

# EULYNX-Live: Eine Methodik zum Validieren von Systemspezifikationen in hybriden Feldtests

## EULYNX-Live: A methodology for validating system specifications in hybrid field tests

Robert Schmid | Arne Boockmeyer | Lukas Pirl | Randolph Berglehner | Ibtihel Cherif | Andreas Korff | Bernd Elsweller | Andreas Polze

**M**odellbasiertes Systems Engineering (MBSE) ist ein Kernbestandteil des Entwicklungsprozesses für EULYNX-Systemschnittstellen. In Verbindung mit Techniken zur Generierung von Quelltext ist es möglich, die Spezifikationen der Schnittstellen schon früh im Entwicklungsprozess zu validieren. Um sicherzustellen, dass das unterliegende Systemmodell alle Betriebszustände späterer Implementierungen abbildet, müssen darüber hinaus auch Prototypen und Feldtests in die Validierung der Spezifikation miteinbezogen werden. Diesen Ansatz verfolgt EULYNX-Live – unsere Methodik, um simulierte Systemmodelle gemeinsam mit frühen Hardwareprototypen im Labor und im Feld zu testen (Bild 1).

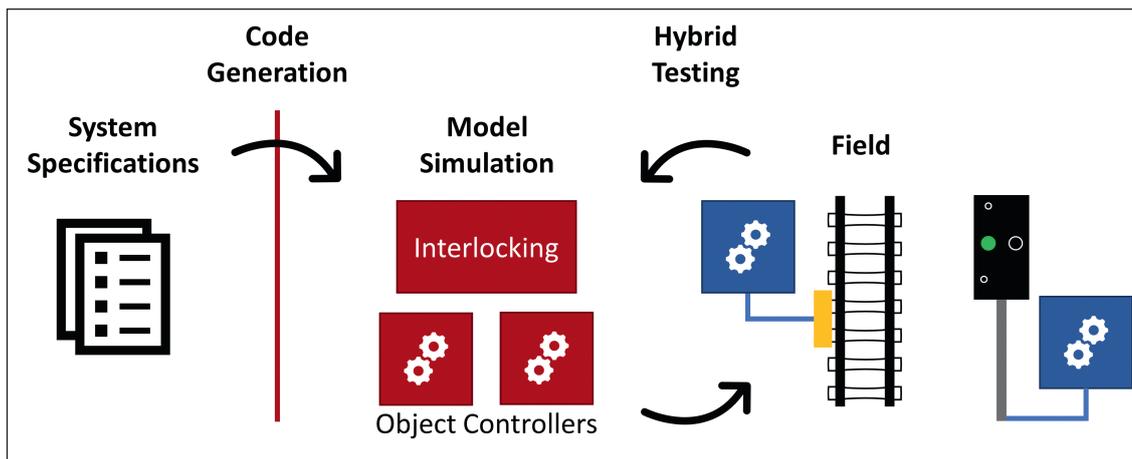
### 1 Einleitung

Im EULYNX-Konsortium entwickeln europäische Eisenbahn-Infrastrukturbetreiber eine gemeinsame Architektur für Systeme der digitalen Leit- und Sicherungstechnik (LST). Dies beinhaltet die Spezifikation digitaler Schnittstellen zwischen Teilkomponenten wie dem Stellwerk, Signal- und Weichensteuerungen sowie der Zugerennung. Obwohl sich die Schnittstellen noch in der Entwicklung befinden, gibt es auf Basis der vorläufigen Spezifikationen bereits erste Implementierungen aus der Industrie [1]. Um die Konsistenz und Vollständigkeit der Schnittstellen sicherzustellen, wird im Spezifikationsprozess MBSE eingesetzt [2]. Zusätzlich zu den Nachrichtentypen, die zwischen einzelnen Komponenten ausgetauscht werden, beschreiben die Systemmodelle auch ihre möglichen internen Zustände. Somit kann aus den modellierten Komponenten ausführbare Software abgeleitet

**M**odel-based systems engineering (MBSE) lies at the heart of the interface standardisation process in EULYNX. When combined with automatic code generation techniques, it allows interface specifications to be checked for completeness from an early development stage. However, it is also necessary to integrate prototypical hardware and even conduct on-site testing as soon as possible in order to ensure that the system model covers all the operating states of the realised implementations. To this end, we present EULYNX-Live, our approach to testing simulated system models in combination with early hardware prototypes in the lab and in the field (fig. 1).

### 1 Introduction

European railway infrastructure managers in the EULYNX consortium are developing standard interfaces and subsystems for the next generation of command, control and signalling (CCS) architecture. This includes the definition of digital interfaces between components such as the interlocking, signalling, points and train detection subsystems. Although still under development, preliminary versions of these interfaces have already been implemented by the railway industry [1]. MBSE is used to ensure the soundness and completeness of the specified interfaces [2]. In addition to the types of messages that are passed between the individual components, the models also describe their possible internal states. Thus, MBSE allows an executable software to be derived from the modelled components and the subsequent evaluation of whether the specified



**Bild 1: EULYNX-Live verbindet simulierte Systemmodelle mit prototypischer Hardware in hybriden Feldtests**

Fig. 1: EULYNX-Live combines a model simulation with prototype hardware in hybrid field tests

werden, mit der wiederum die Konsistenz der Schnittstellen hinsichtlich ihres vorgesehenen Einsatzzwecks überprüft werden kann. Allerdings lassen sich aus solchen Softwaresimulationen allein keine Lücken in den Spezifikationen finden. Diese werden oftmals erst während der Entwicklung der tatsächlichen Subsysteme anhand von unberücksichtigten Fehlerfällen oder Betriebszuständen entdeckt.

Als gemeinsames Projekt der DB Netz AG, Parametric Technology GmbH (PTC) und dem Hasso-Plattner-Institut für Digital Engineering der Universität Potsdam (HPI) schlagen wir daher vor, den MBSE-Ansatz mit EULYNX-Live zu erweitern: In sogenannten hybriden Feldtests werden simulierte Systemmodelle mit physischen Hardwareprototypen im Feld verbunden. Damit ist es möglich, deren Interoperabilität sowie das Echtzeit- und Fehlerverhalten zu überprüfen. Diese Aspekte sind für die Verlässlichkeits- und Sicherheitsanforderungen an das LST-System von zentraler Bedeutung.

