen Interoperabilitätsanspruch bisher häufig gehemmt, da jede Investition durch kurzfristigen technischen Fortschritt überholt zu werden scheint.

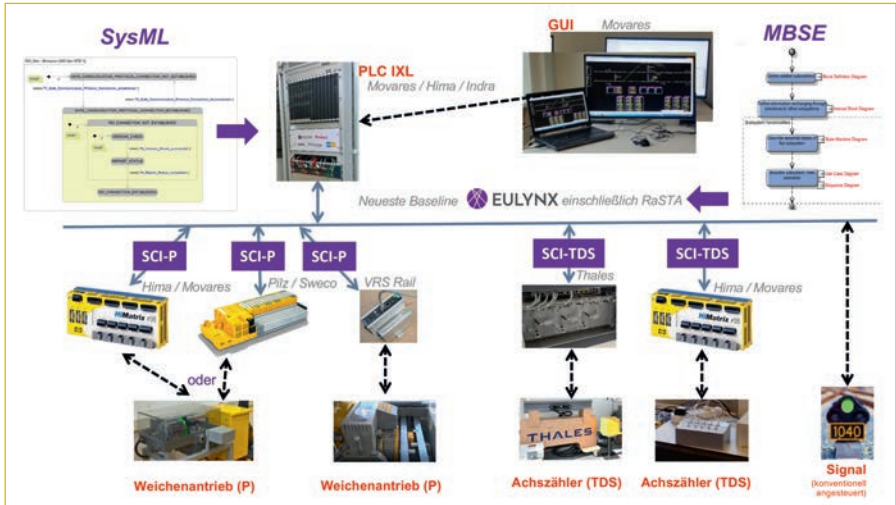


Abb. 7: Stellwerkskonfiguration auf der InnoTrans 2018

Quelle: EULYNX / ProRail, Maarten van der Werff

Wohl in keinem anderen Bereich bewahrheitet sich die Regel, wonach das Bessere des Guten Feind sei, mehr, als im Bereich der Digitalisierung der Bahnen. In der Vergangenheit der ETCS-Entwicklung gab es untaugliche und sachfremde Versuche, digitale Technik „per Dekret“ einzufrieren, um vermeintliche „Spezifikationsstabilität“ zu schaffen. Tatsächlich

Ziel: Standard-Schnittstellen für alle verbundenen Systeme

- Austauschbarkeit von Objekt-Steuergeräten verschiedener Hersteller
- Kostensenkung durch weniger Ausrüstung, preiswerten Einkauf, mehr Wettbewerb und verringerte Abhängigkeit von Herstellern
- Urheberrechte bei den Eisenbahn-Infrastruktur-Unternehmen
- Neue Technik und neue Methoden bieten mehr Möglichkeiten, zum Beispiel schnellere Migration

Standards schaffen Märkte, Märkte ziehen Produkte an.
 Offenes Vorgehen (Quellinformation frei verfügbar) verhindert Abhängigkeit durch proprietäre Anwendungen

Abb. 8: EULYNX-Ziele

Quelle: EULYNX / ProRail, Maarten van der Werff

war damit selbst die Fehlerbehebung behindert worden – wohl das Letzte, was ein verantwortungsvoller LST-Experte sich wünschen kann. EULYNX geht daher den Weg der Digitalisierung vorhandener Funktionen, was allein schon bei der europäischen Vielfalt bestehender LST-Funktionen einen nötigen Zwischenschritt darstellt, um über die damit mögliche Implementierung digitaler Technik erst die Voraussetzung für flexible Funktionsänderungen und die Migration zu Zielspezifikationen zu schaffen. Das europäische Zielsystem der digitalen Bahn wird im folgenden Kapitel vorgestellt (Abb. 8).

5 RCA, die EULYNX-Evolution

Das europäische Zielsystem für die digitale Bahn geht von folgenden Voraussetzungen und Annahmen aus (Abb. 9):

- ETCS Level 2 und höher (sichere Fahrzeugortung, flexible Blockstrecken)
- FRMCS (5G) als Mobilfunkstandard, der keine bahnspezifischen Telekommunikationsprodukte mehr benötigt
- Trennung von Hardware und Software, sodass funktionale Änderungen keinen Ersatz vorhandener Anlagen erzwingen
- Was automatisiert werden kann, wird automatisiert werden [11].
- Was vernetzt werden kann, wird vernetzt werden.

