

Dynamisches Eisenbahnsystem Modell (DESM) – Maschinen sprechen mit Maschinen (M2M)

Jürg Suter / Sebastian Straube

Durch Automatisierung von technischen Systemen wurde die Bedienung von Geräten und Maschinen sehr vereinfacht, das System dahinter ist komplizierter geworden. Im Bahn-umfeld stellen sich komplexe Probleme, die im Labor des Vereins DESM untersucht werden können. Es ermöglicht auch die Simulation betrieblicher Szenarien, die die gleichzeitige Beteiligung von Lokführer und Fahrdienstleiter zulassen. Dabei werden Fahrzeuge mit Fahrdynamik, Stellwerke mit Betriebsleitzentralen und Umwelteinflüsse simuliert. Die DESM Middleware ermöglicht die Verbindung einzelner Systemelemente zu einem Gesamtsystem.

1 Ausgangslage

In Technologiefeldern, die in der Bahnbranche vorangetrieben werden, geht es heutzutage um Effizienz und um Kosteneinsparungen im Betrieb. In der Luftfahrt haben sich Simulatoren für die Ausbildung und Trainings sehr bewährt. Die Entscheidung, Trainings und Ausbildungen am Simulator durchzuführen, kommt einher mit den gegebenen Kosten einer Ausbildung am realen Gerät.

Bahnssysteme müssen ebenfalls produktivere Ergebnisse liefern als in der Vergangenheit. Der technologische Wandel ist im Vergleich zu anderen Branchen der Logistik relativ langsam. Jedoch ist deutlich erkennbar, dass die Auslastung der Eisenbahnstrecken ständig gesteigert wird und demzufolge ein dichteres Verkehrsnetz entsteht. Bei engeren Zeitplänen und der damit verbundenen Bindung von Ressourcen wird es schwieriger, Ausbildungen oder sogar Trainings während einer Echtfahrt begleitend durchzuführen. Um im Ereignisfall einen Unfall zu verhindern oder das Schadensausmaß zu mindern, ist es äußerst wichtig, die Kommunikationsprozesse einzuhalten. Dafür sind Ausbildung und Trainings mit Simulationen sehr gut geeignet [7]. Da der Hergang komplexer Ereignisse nicht auf linearem Weg unter-

sucht werden kann, werden insbesondere beim Flugverkehr auch menschliche Faktoren einbezogen. Diese werden mit qualitativen Methoden gemessen und bewertet. Aus der Forschungsarbeit „Gestaltung eines dynamischen Eisenbahnsystem-Modells für die Untersuchung von komplexen soziotechnischen Problemstellungen“ [9] ging das Bedürfnis nach einem integrierten Simulationsinstrumentarium hervor.

Es stellt sich die Frage, wie Trainings- und Ausbildungsmethoden in der Zukunft aufgebaut sind. In der Vergangenheit haben sich die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) dafür entschieden, die Ausbildung von Lokführern wieder in das Unternehmen einzugliedern. Die Ausbildung wird laut den Aussagen der SBB mit Simulator Trainings unterstützt [11]. Der Aufbau eines Simulationssystems für die realitätsnahe Nachbildung von Ausbildung und Trainings ist sehr kostenintensiv.

Die heutigen Simulatoren sind oft für die Ausbildung von einzelnen Personen konzipiert worden. Zu einem Zeitpunkt kann nur eine Person an der Simulation teilnehmen. Damit ist die Durchlaufzeit eines Szenarios mit einem grossen Ressourcenaufwand verbunden. Die realitätsnahe Kommunikation zwischen Lokführer und Fahrdienstleiter ist dadurch nicht möglich.

Aus unseren Erfahrungen geht hervor, dass Nutzen und Akzeptanz von Simulatoren bei der Eisenbahn gesteigert werden können, wenn das Instrumentarium die gleichzeitige Beteiligung von mehreren Probanden bzw. Auszubildenden erlaubt [8].