Als Teil der Digital Rail Summer School 2020 hat eine Gruppe Studierender einen ersten Proof-of-Concept von EULYNX-Live erstellt: Dieser kombiniert Techniken der Quelltext-Generierung aus dem PTC Windchill Modeler mit Implementierungen von verlässlichen Netzwerkprotokollen der DB Netz AG sowie mit prototypischen EULYNX-Feldelementen von der Frauscher Sensortechnik GmbH und Thales Austria GmbH. Während der Vorführung am Gleis der Pressnitztalbahn konnte mit dem Aufbau gezeigt werden, wie vorher unberücksichtigte Feinheiten eines LST-Betriebs in der echten Welt zutage treten können.

**2 Frühe Verifikation und Validierung von Spezifikationen mit dem „kleinen V-Modell“**

In EULYNX werden standardisierte Schnittstellen und Subsysteme durch die Infrastrukturbetreiber (Infrastructure Manager, IM) erstellt und anschließend in Ausschreibungen zugrunde gelegt. Die aktuellen Dokumentationsstände – auch Baselines genannt – werden regelmäßig auf der EULYNX-Website veröffentlicht. Ziel von EULYNX ist, dass die erstellten Spezifikationen korrekt, vollständig und konsistent sind. Zu diesem Zweck wurde ein Prozess zum MBSE entwickelt. Dieser MBSE-Prozess orientiert sich stark am CENELEC-Systemlebenszyklus, der in EN 50126 definiert ist und wiederum dem sogenannten V-Modell folgt. Schon während der Spezifikationsphasen des V-Modells werden hier Verifika-

interfaces are sound with regard to their intended use. However, these software simulations alone cannot reveal any possible gaps in the specifications that amount to failure modes or operating states that are only discovered later in the development process of real-world components.

As such, we have proposed enhancing the MBSE approach in EULYNX-Live as a joint project between DB Netz AG, Parametric Technology GmbH (PTC) and the Hasso Plattner Institute for Digital Engineering at the University of Potsdam (HPI). We perform integration tests that combine simulated system models with physical hardware prototypes in the field, thus making it possible to check the interoperability of hardware prototypes as well as their real-time behaviour and their behaviour in the presence of faults. These aspects are of central importance to the reliability and safety requirements of the entire CCS system.

A team of students created the first proof-of-concept of EULYNX-Live as part of the 2020 Digital Rail Summer School. It combines code generation techniques provided by PTC Windchill Modeler with a reliable network stack (DB Netz AG) as well as prototype EULYNX field elements made available by Frauscher Sensortechnik GmbH and Thales Austria GmbH. The setup made an impressive show of its ability to uncover the intricacies of real-world CCS operating systems during the live demonstration at the Pressnitztalbahn track.

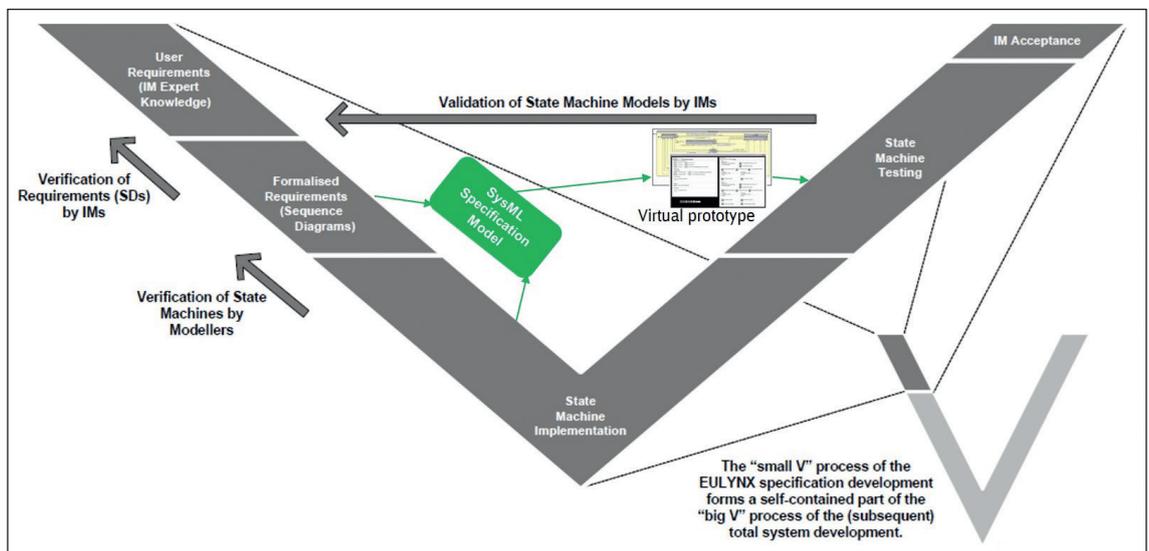
**2 The “Small-V Model” enables the early verification and validation of the specifications**

The goal of EULYNX is to achieve significantly reduced lifecycle costs for digital CCS systems in the future. The definition of the standardised interfaces and subsystems in EULYNX is realised by the infrastructure managers (IM) and then used as the basis in any tenders. The current documentation, also known as a Baseline, is published regularly on the EULYNX website. EULYNX aims to ensure that the created specifications are correct, complete, and consistent at the level of the subsystem interfaces. Moreover, subsystem behaviour must be linked to the required overall behaviour of the corresponding system. A MBSE process has been developed to meet these challenges. The applied EULYNX MBSE process closely resembles the CENELEC system life cycle defined in EN 50126, which follows

**Bild 2: Modellbasierter Systementwurf als Teil des CENELEC-Entwicklungsprozesses**

Fig. 2: Model-based systems engineering used in the CENELEC development process

Quelle / Source: EULYNXx



Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Netz AG, Parametric Technology GmbH, Universität Potsdam /  
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten  
 genehmigt / © DVV Media Group GmbH

tion und Validierung als wichtige Bausteine genannt, um die Qualität der Spezifikationen anhand eines virtuellen Prototyps zu belegen.