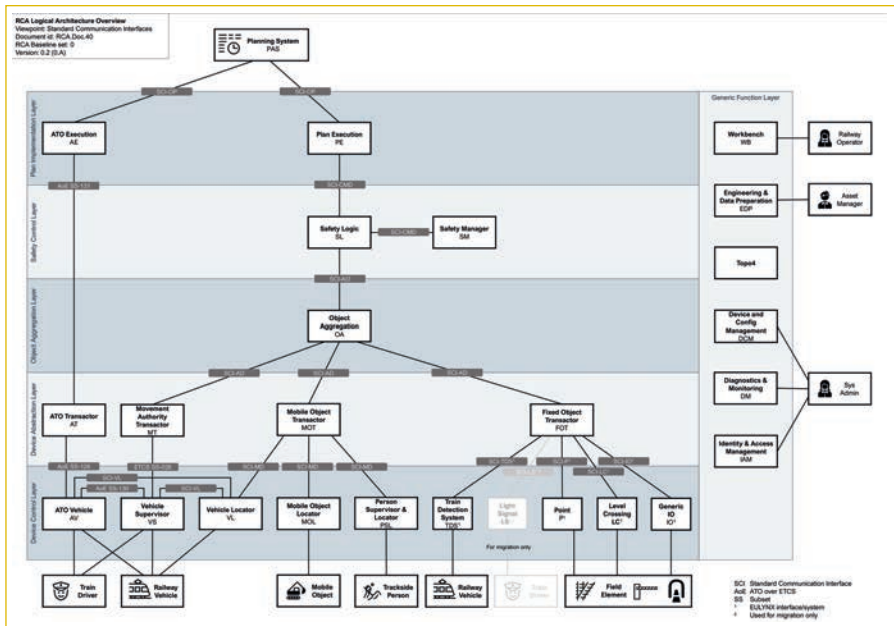


Abb. 9: RCA

Quelle: www.eulynx.eu

- Die Trennung von Sicherheitsfunktionen von nicht sicheren Funktionen ist zunächst eine essenzielle Architekturvorgabe. Dabei bedeutet diese Trennung nicht zwingend den Aufbau physikalisch getrennter Medien, sondern kann fallweise auch mittels VPN und Firewalls erfolgen.
- IT-Security wird ein wachsendes Erfolgskriterium für die Sicherheit und Resilienz der digitalen Bahn.
- Das technische Zielbild folgt dem betrieblichen Zielbild: Keine Unterscheidung mehr zwischen Bahnhof und freier Strecke, zwischen Zug und Rangierfahrt, d.h. alle Fahrzeugbewegungen im Regelbetrieb finden überall gleich sicher statt.

Mit diesen Kriterien lassen sich völlig andere Systeme verwirklichen, die letztlich nur durch die Rechen- und Kommunikationsleistungsfähigkeit der eingesetzten Technik begrenzt werden, für die die Annahme stetiger Steigerung gilt. Insbesondere die Trennung von Hardware und Software ist eine wichtige Voraussetzung für Migration und Evolution: Die verwendete Hardware bestimmt die Leistungsfähigkeit der Anwendungen. Die anwendungsunterstützenden Dienste sind industrieübliche Standardverfahren unter Verwendung von bewährter, standardisierter, skalierbarer und performanter Middleware, sodass die Applikationen (die „Apps“) des Bahnbetriebes weitgehend unabhängig von der verwendeten Technik weiterentwickelt werden können. Hierzu wird eine hierarchische Datenarchitektur benötigt, die offen und erweiterbar ist. Auf dieser Grundlage kann jede Funktion autonom steuern, welche Daten sie anbietet und welche sie braucht und in welcher Qualität (Sicherheit, IT-Sicherheit, Geschwindigkeit, Beständigkeit, Verzögerung, Rechte, Anwendungsgebiete, ...). An transportunabhängigen, echtzeitfähigen und sicherheitsrelevanten Lösungen wird aktuell gearbeitet.

Aufgrund oben genannter Prämissen entfallen bei RCA (Reference CCS Architecture, dt.: Referenz-LST-Architektur) Feldelemente der klassischen LST mit fester Blockteilung, gesichert durch ortsfeste Gleisfreimeldung und Signale. Für die weiterhin vorhandenen Weichen, Bahnübergänge und sonstigen Feldelemente unter Sicherheitsverantwortung gelten auch bei RCA die EULYNX-Standards. Wie schon für EULYNX kommen für RCA sichere Datenkommunikation nach dem offenen RASTA-Standard und umfassende IT-Sicherheitsverfahren (Verschlüsselung, VPN) zur Anwendung (Abb. 10). Das Stellwerk wird bei RCA funktional mit dem RBC von ETCS vereinigt und in ein modulares automatisches Sicherheitssystem (APS) überführt. Wie funktioniert nun eine sichere Zugfahrt bei RCA im Vergleich zur klassischen LST mit Blockteilung, wie sie von EULYNX repräsentiert wird?