2 Der Lösungsansatz

In dem in der Schweiz neu aufgebauten Forschungslabor mit Fahr- und Stellwerksimulatoren wurden Fallstudien mit Lokführerinnen und Lokführern durchgeführt. Das psychologische Konstrukt der Situation-Awareness wurde dabei gemessen und eine Ableitung vom Zeitdruck der Probanden hergestellt [6]. Bis-

her wurde diese Methodik vor allem in der Luftfahrt angewendet. Für die Untersuchungen wurde das Modell für den Bahnverkehr weiterentwickelt [7]. Diese Fallstudien sollen aufzeigen, wie komplexe Problemstellungen in der Eisenbahnbetriebsführung mittels Anwendung von Simulatoren untersucht werden können.

Für parallele Trainings und Untersuchungen fehlen heute die Simulatoren. Die Gründe dafür sind die hohen Anschaffungskosten, unzureichende Konzepte sowie fehlende Erfahrungen. DESM beschäftigt sich mit der Entwicklung und Standardisierung der benötigten Modelle, um ein Gesamtsystem simulieren zu können. Es werden ebenfalls bestehende Simulatoren und Komponenten homogenisiert, so dass diese Instrumente an einer Gesamtsimulation teilnehmen können. Das spart Zeit für den Aufbau eines neuen Simulators und mindert die anfallenden Kosten extrem.

Das Problem heterogener Systeme wurde im Forschungslabor des DESM mit der Entwicklung einer Middleware gelöst. Die Systeme können miteinander kommunizieren, obwohl dies bei der Entwicklung der Simulatoren (Soft- und Hardware) nicht vorgesehen war. Die Middleware ermöglicht, dass sowohl Lokführer als auch Betriebspersonal gleichzeitig in die Simulation eingebunden werden können. Der Betrieb einer Gesamtsimulation wird dadurch ermöglicht. An der Simulation nehmen Simulationsprogramme, Fahr- und Stellwerksimulatoren, Stellwerke, die Betriebsleitzentrale sowie die Simulation der Stellwerklogik teil [8].

3 Die Middleware

Mit dieser Softwarelösung wird die Unverträglichkeit zwischen den heterogenen Systemen aufgelöst und es entsteht ein homogenes Gesamtsystem. Dabei steht im Fokus, dass ein möglichst langer Software-Lifecycle unterstützt wird. Aus diesem Grund werden nur Technologien eingesetzt, die bereits in der Industrie etabliert sind. Eine weitere Anforderung

derung ist die Unabhängigkeit des ausführenden Betriebssystems. Aus diesem Grund wurde die Middleware in der Sprache Java geschrieben. Dies ermöglicht einen vielfältigen Einsatz als Thin-Client, Fat-Client, Web-Client, Web-Service und Java-App. Die Umstellung auf die Java Plattform Enterprise-Edition (Java EE) ist ebenfalls möglich [5]. Die Architektur ist modular aufgebaut, damit spätere Anpassungen oder Modulersetzungen ohne Architekturänderungen vorgenommen werden können. Der Austausch von Nachrichten zwischen verbundenen Systemen ist nach den Prinzipien eines Java-Message-Services (JMS) implementiert [4]. Die Erkennung und sinnvolle Umsetzung von Design Patterns bilden ebenfalls einen wichtigen Teil der Architektur [1]. Die Middleware unterstützt eine hohe Skalierbarkeit. Das heißt, die Anzahl der verbundenen Komponenten beeinflusst das Laufzeitverhalten für die Verarbeitung von Nachrichten nur linear. Die Middleware wurde erfolgreich mit Vorgabe dieser Ziele entwickelt und wird dort ständig durch ein evolutionäres Entwicklungsverfahren weiterentwickelt. Die Referenzimplementierung findet im Labor des DESM Anwendung und enthält die Simulationskomponenten gemäß Bild 1.