Es ist gemäß dieser Vorgabe notwendig, ein „kleines V-Modell“ einzuführen, das die Entwicklung solcher virtuellen Prototypen durch ausführbare SysML-Zustandsautomaten (Systems Modeling Language) unterstützt. Diese Prototypen müssen während der Spezifikationsphasen des darunterliegenden „großen“ V-Modells aus dem CENELEC-Prozess validiert und verifiziert werden. Bild 2 illustriert das „kleine V-Modell“ in EULYNX und die Zusammenhänge von Verifikation und Validierung als Teil der Entwicklung von virtuellen Prototypen.

### 3 Von virtuellen Prototypen zu Experimenten im Digitalen Testfeld Bahn

Die Validierung ist aus der Sicht des EULYNX-MBSE-Prozesses erfolgreich abgeschlossen, wenn alle beteiligten Infrastrukturbetreiber dargelegt haben, dass ihre (Sicherheits-)Anforderungen durch das spezifizierte Systemverhalten erfüllt werden. EULYNX-Live erweitert diesen Prozess mit hybriden Feldtests: Hierzu wird ein gesamtes LST-System bestehend aus virtuellen und physischen Prototypen nachgebildet und das Zusammenspiel der Komponenten getestet. Solches Hardware-in-the-Loop-Testen hat sich bereits in verwandten Domänen wie der Automobilindustrie bewährt [3, 4].

Unser erster Schritt war der Aufbau eines vollständig virtualisierten Szenarios. Dieses wurde in einem zweiten Schritt nach und nach durch echte Hardware im HPI IoT-Lab (Internet of Things, IoT) ergänzt. Abschnitt 6 beschreibt den Umfang eines ersten Proof-of-Concept im Detail. Darüber hinaus laden wir alle Hersteller von EULYNX-Komponenten ein, ihre Testlabore mit EULYNX-Live zu verknüpfen, um das Repertoire an Testequipment weiter zu vergrößern.

Auf dem Weg von virtualisierter und simulierter Infrastruktur zu tatsächlichen EULYNX-kompatiblen LST-Systemen spielt auch das Digitale Testfeld Bahn eine zentrale Rolle. Das Testfeld wird von der DB Netz betrieben und umfasst eine 25 km lange Teststrecke im Erzgebirge, die in einem nächsten Schritt in hybride Feldtests miteinbezogen werden soll.

### 4 Erprobte Technologien für Systemmodellierung und Nachverfolgbarkeit von Anforderungen

Für die modellgestützte Entwicklung von ausführbaren Spezifikationen nutzt die DB Netz AG von Anfang an den PTC Windchill Modeler und dessen Vorgänger Artisan Studio von Atego. PTC ist darüber hinaus seit Beginn des EULYNX-Projekts bei der DB Netz in Fragen der Modellierung und der MBSE-Methodik beteiligt. Der PTC Windchill Modeler ermöglicht eine vollständige Nachverfolgbarkeit von Systemanforderungen über System- und Softwaremodelle bis hin zu domänenspezifischen Artefakten, die in Product Lifecycle Management (PLM)-Tools verwaltet werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, die MBSE-Artefakte in den sogenannten Digital Thread zu integrieren, welcher nicht mit Digital Twins zu verwechseln ist. Digital Twins können als digitale Entsprechung oder Modelle von realen Produkten angesehen werden. Der Digital Thread reichert alle Digital Twins mit Verknüpfungen an, über die Informationen aus vor- und nachgeordneten Produktentwicklungsschritten synchronisiert werden können. Beispielsweise können Anforderungen in einem Anforderungsmanagementsystem mit SysML-Modellelementen verknüpft wer-

the V-model. Verification and validation are designated as important building blocks during the specification phases of the V-model in order to ensure the quality of the specifications by means of a virtual prototype.

Following this notion, it is necessary to provide a small V model to guide the top-down development of those virtual prototypes using executable state machines, as defined in the Systems Modeling Language (SysML), and their validation and verification within the specification phases of the underlying big V CENELEC process. Fig. 2 highlights the small V model and depicts the verification and validation relationships as part of the virtual prototype development.

### 3 From virtual prototypes to experiments in the digital rail test field

With regard to the EULYNX MBSE process, the validation is successfully completed once all the participating IMs provide evidence that their user requirements (including the safety requirements) have been satisfied by the specified behaviour. EULYNX-Live extends this process by introducing the concept of hybrid field tests: we mimic an entire CCS system consisting of both physical and virtual prototypes that are co-evaluated. Such hardware-in-the-loop testing is well-understood in other domains, such as the automotive industry [3, 4].

While our setup was initially fully simulated, we gradually extended it by adding real hardware into the HPI IoT-Lab (Internet of Things, IoT) and we also plan to install a testbed at DB Netz. Section 7 describes the scope of the first EULYNX-Live prototype in more detail. Moreover, all the EULYNX vendors are invited to link their labs to EULYNX-Live in order to further extend the set of equipment available for testing.

The Digital Rail Test Field operated by DB Netz on a 25 km test track in Saxony also plays a central role when moving from virtualised, simulated infrastructure to real EULYNX compatible CCS systems. EULYNX-Live will be extended to connect to the field elements installed in the Digital Rail Test Field in its third phase.

### 4 Proven technologies for systems modelling and requirement traceability

DB Netz AG has used the PTC Windchill Modeler and its predecessor, Artisan Studio from Atego, since it began developing executable specifications using models. PTC has also been involved in the EULYNX project from the beginning, supporting DB Netz with modelling and MBSE methodology guidance. The integration of the Windchill Modeler into the overall PTC product portfolio now allows full traceability from the requirements via the system and software models to domain-specific artefacts that are managed using Product Lifecycle Management (PLM) tools. Moreover, there are now additional options for integrating MBSE-artefacts into the so-called digital thread, which is not to be confused with the digital twin. Digital twins can be described as digital representations or models that work as proxies for connected products in reality. The digital thread enables digital twins with connections to be synchronised via related upstream and downstream product development and process information. As an example, the requirements in a requirement management tool can be linked to SysML model elements. This includes use cases involved in conducting a model-based requirements analysis (refinement).

den. Dazu zählen Anwendungsfälle, die für eine modellbasierte Anforderungsanalyse benötigt werden.