Jede Zugfahrt beginnt im Planungssystem des Verkehrsmanagements (TMS-PAS) mit der Erstellung eines Fahrplans. RCA ist der Anwender des Fahrplans. Zur vorgesehenen Fahrplanzeit beginnt RCA, die beauftragte Zugfahrt durchzuführen. Angenommen, das dafür nötige Fahrzeug ist abgestellt und ausgeschaltet. Das

Gleisfreimeldesystem meldet, dass ein Gleisbereich mit diesem Fahrzeug belegt ist. Der Gleisbereich ist in der Topologie definiert. Solange RCA nicht weiß, warum der Gleisbereich belegt ist, erzeugt RCA ein „unbekanntes gleisgebundenes Bewegungsobjekt“. Sobald das Fahrzeug eingeschaltet wird, verbindet es sich mit RCA (klassisch: ETCS Fahrzeuggerät mit dem RBC). Nun kennt RCA den Grund der Gleisbelegung. Die Gleisbelegung hätte auch durch mehrere Fahrzeuge verursacht sein können. In diesem Fall nahm RCA jedoch keine andere Bewegung auf dem belegten Gleis wahr und es wurde auch keine Längenveränderung für das Fahrzeug gemeldet. Daher wird als sicher angenommen, dass die Gleisbelegung nur von dem einzelnen Fahrzeug verursacht wurde. RCA wandelt daher das „unbekannte gleisgebundene Bewegungsobjekt“ in ein „bekanntes gleisgebundenes Bewegungsobjekt“ um. Zur Abfahrtszeit stellt RCA die erforderliche Fahrstraße für die Zugfahrt bereit, indem RCA die Schutzabschnitte für die Zugfahrt steuert und überwacht. Diese Schutzabschnitte sind Feldelemente mit einem zugehörigen Gleisabschnitt und damit Teil der Sicherheitslogik des APS. Schutzabschnitte für die Zugfahrt beziehen sich auf verschiedene Arten von Feldelementen wie beispielsweise Weichen, Bahnübergänge, Gleissperren, Hubbrücken, Drehscheiben, Fluttore, usw. Der Bezug zwischen Schutzabschnitten für die Zugfahrt und Feldelementen ist in der Objektrealisierungs-Domäne definiert. Nachdem alle Schutzabschnitte für die Zugfahrt im erforderlichen Zustand sind, gibt RCA die Zustimmung zur Zugfahrt an das „bekannte gleisgebundene Bewegungsobjekt“.

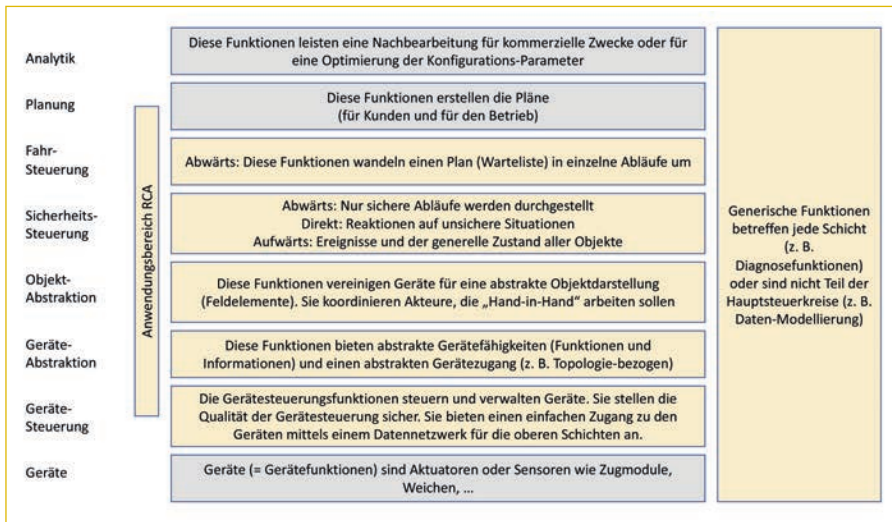


Abb. 10: Überblick der Architekturschichten mit Objekt- und Geräteabstraktionen als Grundlage für die generische Referenz-LST-Architektur RCA

Quelle: www.eulynx.eu

Die Objektrealisierungs-Domäne definiert den Bezug von abstrakten Repräsentationen zu vorhandenen Feldelementen. Im Beispiel unserer Zugfahrt definiert die Objektrealisierungs-Domäne die Zustimmung zur Zugfahrt als konkrete Darstellung der Zustimmung im Führerraumdisplay („movement authority“) oder als Fahrtbegriff am Lichtsignal oder – bei fahrerlosen Zügen – als notwendige Voraussetzung zur automatischen Zugfahrt. Ein Fahrzeug kann die Zustimmung zur Zugfahrt unabhängig von ihrer konkreten Darstellung verstehen. Mit dieser Zustimmung zur Zugfahrt kann das Fahrzeug abfahren. Als Beispiel nehmen wir nun eine Weichenstörung an. Diese Störung wird als Ereignis gemeldet. Aufgrund des Ereignisses leitet RCA die nötigen Maßnahmen zur Gewährleistung einer sicheren Zugfahrt ein und lehnt die Verlängerung einer Zustimmung zur Zugfahrt über den betroffenen Schutzabschnitt hinaus ab. RCA berichtet zudem das Ereignis und die Unterbrechung der Fahrplanausführung an das TMS-PAS. Das TMS-PAS aktualisiert nun alle Fahrpläne, die von diesem Ereignis betroffen sind. Gleichzeitig beginnen die Entstellungsmaßnahmen für die Weiche [7].