An den Schnittstellen zwischen Stellwerken und Führerständen der Simulationsanlage werden Ein- und Ausgangssignale über einen Mikrocontroller verarbeitet. Als Versuchsstrecke für die Modellierung des Systems wurde ein kleiner Ausschnitt auf der Strecke Bern – Langnau – Entlebuch – Luzern ausgewählt. Dabei steht das Stellwerk der Abzweigstelle Obermatt für intensive Versuche zur Verfügung. Diese Teststrecke enthält alle relevanten Komponenten der Stellwerklogik. Es können Stellwerke aller

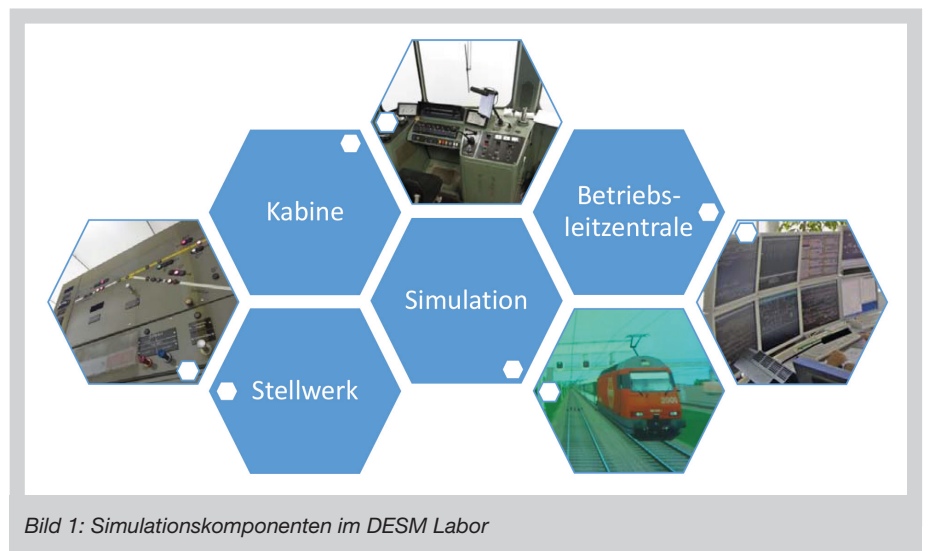


Bild 1: Simulationskomponenten im DESM Labor

relevanten Typen modelliert und in das Simulationsinstrumentarium integriert werden. Alle relevanten Funktionen von Stellwerken können durch diskrete Prozesse abgebildet werden.

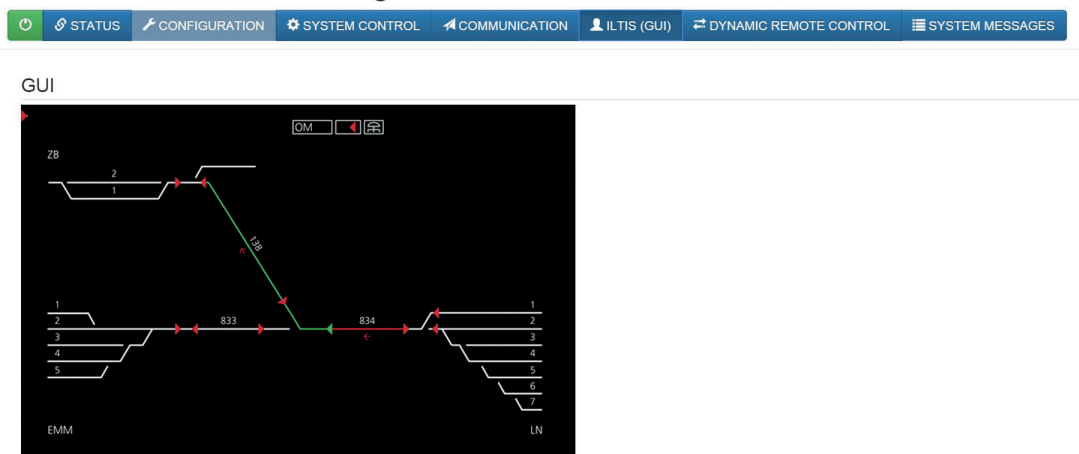
Für die Modellierung der Stellwerklogik wurden Petri-Netze als bestes Beschreibungsmittel evaluiert [6]. Mit dem Werkzeug Pi-Tool [3] können mittels Petri-Netzen Modelle generiert werden und dann der Middleware zur Verfügung gestellt werden. Die Modellierung der Stellwerklogik gliedert die Elemente Fahrstraßen, Gleisfreimeldeeinrichtungen, Weichen, Streckenblock, Bahnübergangsanlagen und besondere Anlagen. Die Verschusstabelle der Bahnanlage bildet die Grundlage als Verzeichnis der Abhängigkeiten aller beteiligten Infrastrukturelemente untereinander. Aus der gegebenen Topologie entsteht ein simulationsfähiges Modell. Durch die Wiederverwendbar-