**5 Frühes Validieren von Systemmodellen mit Windchill Modeler SySim und Thingworx**

SysML-basierte Architekturmodelle sind semi-formale Entwicklungsartefakte, die auf Vollständigkeit und Korrektheit hin überprüft werden können. Bei der Verifikation eines Modells – also der Frage, ob das System die Spezifikationen erfüllt – werden die Modellinformationen mit vordefinierten Regeln abgeglichen. Die Validierung hingegen – also die Frage, ob das System für den Einsatzzweck geeignet ist – legt das Augenmerk auf das modellierte Systemverhalten: Verhalten sich das System und seine Komponenten in der erwarteten Weise?

Eine zu späte Validierung am Ende des Entwicklungszyklus ist problematisch, wenn sich dabei grundlegender Änderungsbedarf offenbart. Deshalb unterstützt SysML eine frühe Systemvalidierung, indem Komponenten mit Verhalten angereichert werden, die wiederum Teil eines ausführbaren Simulationsmodells mit Schnittstellen zu externen Systemen werden. Nach der Übersetzung des Modells in ausführbare Software mit Windchill Modeler SySim kann die Simulation entweder in Verbindung mit Windchill Modeler ausgeführt werden (Bild 3) oder als separate Anwendung, sodass Domänenexperten sie in ihren jeweiligen Szenarien erproben können.

Fast alle neu entworfenen Systeme werden in einem übergeordneten, vorgegebenen Zusammenhang entwickelt. Für diesen muss ein Modell erstellt werden, in welches das zukünftige System eingebettet wird. EULYNX-Live schafft die Möglichkeit, existierende Bausteine aus dem zukünftigen Systemkontext einzubinden, und ermöglicht somit ein besseres Verständnis des Gesamtsystems.

Für eine simulationsgestützte Validierung müssen Entwickler sowohl mit dem Systemmodell über eine generierte grafische

**5 Early systems validation and verification using Windchill Modeler SySim and Thingworx**

SysML-based architecture models are semi-formal development artefacts that can be checked for completeness and correctness. The model verification (looking for the answer to how to build the system correctly) checks the model information against the pre-defined rules. On the other hand, the validation (i.e. the question as to whether the system is right for its intended use) focuses on the modelled system behaviour: do the future system and/or its components behave in the expected way?

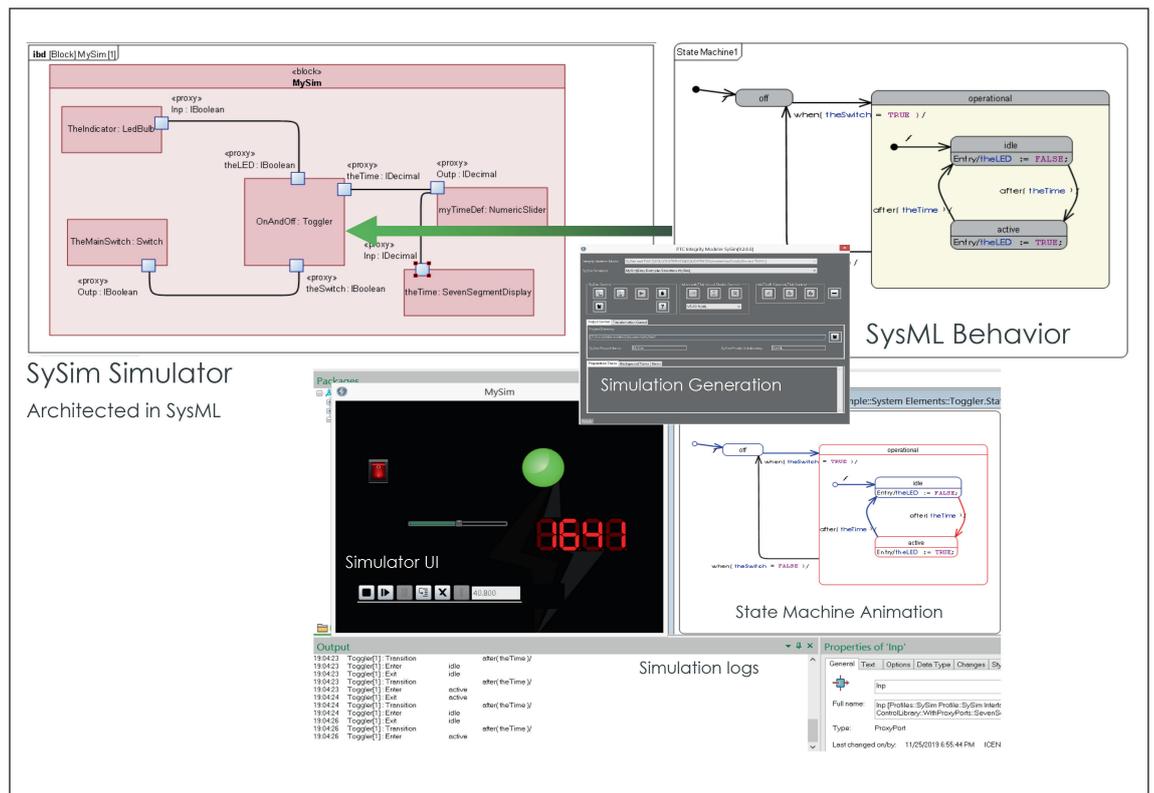
Validation is necessary at the end of the development cycle, but it would have come too late, if it resulted in the need for any major changes. SysML therefore supports early validation by augmenting components with behaviour, which in turn become part of an executable simulator model with interfaces to the external systems. After transforming the model into running executable software using the Windchill Modeler SySim, the simulation can either work in conjunction with the Windchill Modeler, so the state diagrams can be animated (fig. 3), or without any connection, so that domain experts can work and play with the simulation and report back what they have tested as generated scenarios.

Nearly all new systems are to be developed as part of an overall, given context. Thus, a model for the context, into which the future system can be embedded, is necessary. EULYNX-Live is able to include existing building blocks from the future system context and in doing so it helps us gain a better understanding of the overall system.