Dieses vereinfachte Beispiel soll zeigen, wie die RCA-Elemente zusammenwirken. RCA modelliert das Zusammenwirken seiner Elemente mithilfe des EU-LYNX-Modellierungsstandards nach neuesten Systemengineering-Methoden. Die RCA-Elemente wurden anhand ihrer Zusammenhänge in verschiedene Cluster gruppiert. Reale Datenobjekte nach der RCA-Spezifikation können jedoch Attribute von Elementen aus unterschiedlichen Clustern haben, um die erforderlichen Funktionen gemäß RCA zu erfüllen.

6 RCA – ein vollständig modulares innovationsoffenes Sicherheits- und Steuerungssystem

Da RCA (Abb. 11) hauptsächlich eine Innovation der Sicherheitslogik darstellt, soll diese im Folgenden näher beschrieben werden:

Das automatische Sicherheitssystem (APS) besteht aus zwei Modulen:

- Sicherheitslogik (APS-SL): Diese reagiert auf Anforderungen des Verkehrsmanagements zur Fahrplanausführung (TMS-PE), indem sie diesen entweder nachkommt und Befehle an Fahrzeug- oder Infrastrukturfeldelemente gibt oder diese zurückweist auf der Grundlage der Sicherheitsprinzipien und des Betriebszustands. Abgesehen von einzelnen nicht harmonisierten Parametern, wie etwa sich überschneidende Durchrutschwege, gilt die Sicherheitslogik als international universell. Die Sicherheitslogik ist die einzige Instanz, die eine Zustandsänderung eines Feldelements veranlassen darf (z. B. Bahnübergang)
- Sicherheitsmanager (APS-SM): Dieser überwacht den Betriebszustand und veranlasst Reaktionen auf potenziell unsichere Zustände aufgrund äußerer Einwirkungen (Beispiele: unbekannte oder unverschlossene Weichenstellung, fehlende Fahrzeugortung)

Während APS-SM das Bahnsystem kontinuierlich überwacht, reagiert APS-SL nur auf Anfrage. Da zudem APS-SL aufgrund allgemeingültiger Sicherheitsprinzipien langfristig stabil ist, während APS-SM häufigeren Aktualisierungen unterliegen dürfte, lag es nahe, das Sicherheitssystem in diese beiden Module aufzuspalten.

Der „Betriebszustand“ ist das Herz des Sicherheitssystems. Alle tatsächlichen und geforderten Zustände werden dort gespeichert. Die Objektagggregation (APS-OA) leitet den Zustand realer Feldelemente aus den Informationen aller generischen Elemente ab und speichert diese Zustände im „Betriebszustand“. APS-SM überwacht den Betrieb im Netz mittels der Betriebszustände. Wenn APS-SM eine Verletzung einer Sicherheitsregel feststellt, initiiert APS-SM eine Maßnahme zur Risikominimierung, wie beispielhaft in folgenden Fällen:

- APS-SM wird eine Zwangsbremmung anfordern, wenn es eine Verletzung einer Sicherheitsregel erkennt. Beispiel: Ein Zug wird außerhalb der Zustimmungsgrenzen geortet.
- APS-SM wird eine Warnung anfordern, wenn ein Objekt eine Sicherheitsregel verletzt. Beispiel: Warnung eines Gleisarbeiters bei kritischer Annäherung an eine Zugbewegung.

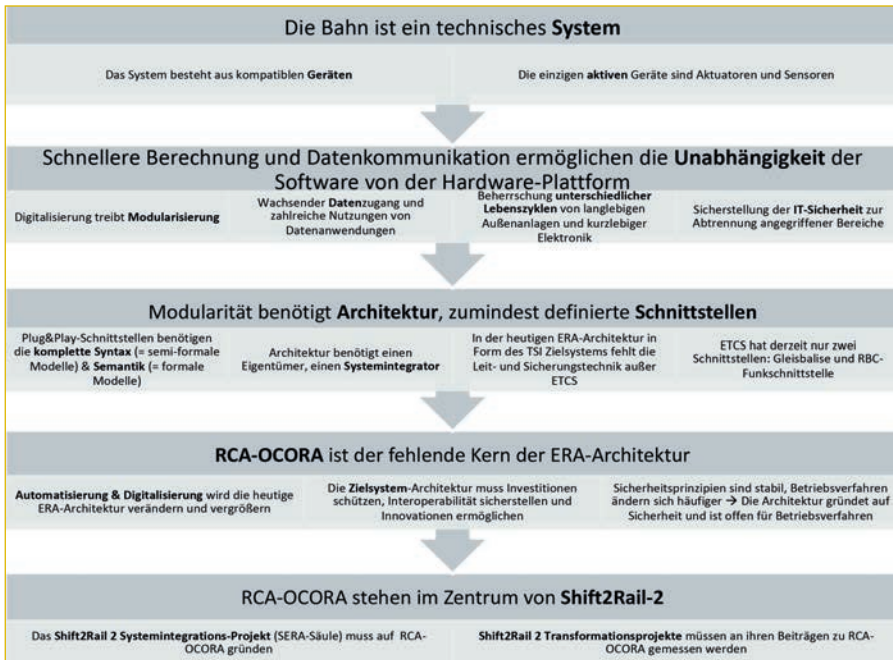


Abb. 11: RCA und OCORA (Fahrzeugarchitektur) beschreiben den Weg in die Zukunft und sind der Beitrag der Bahnen für ein starkes europäisches Bahninnovationsprogramm „Shift2Rail 2“.