keit von einzelnen modellierten Elementen lassen sich neue Modelle für andere Stellwerke effizient und zielgerichtet modellieren. Diese Methode wurde bei DESM entwickelt und soll auch anderen Unternehmen zur Verfügung gestellt werden, um eine breite Masse in der Industrie zu erreichen und somit für die Standardisierung der Modellierung von einer Stellwerklogik eine gute Basis zu bilden. Die grundsätzliche Verwendung von Originalführerständen ist mit der DESM-Middleware möglich.

Der Web-Client für das Management Interface ermöglicht es, den Zustand bestimmter verbundener Komponenten in Echtzeit zu beobachten. Es können Nachrichten manuell in das Gesamtsystem übermittelt werden. Alle im System übertragenen Nachrichten werden mitgeschnitten und sortiert angezeigt. Das Management Interface wird in Bild 2 dargestellt.

Bild 2: Management Interface und Betriebsleitzentrale

DESM Middleware - Management Interface



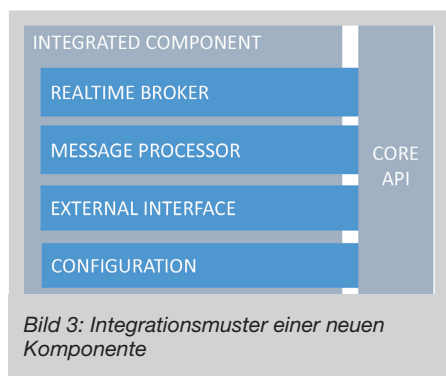


Bild 3: Integrationsmuster einer neuen Komponente

Das Graphical User Interface (GUI) ist ein Web-Client. Diese Lösung ermöglicht eine agile Erstellung und Anpassung von GUI-Elementen. Die Benutzeroberfläche der Betriebsleitzentrale kann mit heutigen Tools einfach und effizient erstellt werden. Der Web Client wird in Bild 2 dargestellt.

Traktionsseitig steht einerseits der Fahr Simulator vom Typ Re 460 der Krauss-Maffei-Wegmann (KMW) und andererseits der deutsche Eisenbahnsimulator ZUSI3 [2] zur Verfügung. Letzterer ermöglicht die Simulation verschiedener Triebfahrzeugtypen.

Die Integration von neuen Komponenten ist eines der wichtigsten Bestandteile der Softwarelösung. Der größte Teil der Architektur Anforderungen beruht darauf, dass neue Komponenten kurzfristig eingebunden werden oder ersetzt werden können. Das folgende Beispiel zeigt die Integration einer Simulationskomponente für die Fahrdynamik. Es werden mathematische und

technische Grundlagen für die Berechnung von Geschwindigkeit, Beschleunigung, Energieaufwand, Leistung und Antriebskräfte herangezogen. Diese Daten können z. B. genutzt werden, um eine Bewegungsplattform zu steuern. Es müssen die Bewegungsdaten der Simulationssoftware über die Middleware an den Fahrdynamik-Simulator übertragen werden. Die einzelnen Komponenten lassen sich nicht direkt miteinander verbinden, da die Schnittstellen nicht untereinander kompatibel sind. Die Integration von neuen Komponenten wird durch die softwaretechnische Implementierung von vier Integrationsmustern vorgenommen. Diese werden von der API des Core Moduls bereitgestellt. In Bild 3 werden die nötigen Muster gezeigt. Die Architektur der Middleware ist dabei so weit abstrahiert, dass die Integrations Schritte unabhängig von der Komponentenart sind. Es muss nicht zwischen Hard- und Software unterschieden werden.