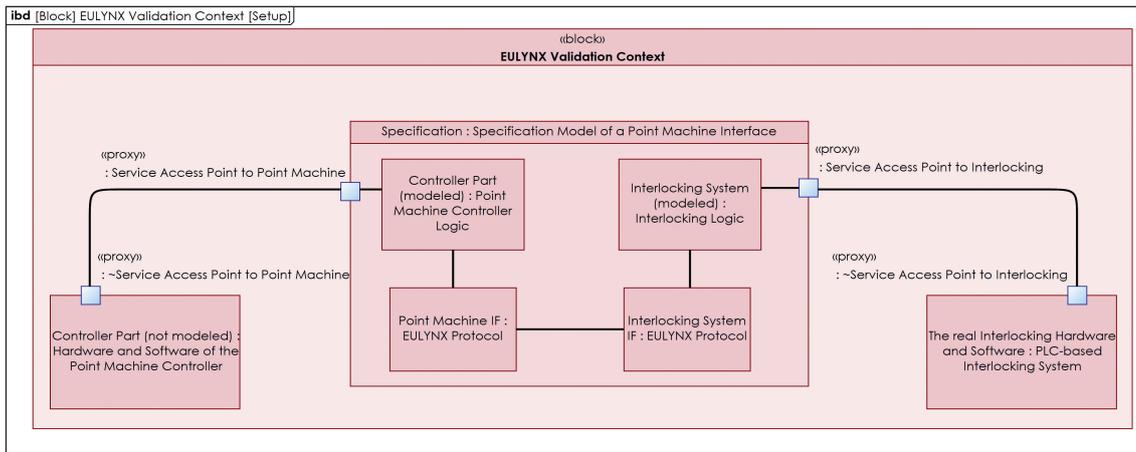
Simulation-supported validation needs the engineers to be able to interact with the system model using a generated UI, as well as with physical objects. Fig. 4 shows this context as a SysML internal block diagram, where the real interlocking system on the right and the point machine controller on the left are linked with their representations in the specification model (centre) via

**Bild 3: Prozess von einem SysML-Simulationsmodell (oben) über Codeerzeugung (Mitte) zur Simulation (unten) mit SySim**

Fig. 3: The process from a SysML Simulation model (top) via code generation (middle) and on to simulation (bottom) using SySim



Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Netz AG, Parametric Technology GmbH, Universität Potsdam /  
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten  
 genehmigt / © DVV Media Group GmbH



**Bild 4: Thingworx-basierter Validierungskontext in EULYNX-Live**  
 Fig. 4: A Thingworx-based validation context in EULYNX-Live

Schnittstelle interagieren können als auch mit physischen Gegenständen. Bild 4 zeigt diesen Zusammenhang als ein SysML Internal Block Diagram, wobei ein reales Stellwerk rechts und eine Weichensteuerung links mit ihren virtuellen Repräsentationen im Spezifikationsmodell (Mitte) über Thingworx verbunden sind. Innerhalb dieses Modells sind diese Komponenten mit den entsprechenden EULYNX-Protokollspezifikationen verknüpft. Zusammenfassend ist die Kombination von PTC Windchill Modeler, SySim und Thingworx also ideal dafür geeignet, die Systemvalidierung durch die Integration von modellbasierten, ausführbaren Spezifikationen und Vorserien-Hardware zu erweitern.

**6 Ein erster Prototyp: EULYNX-Live-Projekt auf der Digital Rail Summer School 2020**

Im Rahmen der Digital Rail Summer School 2020 hat sich ein Team von Studierenden der TU Chemnitz, der TU Berlin und dem HPI damit beschäftigt, das EULYNX-Live-Konzept in einer prototypischen Implementierung umzusetzen. Dazu wurde dem Team von Frauscher ein EULYNX-konformer Train Detection System Object Controller bereitgestellt, der zwei Gleisabschnitte überwacht. Außerdem integrierten die Studierenden ein prototypisches Ks-Signal von Thales, das über eine LTE-Verbindung gesteuert werden kann. Der Gesamtaufbau des Experiments umfasst weiterhin eine simulierte Stellwerkskomponente, die mithilfe von PTC Windchill Modeler SySim erstellt wurde, wie in Bild 5 dargestellt ist. In der endgültigen Systemarchitektur mit zwei Gleisabschnitten reagiert das Stellwerk auf die frei/ belegt-Meldungen der Zugererkennung und sendet entsprechende Befehle an das Ks-Signal. Um das Signal für den ersten Gleisabschnitt richtig ansteuern zu können, muss der Zustand beider Gleisabschnitte im Stellwerk vorgehalten werden. Dementsprechend wurden alle möglichen Zustände des Stellwerks mit PTC Windchill Modeler in einem SysML-Modell hinterlegt. Zudem mussten die verschiedenen Abstraktionsebenen der abstrakten Ein- und Ausgänge des Stellwerksmodells mit den tatsächlichen Schnittstellen des Achszählers und des Lichtsignals miteinander verbunden werden. Im Falle des Achszählers kommt hierbei das RaSTA-Protokoll (Rail Safe Transport Application) zum Einsatz, das die redundante und sichere Datenübertragung über ein IP-basiertes Netzwerk ermöglicht. Die Abschlusspräsentation des Projektes fand im Rahmen der Labor- und Demophase der Digital Rail Summer School vom 21.-25. September 2020 statt. Die Studierenden führten ihr Sys-

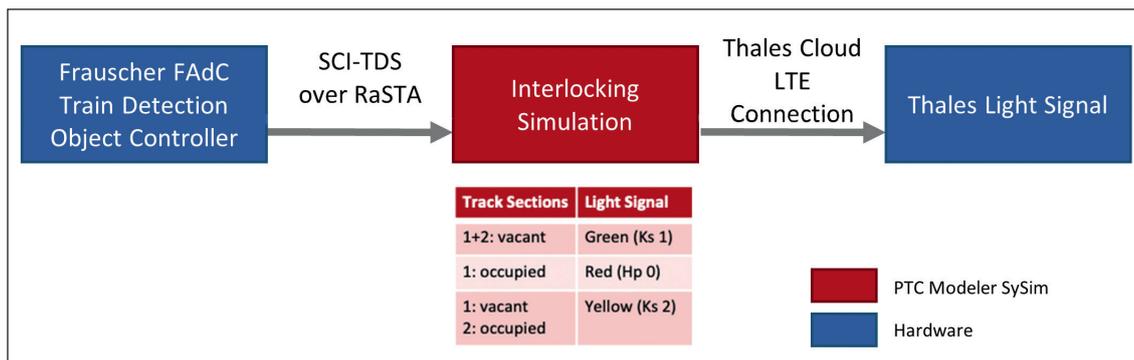
Thingworx. These components are connected to the respective parts of the EULYNX protocol specification within the model. In summary, the combination of the PTC Windchill Modeler, SySim and Thingworx is ideally suited to enable us to realise our concept for extending system validation by integrating model-based, executable specifications with pre-production hardware.