Quelle: DB Netz

Das Sicherheitssystem (APS-SL und APS-SM) stellt explizit nur die Sicherheit der Fahrzeugbewegungen sicher, es berücksichtigt dabei keine betrieblichen Folgen wie etwa das Auflaufen vieler Züge („Rückstau“) oder Fahrtenausschlüsse. Diese Systemvorgabe zwingt zu einer strikten Trennung der Lebenszyklen für Applikationen und für die Sicherheitslogik. Dies ermöglicht schnelle, innovative und preisgünstige Verbesserungen auf der Applikationsebene und verringerte Entwicklungs- und Instandhaltungskosten für die Sicherheitslogik [7].

7 Betriebliches und technisches Zielbild der digitalen Bahn

ETCS ist ein für Europa wichtiges Zugsicherungs- und Zugsteuerungssystem. Es bildet zusammen mit der Digitalen LST (DLST) das Rückgrat der „Digitalen Schiene Deutschland“. ETCS ermöglicht es, technisch interoperabel zu fahren und einen barrierefreien, länderübergreifenden Grenzverkehr zu gewährleisten. Unterschieden wird dabei in verschiedene Level:

- Level 1 (Signal gebunden): Dieser Modus ist für Geschwindigkeiten bis zu 160 km pro Stunde ausgelegt und findet Anwendung auf Strecken mit punktförmiger Zugbeeinflussung (PZB).
- Level 2 (Signal ungebunden): Der Hochleistungsmodus: ETCS nutzt GSM-R-Funk auf Strecken mit Geschwindigkeiten von mehr als 160 km pro Stunde analog der linearen Zugbeeinflussung (LZB). Voraussetzung ist die Eignung von Stellwerken für eine Anbindung einer Streckenzentrale (RBC).
- Level 3: Im ETCS Level 3 übernimmt das RBC zusätzlich die Funktion der streckenseitigen Gleisfreimeldung und somit auch die Überwachung der Zugvollständigkeit. Auf europäischer Ebene laufen zzt. Entwicklungen für den Einsatz von ETCS Level 3.

Digitale LST

Die DB Netz will im Verbund mit der Industrie die Infrastruktur leistungsfähiger und robuster machen. Einen wichtigen Beitrag im Rahmen der Digitalisierung dazu leistet die Digitale LST (DLST). Schritt für Schritt löst die DLST die teilweise über 100 Jahre alte Infrastruktur ab. Als Nachfolger des ESTW ist das DSTW das Herzstück der DLST. Innerhalb eines Netzbezirks befindet sich die Zentraleinheit, die die Stromversorgung des DSTW beinhaltet. Übergabepunkt zwischen Gleisfeld und der Zentraleinheit ist der Gleisfeldkonzentrator (GFK). Als letztes Glied in der Kette und in unmittelbarer Nähe des Feldelementes (z. B. Weiche, Signal) steht der Feldelement-Anschlusskasten (FeAk). Er beinhaltet Stromversorgung, Switch und Object-Controller. Die Stellbefehle werden digital über Glasfaserkabel übermittelt (Abb. 12). Das DSTW verschafft mehr Leistung, Qualität und Effizienz auf der Strecke und zeichnet sich im Zielzustand durch folgende Vorteile aus:

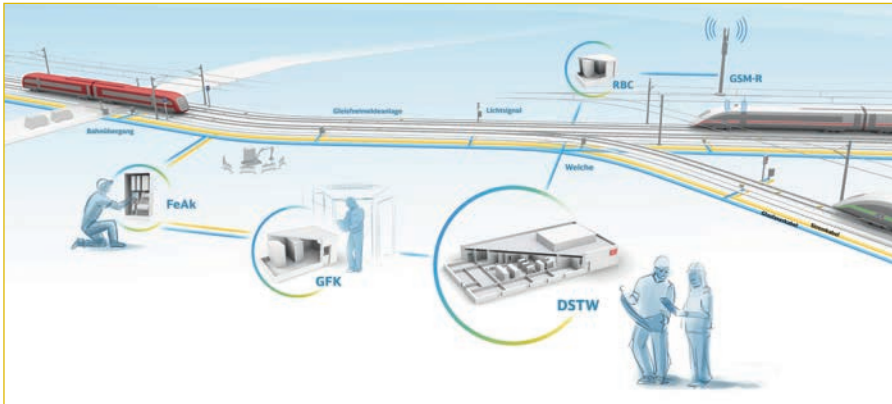


Abb. 12: Digitale LST

Quelle: DB

- größere Stellentfernung
- standardisierte Schnittstellen
- zustandsbasierte Instandhaltung
- Trennung von Energie und Daten.