Im ersten Schritt muss sichergestellt werden, dass das Schnittstellenprotokoll der zu implementierenden Komponente von der Middleware unterstützt wird. Wenn das nicht der Fall ist, kann das Core-Modul der Middleware einfach erweitert werden. In diesem Beispiel wird das TCP/IP-Protokoll genutzt, um Daten auszutauschen.

Im zweiten Schritt muss die Konfiguration erstellt werden. Dabei wird ein Mapping der zu übertragenden Nachrichten angefertigt und mit den Nachrichten des Zielsystems verknüpft. In diesem Beispiel wird die Position des Zuges heran-

gezogen. Daraus können die Geschwindigkeit und die Beschleunigungskräfte errechnet werden. Diese Daten werden z. B. für eine Bewegungsplattform benötigt.

Im dritten Schritt muss für die Verarbeitung der ein- und ausgehenden Nachrichten der Nachrichten-Processor implementiert werden. Dabei werden die benötigten Daten mit der vorhandenen Konfiguration verglichen und bei einer Übereinstimmung eine generische Middleware-Nachricht mit den benötigten Informationen erzeugt.

Im vierten Schritt wird die Komponente mit dem Echtzeit-Verarbeitungsprozessor verbunden. Hierüber werden die Middleware-Nachrichten an andere Komponenten gesendet. Aus der API des Core-Moduls kann das Übertragungsprotokoll gewählt werden.

Das Core-Module stellt eine API für die erfolgreiche Integration eines neuen Komponentenmoduls bereit. Es ist wichtig, dass die Nachrichten in Echtzeit übertragen und verarbeitet werden können. Für diese Aufgabe wurde eine Realtime Broker Engine entwickelt. Die Protocol Engine ist für die Abstraktion benötigter Protokolle verantwortlich. Dadurch wird ermöglicht, dass die Integration neuer Komponenten unabhängig von der Komponentenart ist (Hard- oder Software). Ein bereits implementiertes Protokoll kann für alle kompatiblen Komponenten genutzt werden. Dadurch wird bei der Integrierung ein großer Entwicklungsaufwand gespart. Die Message Processing Engine ermöglicht die Übersetzung jeder konfigurierten Nachricht in eine allgemeingültige Middleware-Nachricht. Das ist der gemeinsame Nenner für jede verbundene Komponente. Die Lifecycle Engine überwacht und generiert benötigte Ressourcen für die Echtzeitverarbeitung von Nachrichten. Die Bereitstellung von externen Kommunikationskanälen erledigt der Server Service [5]. Für die Aufgaben, die mit Design Patterns gelöst werden können, werden Common Tools in allen Modulen verwendet [1]. In Bild 4 werden alle beschriebenen Elemente des Core Moduls dargestellt.

Wenn eine Komponente als Modul für die Middleware integriert wurde, dann ist die Komponente mit dem externen Interface in der Lage, mit anderen Systemen, die an der Middleware angeschlossen sind, zu kommunizieren. Es werden momentan die Protokolle TCP/IP, Websocket, I2C oder die Schnittstellen RS232, USB und DLL unterstützt. Die Kommunikation zwischen einer Komponente und der Middleware ist über eine Websocket-Schnittstelle