**6 The first EULYNX-Live prototype: a 2020 Digital Rail Summer School student project**

A team of students from TU Chemnitz, TU Berlin and the HPI took on the challenge of building a prototype implementation for the EULYNX-Live concept as part of the 2020 Digital Rail Summer School. Frauscher provided the team with a EULYNX-compliant Train Detection System Object Controller, monitoring two track sections. Moreover, the students integrated a prototype KS light signal provided by Thales that is controlled via an LTE connection. The overall experimental setup also included a simulated interlocking based on PTC Windchill Modeler SySim as depicted in fig. 5. In the final system architecture with two track sections, the interlocking controls the light signal in response to the occupied or vacant telegrams that are emitted by the axle counting object controller. The status of both track sections must be available in the interlocking for the light signal belonging to the first track section to be able to be actuated. Thus, the students designed an interlocking state machine model using PTC Windchill Modeler that can represent all possible states in the system. The next step was to bridge the gap between the abstract input and output interfaces provided by the interlocking model and the actual interfaces on the axle counter and light signal. The axle counter's interface is based on the RaSTA protocol (Rail Safe Transport Application) for redundant and safe transmissions over an IP-based network. For the purposes of this prototype, the students initially extracted the object controller's status messages from a connection to a passive RaSTA endpoint. At a later stage of the project, DB Netz provided the team with an early version of their own RaSTA implementation. This was used to directly equip the PTC Modeler SySim simulation code with a RaSTA interface. The project's final presentation took place as part of the Lab and Demo Phase of the Digital Rail Summer School from 21 to 25 September 2020. The students demonstrated the system on an actual narrow gauge track section of the Pressnitz Valley Railway in Jöhstadt.

**Bild 5: Überblick über die Komponenten im EULYNX-Live-Prototyp**

Fig. 5: An overview of the components in the EULYNX-Live prototype



tem in einem temporären Aufbau an einem Schmalspur-Gleisabschnitt der Pressnitzalbahn in Jöhstadt vor.

Bei ersten Tests verhielt sich das System wie erwartet: Das Lichtsignal änderte seinen Zustand entsprechend der Position einer V10c-Lok, die die Achszählpunkte auslöste. Während der finalen Vorführung fiel das Signal allerdings auf ein dauerhaftes Hp 0 (Rotausleuchtung) zurück: Die Mobiltelefone der vielen Zuschauerinnen und Zuschauer nutzten dieselbe LTE-Zelle wie das Signal. Diese Auslastung führte dazu, dass Lebendigkeits-Nachrichten des RaSTA-Protokolls nicht mehr rechtzeitig zugestellt werden konnten und die Verbindung zum Signal abbrach. Um diese wieder aufzunehmen, war ein Neustart des Signals erforderlich – ein Verfahren, das durch die Systemspezifikation nicht abgedeckt war.

Durch die Vorführung wurde deutlich, wie neue Erkenntnisse aus Feldtests den Spezifikationen zugutekommen können. Der Feldtest war ein klarer Erfolg für EULYNX-Live. Basierend auf unseren Erfahrungen mit dem Prototyp, wird unsere zukünftige Forschung insbesondere modellgestütztes, automatisiertes Testen bei der Inbetriebnahme von EULYNX-Infrastruktur im Fokus haben. Auch in diesem Zusammenhang ist Hardware-in-the-Loop-Testen ein wertvolles Mittel, wie die Erfahrungen aus der Industrieautomatisierung zeigen [5]. Für die Neuauflage der Digital Rail Summer School 2021 planen wir auch, das erfolgreiche EULYNX-Live-Projekt des letzten Jahres fortzuführen.

**7 Zusammenfassung und Ausblick**

Hocheffiziente Bahnsysteme werden eine entscheidende Rolle sowohl bei der Erfüllung der zukünftigen Mobilitätsanforderungen als auch beim Erreichen der europäischen Klimaziele spielen. Neben unserem nationalen Beitrag zur Erhöhung der Transportkapazitäten und der qualitativen Verbesserung der existierenden Bahninfrastruktur streben wir fundamentale Innovationen im gesamten Bahnsektor an. Als großes Ziel unserer Strategie der Digitalen Schiene Deutschland werden intelligente Kontroll- und Sensorsysteme den Weg für eine hochautomatisierte Betriebsführung ebnen. Um reibungslosen grenzübergreifenden Verkehr zu ermöglichen, um von Skaleneffekten zu profitieren und offene Märkte zu fördern, setzt unsere Strategie auf Standardisierung und Modularisierung der gesamten digitalen LST. Für die Schaffung eines europäischen einheitlichen Schienennetzes besteht eine der großen Herausforderungen darin, die technischen Entwicklungen von nationalen Ebenen auf eine gemeinsame europäische Ebene zu heben. Erfahrungen aus anderen Industrien zeigen, dass geeignete Architekturen und exzellente technische Methoden die Kernvoraussetzungen sind, um Barrieren wie unpräzise oder unvollständige nationale Anforderungen zu überwinden.

The system showed the expected behaviour during the first tests on the track. The light signal changed its status according to the movements of a V10c engine passing over the axle counting points. However, the signal fell back to a permanent Hp 0 (red stop signal) during the final demonstration. This was due to the large crowd of viewers whose phones were logged into the same LTE cell as the signal. The resulting congestion on the radio channel meant that the heartbeat messages could not be delivered in time and the connection was lost. Re-establishing the communication link required a reboot of the signal; a procedure not covered by the specification.