Vorserie

Die DLST mit ihren DSTW ist ein Technologiesprung für die DB. Vor der deutschlandweiten Einführung erfolgt der Einsatz und die Erprobung der DLST-Komponenten innerhalb der Vorserienprojekte. Nach Annaberg-Buchholz als erstem DSTW ist mit Warnemünde im Oktober 2019 das erste DSTW der Vorserie in Betrieb gegangen. Bis 2023 folgen mit den DSTW in Meitingen-Mertingen, im Harz-Weser-Netz sowie auf der Strecke Koblenz–Trier die weiteren drei Anlagen der Vorserie. Die Vorserienprojekte wurden entsprechend ihrer streckenspezifischen Besonderheiten ausgewählt, um eine möglichst große Bandbreite an Szenarien abzudecken. Beispielsweise werden Strecken vom Regional- und Fernverkehr genutzt oder es existieren viele verschiedene Stellwerksformen. Durch dieses Vorgehen wird eine Produktzulassung für den Flächenrollout, die Schaffung von Planungsgrundlagen und die Erprobung weiterer technischer Hebel angestrebt (Abb. 13).

Digitale Schiene Deutschland

Die Digitale Schiene Deutschland (DSD) schafft die Grundlagen für die Digitalisierung des Bahnbetriebs. Die Einführung von DSTW ist neben dem Ausbau des ETCS das Herzstück der DSD. Die neuen Technologien versprechen bis zu 35% mehr Kapazität, höhere Qualität und Pünktlichkeit, weniger Kosten in der Instandhaltung und im Betrieb sowie europäische Interoperabilität der Systeme. Die DSD ist damit ein zentraler Baustein für die Starke Schiene.



Abb. 13: Vorserie

Quelle: DB

8 Testen: Entwicklungschance und finale Absicherung der Eignung und Sicherheit

Die beschriebene Entwicklungsmethode des modellbasierten Systemengineering führt zu qualitativ hochwertigen und systematisch validierten Spezifikationen. Diese sind nach einer formalen Verifikation in sich kohärent und zudem konform mit vorgegebenen Sicherheitsanforderungen. Gleichwohl setzt die steigende Komplexität vernetzter digitaler Systeme der traditionellen deterministischen Nachweismethode für Anforderungen auch Grenzen. In der realen Systemumgebung kann es Umwelteinflüsse, Ein- und Wechselwirkungen geben, die sich der funktionalen Modellierung zunächst entziehen und die nur empirisch detektierbar sind.

Hier liegt das Potenzial systematischen Testens, indem anforderungskonforme Produkte und Anwendungen einer Vielzahl von Störeinflüssen ausgesetzt und anhand der gewonnenen Erkenntnisse rückwirkend die Spezifikationen nachgeschärft werden.

Für die bestmögliche Kombination aus betriebsnahen Bedingungen und völlig risikolosen Testens im Feld hat DB Netz das Digitale Testfeld Bahn gemeinsam mit der DB Erzgebirgsbahn geschaffen [6]: Eine anspruchsvolle Bahnstrecke für den Regelverkehr, die fast ausschließlich für Testzwecke verwendet wird. Dabei wird die Teststrecke betrieblich gesperrt und in einem besonderen Betriebsverfahren betrieben. Die Teststrecke dient nicht nur der Weiterentwicklung der Kompetenzen von DB Netz zur Systemintegration, sondern auch der fairen und vertrauensvollen Zusammenarbeit mit Herstellern und Forschungseinrichtungen jeglicher Größe und Herkunft: Im geschützten Raum des Digitalen Testfelds Bahn können Entwickler ihre Produkte ungestört und nach eigenen Ansprüchen testen, erkunden, verbessern und härten. Der Betriebseinsatz derart robuster Produkte und Anwendungen entspricht gleichermaßen den Ansprüchen von Herstellern und Bahnen, nur vorab erprobte und ausgereifte Innovationen im komplexen Bahnsystem zu implementieren.

Die Digitalisierung des Bahnsystems beinhaltet nicht nur die Einführung neuer Anlagen und rechnergestützter Prozesse, sondern auch neue Herausforderungen in der Spezifikation, deren Verifizierung und Validierung, an Versuche, Zulassungs- und Inbetriebnahmeprozesse ebenso wie an Aus- und Fortbildung aller Beteiligten, insbesondere in der Systemmodellierung. Digitalisierung ist bei der DB ein übergreifendes Thema, in dem Erfahrungen im Systemengineering und der IT mit dem Wissen um Bahnbetrieb und Zertifizierung vereinigt werden.