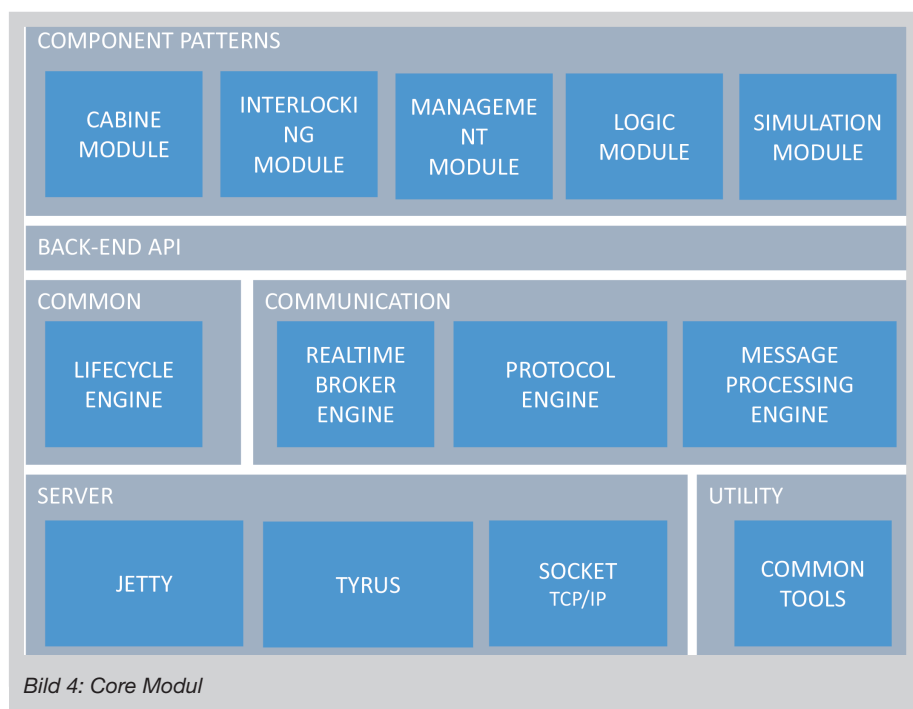


Bild 4: Core Modul

realisiert. Der RFC6455 für das WebSocket-Protokoll stammt von der Internet Engineering Task Force und wurde vom W3C standardisiert. Es handelt sich dabei um eine Streaming-Verbindung zwischen Client und Server. Das Standard-HTTP-Protokoll wird heutzutage in allen Web-Clients zur Datenübertragung genutzt. Dazu muss für jede Datenübertragung eine Verbindung zum Server auf- oder abgebaut werden. Die WebSocket-Implementierung ermöglicht eine konstante Datenverbindung zum Server. Dadurch wird eine Echtzeitübertragung der Daten möglich. Die Module können z. B. auf einem Raspberry PI (Linux) installiert werden. Die Module können untereinander über TCP/IP-Daten mit der Middleware austauschen. Dabei kann das Modul an einem entfernten Ort sein und die Daten über einen Internet-Standardkanal (Port 80) austauschen. In Bild 5 wird gezeigt, wie bei einer Integration von Komponenten der Kommunikationsweg organisiert ist [10].

Im Folgenden wird erläutert, wie der Nachrichtenfluss zwischen Komponenten zustande kommt. Die Ziffern (1-6) beziehen sich auf die Zahlen mit grünem Hintergrund der Prozessschritte aus Bild 6. Wenn eine beliebige Komponente eine Nachricht zur Verfügung stellt (1), wird aus dem Modul über die vorhandene Konfiguration diese spezifische Nachricht (2) über das WebSocket Interface im JSON-Format an die Middleware übertragen. Diese Nachricht wird an alle Komponenten weitergeleitet und dann innerhalb der empfangenden Komponente decodiert (3). Die Komponente entscheidet anhand