This exemplifies how additional insights from field tests can benefit the specifications and hence, the demonstration was a success for EULYNX-Live. Based on the experiences with the prototype, our future research will focus on a model-assisted solution for automated test execution during the process of commissioning EULYNX infrastructure. Hardware-in-the-loop testing is also valuable within this context, as can be observed in the industrial automation domain [5]. With the 2021 Digital Rail Summer School already on the horizon, we are accordingly planning to offer a continuation of the successful EULYNX-Live project from last year.

**7 Conclusion and outlook**

High performance railway systems will have to play a major role in meeting the challenges of tomorrow’s mobility demands and will be vital for the achievement of Europe’s climate goals. We are striving for fundamental innovations to the entire railway system based on our national commitment to increasing capacity and improving the quality of the existing railway infrastructure. Intelligent control and sensor systems will pave the way for highly automated operations as a major goal of our Digitale Schiene Deutschland strategy.

Our strategy encompasses the standardisation and modularisation of the entire signalling system in order to enable interoperable cross border traffic, benefit from economies of scale and foster open markets. When seeking solutions for a single European railway area, the main challenge for the sector is to align the technical developments at a European level in order to ensure interoperability and the ability to migrate by design rather than through individual engineering. Experiences from other industries have shown that an appropriate architecture and an excellent system engineering methodology are key success factors to overcoming barriers such as imprecise and incomplete national requirement specifications.

The progress we have made within EULYNX-Live is very promising and we will continue to explore the opportunities for co-

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DB Netz AG, Parametric Technology GmbH, Universität Potsdam / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Der Fortschritt, den wir in diesem Bereich mit EULYNX-Live gemacht haben, ist sehr vielversprechend. Gemeinsam mit führenden Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der Softwaretechnik, wie dem HPI, werden wir Möglichkeiten der Co-Simulation als Teil des CENELEC-Prozesses weiter untersuchen. Darüber hinaus haben die Ergebnisse dieses Projektes spürbaren Einfluss auf die Projekte im Bereich der LST in Deutschland. In den letzten Jahren hat die DB Netz auf Basis der EULYNX-Spezifikation Projekte mit einem Volumen von mehr als 500 Mio. EUR ausgeschrieben. Der nächste wichtige Meilenstein dieser Erfolgsgeschichte ist für den November dieses Jahres geplant: Mit der Inbetriebnahme des modernsten digitalen Stellwerks wird erstmals in Deutschland ein fortschrittliches IT-Sicherheitskonzept für signaltechnische Anlagen umgesetzt.

Wie zuvor beschrieben, gehen wir mit unserer Strategie des beschleunigten Entwicklungsprozesses noch einen Schritt weiter. Mit Unterstützung des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), des Freistaats Sachsen, der Stadt Annaberg-Buchholz und unseres Partners Erzgebirgsbahn haben wir das erste Digitale Testfeld Bahn in Deutschland gestartet. Neben EULYNX Konformitäts- und Integrationstests erlaubt uns das Digitale Testfeld auch das Testen von Zug-Schiene-Interaktionen und von Abläufen für den automatisierten Zugbetrieb.

Auch wenn der Fortschritt in EULYNX-Live sehr vielversprechend ist, müssen wir nun im Rahmen von Kooperationen mit unseren Partnern auf europäischer Ebene aktiv werden. Um die Vision eines einheitlichen europäischen Schienensystems zu erreichen, müssen alle Beteiligten in diesem Sektor aktuelle Konkurrenzen – mindestens bis zu einem Status der garantierten Interoperabilität – überwinden. Ziel ist es, gemeinsam technische Lösungen für alle europäischen Staaten zu entwickeln. Eine große Herausforderung! Aber mit Blick auf den automatisierten Zugbetrieb, ETCS Level 3 und andere Kerntechnologien bewegt sich der gesamte Sektor bereits in diese Richtung. In dieser Phase der technischen Transition haben wir noch die Möglichkeit zur Vereinheitlichung der betrieblichen Vorschriften und der technischen Spezifikationen. Die Ergebnisse, die im Rahmen von EULYNX entwickelt wurden, zeigen auch, dass die modellbasierte Systementwicklung ein geeigneter Entwicklungsprozess ist, um die Eisenbahn fit für die Zukunft zu machen.

## 8 Danksagung

Dieses Forschungsprojekt wurde durch das BMVI über die mFUND-Projekte Rail2X – Smart Services (19F2010C) und RailChain (19F2093C) sowie Digitales Andreaskreuz – Sichere Middleware für V2X (DiAK – 01MM2010HH) als Teil des Reallabors Hamburg (Nationale Plattform Zukunft der Mobilität) unterstützt. ■

## LITERATUR | LITERATURE

- [1] Voorderhake, M.; Makkinga, F.; van der Werff, M.: „ProRail and its industrial partners have built the first EULYNX demonstrator,“ SIGNAL+DRAHT, 7+8/2019, pp. 29-37
- [2] Spitzer, B.: Modellbasierter Hardware-in-the-Loop-Test von eingebetteten elektronischen Systemen, 2001
- [3] Pretschner, A.; Broy, M.; Kruger, I.; Stauner, T.: „Software Engineering for Automotive Systems: A Roadmap,“ Future of Software Engineering (FOSE,07), 2007
- [4] Oppelt, M.; Urbas, L.: „Integrated virtual commissioning an essential activity in the automation engineering process: From virtual commissioning to simulation supported engineering,“ 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2014
- [5] Gehrman, M.; Gäbel, C.: „Using state machines to test for verification and acceptance,“ SIGNAL+DRAHT, 7+8/2019, pp. 24-28

simulation to facilitate an integrated and SMART CENELEC process together with other leading research institutes in software science, such as the HPI. Furthermore, the results of this work have had a noticeable impact on signalling projects in Germany. In recent years, DB Netz has used the EULYNX specification as the technical basis for tendering signalling projects at a total volume of more than 500 million EUR. The next important milestone for this success story is scheduled for November of this year. The commissioning of the most advanced digital interlocking, the first advanced security protection for signalling applications, will be take place in Germany in November.