Die Laborplattform und die Simulationsumgebung im Digitalen Testfeld Bahn unterstützen den Einsatz moderner Software für die Entwicklung des künftigen Bahnsystems und stellen Transparenz für Versuche und Ausrüstungen her. Damit wird Folgendes ermöglicht:

- Die inkrementale Entwicklung digitaler technischer Systeme für Steuerung und IT-Sicherheit in einer kontrollierten Umgebung. Die Auswirkungen der funktionalen Entwicklungen auf Bestandssysteme werden durch automatische Tests überprüft.
- spezifikationsbegleitende Entwicklung
- agile Verfahren und rascher Aufsatz von Referenzimplementierungen: Die Implementierung beruht auf modell-basierten Spezifikationen unter Verwendung von semiformalen und formalen Sprachen. Da natürliche Sprache interpretierbar ist, sind formale Sprachen ein Weg, um ein System und seine Eigenschaften unter Nutzung einer mathematischen Sprache zu beschreiben. Eine Ausprägung eines formalen Modells stimmt entweder mit Anforderungen überein oder tut dies nicht. Es gibt keine Mehrdeutigkeit.

- automatisierte Testwerkzeuge und Testfallgeneration: Die Integration von Systemmodellen, Software und Hardware wird zu einem frühen Zeitpunkt des Entwicklungsprozesses überprüft.
- Kombination von entwickelten Software-Plattformen mit einer Hardware-Umgebung bis hin zu Multisystem-Ko-Simulationen („system-of-systems“). Die Automatisierung von Testverfahren einschließlich der abgesicherten Dokumentation ist ein Alleinstellungsmerkmal des Digitalen Testfelds Bahn.

Eine Neuheit im Bahnsektor ist die Einbettung von Hardware-Komponenten durch die Multisystem-Ko-Simulation. Die Schlüsselkomponenten für solch eine Implementierung sind die Testumgebung und das Konzept der Referenzimplementierungen im Digitalen Testfeld Bahn.

Testausführungsumgebung:

- Die Ausführungsumgebung ist eine Testautomatisierungs-Software. Das reale Bahnsystem in Form des Digitalen Testfelds kann mit der Ausführungsumgebung mittels Datenschnittstellenadaptern verbunden werden als „hardware-in-the-loop“.
- Die Ausführungsumgebung stellt die Laufzeitumgebung für die Ausführung der Testfälle bereit, einschließlich der „models-in-the-loop“. Sie lädt den definierten Zustand aller Systeme von einer Datenbank und führt die Testschritte vollautomatisch aus. So können ganze Testkampagnen durch vollautomatisierte Testschritte abgearbeitet werden.
- Mit anerkannten Testfällen wird aus der bisher schwierigen, zeitraubenden und risikohaften Zulassung ein automatisierter Prozess. Das Wissen um die Prüfanforderungen ist eine Vorbedingung für die Testfalldefinition.

Referenzimplementierung:

Die modellbasierte Spezifikation und Entwicklung digitaler Steuerungs- und Sicherheitssysteme unter Verwendung von semiformalen oder formaler Sprache schreitet schnell voran. EULYNX kann hier wiederum als Beispiel dienen: Auf der Basis der modellbasierten Spezifikationen können softwarebasierte Simulationen der Spezifikation und formale Modelle zur Überprüfung und Validierung von Anwender- und Sicherheitsanforderungen erzeugt werden. Die Dokumentation und die Modelle in modularen Systemen werden jedoch immer komplexer. Um die Modelle nutzen und die Komplexität beherrschen zu können, werden funktionale Referenzimplementierungen entwickelt.

Nutzen

Das Digitale Testfeld Bahn ermöglicht die automatische Erzeugung, Implementierung, Aufnahme und Evaluierung von Testfällen, ebenso wie das Test- und Fehlermanagement. Daher ist das Digitale Testfeld Bahn ein starker Partner zur Beschleunigung von Spezifikationen, Dokumentation und Validierung für die unabhängige Verifikation als Grundlage

der Produktzulassung. Das Digitale Testfeld Bahn stellt ein fortschrittliches Prüfumfeld für heutige und kommende Innovations- und Standardisierungsprojekte bereit.

Hierzu zählen nicht nur 5G-Kommunikations- und Testdienste für automatisiertes Fahren, Hinderniserkennung und digitale Streckenkarten, sondern auch die umfassende Infrastruktur digitaler Stellwerke und Feldelemente, Hochleistungs-Glasfaser-Datenverbindungen, innovative Energiequellen und -speicher und die Testbahnhöfe sowie eine Zweigstrecke für Parallelfahrten, virtuelles Kuppeln, Platooning und viele weitere Anwendungsfälle.