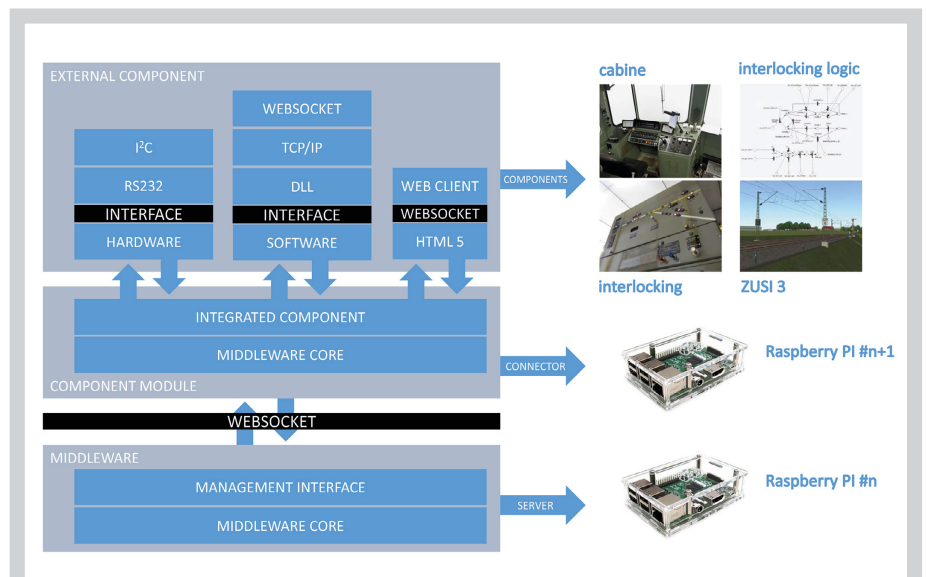


Bild 5: Beispiel für integrierte Komponenten

des übermittelten Themas, ob die Nachricht angenommen oder ignoriert wird (4). Dabei können die Themen in jedem Modul beliebig eingestellt werden. Dies ermöglicht eine „1:1“- , „1:n“ oder „m:n“-Beziehung zwischen den Kommunikationspartnern [4]. Im nächsten Schritt wird versucht, für die empfangene Nachricht eine Konfiguration zu finden (5). Wenn eine Konfiguration gefunden wurde, wird die Middleware-Nachricht in eine Komponentennachricht übersetzt. Wenn das nicht erfolgreich war, wird diese Nachricht ignoriert und als Warnung ausgegeben, da die Konfiguration wahrscheinlich unvollständig ist (6).

4 Ausblick

Das Forschungslabor wird vom Förderverein DESM.ch mit dem Ziel betrieben, das integrierte Simulationsinstrumentarium zur Anwendungsreife zu entwickeln. Damit können Strecken nach Bedarf vollständig oder auch nur abschnittsweise modelliert und mit Betriebszentralen versehen werden. Die Hardware-Komponenten lassen sich den Anforderungen entsprechend integrieren. Mit dem DESM-Simulationssystem steht künftig ein neues Instrument sowohl für Untersuchungen im Eisenbahnsystem durch Forschungsinsti-