As previously described, our strategy to accelerate development processes will go one step further. We have launched the first Digital Rail Test Field in Germany with support from our Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, the State Chancellery of Saxony, the City of Annaberg-Buchholz and our partner Erzgebirgsbahn. In addition to EULYNX-based conformity and integration tests, the Digital Rail Test Field allows us to test train track integration and all the kinds of tests we need for automatic train operations. We are thankful to have this new facility which is, of course, open to the entire sector.

Although the technical progress made in EULYNX-Live has been very promising, we need to break new ground regarding cooperation among all the stakeholders at the European level. In order to achieve the vision of a single European railway area, the sector will have to overcome current competition practices and (at least until reaching a status that ensures interoperability) co-engineer digital platforms that are applicable in all European countries. This is a huge challenge! But the entire sector is currently moving forward with automatic train operations, ETCS Level 3 and other game changers. During this phase of technical transition, we surely have a window of opportunity to harmonize the operating rules as well as the technical specifications. The results achieved in EULYNX show that model-based system engineering is a suitable development process to make the railways competitive and fit for the future.

## 8 Acknowledgements

Research funding has been provided by the German Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure through the mFUND projects Rail2X – Smart Services (19F2010C) and RailChain (19F2093C), as well as Digitales Andreaskreuz – Sichere Middleware für V2X (DiAK - 01MM2010HH) as part of the RealLabHH (National Platform Future of Mobility). ■

## AUTOREN | AUTHORS

### Robert Schmid, M.Sc.

Research Assistant, Operating Systems and Middleware  
Hasso Plattner Institute, University Potsdam  
Anschrift/Address: Prof.-Dr.-Helmert-Str. 2-3, D-14482 Potsdam  
E-Mail: robert.schmid@hpi.de

### Arne Boockmeyer, M.Sc.

Research Assistant, Operating Systems and Middleware  
Hasso Plattner Institute, University Potsdam  
Anschrift/Address: Prof.-Dr.-Helmert-Str. 2-3, D-14482 Potsdam  
E-Mail: arne.boockmeyer@hpi.de

### Lukas Pirl, M.Sc.

Research Assistant, Operating Systems and Middleware  
Hasso Plattner Institute, University Potsdam  
Anschrift/Address: Prof.-Dr.-Helmert-Str. 2-3, D-14482 Potsdam  
E-Mail: lukas.pirl@hpi.de

**Randolf Bergelehner**

DB Netz AG  
Anschrift /Address: Adam-Riese-Str. 11-13, Zentrale DB Netz,  
D-60327 Frankfurt a. Main  
E-Mail: randolf.bergelehner@deutschebahn.com

**Ibtihel Cherif**

DB Netz AG  
Anschrift /Address: Adam-Riese-Str. 11-13, Zentrale DB Netz,  
D-60327 Frankfurt a. Main  
E-Mail: Ibtihel.cherif@deutschebahn.com

**Andreas Korff**

Director Business Development MBSE  
Parametric Technology GmbH  
Anschrift /Address: Edisonstraße 8, D-85716 Unterschleißheim  
E-Mail: akorff@ptc.com

**Dr.-Ing. Bernd Elsweiler**

Entwicklung Digitale Leit- und Sicherungstechnik (DLST)  
DB Netz AG  
Anschrift /Address: Adam-Riese-Str. 11-13, Zentrale DB Netz,  
D-60327 Frankfurt a. Main  
E-Mail: bernd.elsweiler@deutschebahn.com

**Prof. Dr. rer. nat. habil. Andreas Polze**

Professorship for Operating Systems and Middleware  
Hasso Plattner Institute, University Potsdam  
Anschrift /Address: Prof.-Dr.-Helmert-Str. 2-3, D-14482 Potsdam  
E-Mail: andreas.polze@hpi.de

## Handbuch Das System Bahn

Soeben erschienen: die 3. Auflage des Standardwerks „Handbuch Das System Bahn“. Die **grundlegende Neufassung informiert mit einer ganzheitlichen Systembetrachtung** durch erfahrene Fachexperten.  
Zu den aktuellen Themen gehören **neue EU-Richtlinien und Planungsabläufe, Building Information Modeling, Schienenfahrzeuge, Fahrzeug-Instandhaltung, Sicherheit im Bahnbetrieb und HGV-Systeme.**



**Neuaufgabe  
Mai 2021**

**Handbuch Das System Bahn**  
3. Auflage Mai 2021,  
Hrsg. Eberhard Jänsch,  
Hans Peter Lang, Nils Nießen,  
800 Seiten, Hardcover,  
ISBN 978-3-96245-224-7,  
Print mit E-Book Inside € 99,-\*  
[www.pmcmedia.com/  
systembahn](http://www.pmcmedia.com/systembahn)

**MIT  
E-BOOK  
INSIDE**

**Mehr Infos und Bestellung:  
[www.pmcmedia.com](http://www.pmcmedia.com)**



**MIT  
E-BOOK  
INSIDE**

**ETCS in Deutschland**  
Print mit E-Book Inside € 79,-\*  
[www.pmcmedia.com/  
etcsdeutschland](http://www.pmcmedia.com/etcsdeutschland)



**MIT  
E-BOOK  
INSIDE**

**Kommentar zur Eisenbahn-  
Bau- und Betriebsordnung (EBO)**  
6. Auflage Nov. 2020,  
Print mit E-Book Inside € 89,-\*  
[www.pmcmedia.com/  
ebokommentar](http://www.pmcmedia.com/ebokommentar)

\* Preise inkl. MwSt, zzgl. Versand

**BESTELLUNGEN:**  
Tel.: +49 7953 718-9092  
Fax: +49 40 228679-503  
E-Mail: [office@pmcmedia.com](mailto:office@pmcmedia.com)  
Online: [www.pmcmedia.com](http://www.pmcmedia.com)

**PER POST:**  
PMC Media House GmbH  
Kundenservice  
D-74590 Blaufelden

PMC Media House GmbH | Werkstättenstr. 18 | D-51379 Leverkusen  
Office Hamburg | Frankenstr. 29 | D-20097 Hamburg

Unsere Bücher erhalten Sie auch im gut sortierten Buchhandel.