9 Vom digitalen Zwilling zum digitalen Master

Die Digitalisierung der LST umfasst nicht nur die Sicherheitstechnik mit dem Stellwerk und RBC bei EULYNX beziehungsweise dem Automatisierten Sicherheitssystem APS bei RCA sowie den digital angebotenen Feldelementen bei EULYNX und RCA gleichermaßen. Nachdem die Entwicklung und Validierung der digitalen Bahntechnik mit innovativen Methoden des MBSE erfolgt und die finale Absicherung im Digitalen Testfeld ermöglicht wird, soll die Implementierung durch digitale Planung künftiger LST erheblich vereinfacht, standardisiert und beschleunigt werden. Dazu hat EULYNX eine Datenplattform und Objektmodelle erarbeitet, die bereits heute die Grundlage für eine europäische Harmonisierung der LST-Planungen für den Neu- und Umbau von Bahnanlagen bilden. Die Integration der digitalen LST-Planung mit den angrenzenden beziehungsweise verbundenen Teilsystemen wie Fahrweg, Oberleitung, Ingenieurbauwerke, Verkehrsanlagen usw. wird über den BIM-Prozess auf Basis internationaler Standards erreicht. So kann eine digitale Dokumentation als Abbild (Zwilling) der Bahnanlage im Sollzustand erschaffen werden, die die Basis für die Zulassungsdokumentation und die Referenz für das Monitoring der Istzustände darstellt.

Wenn die Modelltiefe und -dynamik des digitalen Zwillings die Eigenschaften des realen Systems hinreichend beschreiben, kann sogar eine Systemsimulation auf Basis des digitalen Zwillings den Planungsprozess im Verkehrsmanagement (TMS-PAS) entscheidend optimieren bis hin zu einer Echtzeitsteuerung auf Basis eines identischen Abbilds des tatsächlichen betrachteten Bahnsystems.

Es mag heute noch utopisch klingen, für jede beliebige Zugkonfiguration und den kontinuierlich überwachten relevanten Betriebszustand spezifische „Fahrpläne“ zu generieren, die sowohl die physikalischen Parameter der tatsächlichen Zugkonfiguration als auch Randbedingungen der gewählten Fahrstraße nutzbar werden lassen. Der „Fahrplan“ richtet sich dann nicht mehr nach dem ungünstigsten Fall, sondern ist an die tatsächliche Situation und gestaffelte Grenzwerte angepasst. So könnten Leerzüge mit größerer Querbeschleunigung in Gleisbögen verkehren und die Grenzwerte für Zug- und Bremskräfte im Zugverband durch genaue Kenntnis der Zugkonfiguration

und der Streckenparameter intelligent und flexibel genutzt werden – dies auch durch gezielte individuelle Ansteuerung der Traktions- und Bremsenheiten im Zugverband. Insgesamt könnten die heute vielfach ungenutzten Reserven besser erschlossen und die limitierenden Zustände mit mindestens gleichen Sicherheiten gepuffert werden. Dies kann jedoch nur bei einer gesamtheitlichen Betrachtung und Modellierung des gesamten Bahnsystems gelingen. Die DLST ist auch hier ein Vorreiter und Taktgeber des Fortschritts und stellt die Voraussetzung dar, das Bahnsystem in eine neue Dimension der Leistungsfähigkeit bei gleicher Sicherheit zu entwickeln.

10 Zusammenfassung

Der Beitrag zeigt Entwicklungsstand und -perspektiven anhand der DLST als „Hirn, Herz und Hand“ der Digitalen Bahn auf. Ausgehend von einer Digitalisierung von Bestandsfunktionen (EULYNX), wird der Weg zu einer digital getriebenen Funktionsinnovation im Bahnsystem beschrieben. Dabei kommt einer modularen Systemarchitektur zunächst große Bedeutung zu. Im weiteren Verlauf könnten Architekturänderungen insbesondere zur Einführung innovativer Betriebsverfahren weiter formalisiert werden. Eine vollständige formale Teilsystem- und Schnittstellenspezifikation wird stets die Grundlage für Architekturfortschreibungen bei Wahrung der Interoperabilität darstellen.

Quellen

- [1] Leister, H.: ETCS und digitale Technologie für Stellwerke, Eisenbahn-Revue International, 8-9/2017, S. 417 ff.
- [2] <https://www.ptc.com/de/products/plm/plm-products/windchill/modeler>
- [3] www.eulynx.eu
- [4] <https://www.omg.org/spec/SysML/1.2/About-SysML/>
- [5] ISO/IEC 19514:2017: Information technology - Object management group systems modeling language (OMG SysML)
- [6] <https://www1.deutschebahn.com/testfeld>
- [7] RCA.Doc.30: Principles of the safety logic; siehe www.eulynx.eu
- [8] Elsweiler, B.: Innovation im Bereich der Leit- und Sicherungstechnik, Deine Bahn, 09/2009
- [9] Elsweiler, B.: Standardisierung von Schnittstellen in der LST, Deine Bahn, 06/2010
- [10] Elsweiler, B.: Protokollschnittstellen in der Leit- und Sicherungstechnik, Deine Bahn, 02/2012
- [11] Müller, R.: Leit- und Sicherungstechnik für ein automatisiertes System Bahn, Deine Bahn, 07/2016



Ralph Müller

Leiter Forschungsprogramme und Standardisierung
DB Netz AG, Frankfurt am Main
ralph.r.mueller@deutschebahn.com