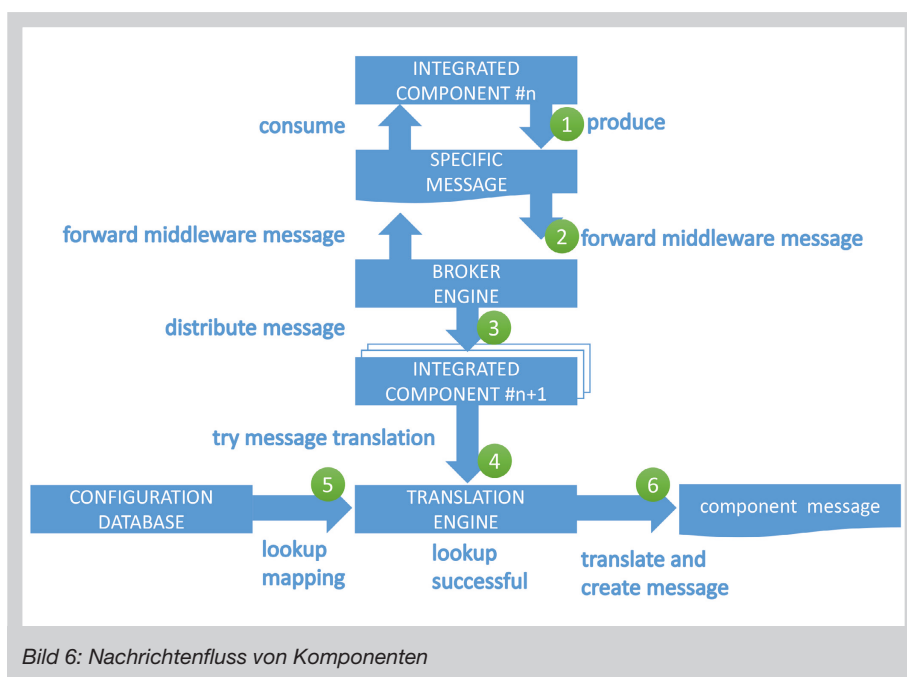


Bild 6: Nachrichtenfluss von Komponenten



Dynamisches Eisenbahn System Modell
Modèle dynamique d'un système ferroviaire
Dynamic model of a railway system

Workshop über die Modellierung, Analyse, Simulation und Training sicherheitsrelevanter Problemstellungen von Bahnen

Für die Untersuchung komplexer und sicherheitsrelevanter Problemstellungen im Eisenbahnsystem leisten Simulatoren einen entscheidenden Mehrwert. Dieser Mehrwert wird in einem zweitägigen Workshop im eigens zu diesem Zweck entwickelten DESM-Forschungslabor in Theorie und Praxis demonstriert.

Datum: 22./23. September 2015
Veranstaltungsort: Deisswil bei Bern

www.desm.ch/workshop

tutionen und industrielle Unternehmungen als auch für Sicherheitstrainings für Eisenbahnunternehmungen zur Verfügung. Es ist ebenfalls Ziel, schnell anpassbare und detaillierte Simulationen zu ermöglichen, um damit einen Beitrag zur höheren Akzeptanz von Simulatoren im Bahnverkehr leisten zu können.

LITERATUR

[1] Gamma, E.; Helm, R.; Johnson, R.; Vlissides, J.: Design Patterns - Elements of Reusable Object-Oriented Software, Patterns of

Enterprise Application Architecture, 1995
 [2] Hölscher, C.: Zusi - Der Zugsimulator. Dokumentation. Kommerzielle Version, <http://www.zusi.de>, 2008
 [3] IQST GmbH, <http://www.iqst.de>, 2014
 [4] Monson-Haefel, R., Chappell, D. A.: Java Message Service, 2009
 [5] Hermann, S.: Serviceorientierte Architektur - Anforderungen, Konzeption und Praxiserfahrung, 2012
 [6] Schnieder, E.: Methoden der Automatisierung. Beschreibungsmittel, Modellkonzepte und Werkzeuge für Automatisierungssysteme. Springer Vieweg, 1999
 [7] Stoller, N.: Situation Awareness von Lokführenden während sicherheitskritischer Ereignissen im Bahnverkehr. Bachelorarbeit. Fachhochschule Nordwestschweiz, Olten, 2013

[8] Suter, J., Straube, S., Riesen, F.: Modelling an universal rail system with a focus on interrelationships. In: FORMS/FORMAT. Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik, Braunschweig, 2012
 [9] Suter, J.: Gestaltung eines Eisenbahn-Systemmodells für die Untersuchung von komplexen soziotechnischen Problemstellungen. Dissertation. Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik. TU Braunschweig, 2014
 [10] <http://www.websocket.org>, 05.12.2014
 [11] <http://www.sbb.ch/sbb-konzern/jobs-karriere/berufserfahrene/zweitausbildungen/lokfuehrerin/ausbildung.html>, 15.02.2015

Die Autoren

Dr.-Ing. Jürg Suter
 Präsident
 Verein Dynamisches Eisenbahn System Modell (DESM.ch)
 Anschrift: Trüelmatt 24, CH-3624 Goldwil
 E-Mail: j.suter@desm.ch

BS Sebastian Straube
 Vorstandsmitglied, CTO
 Verein Dynamisches Eisenbahn System Modell (DESM.ch)
 Anschrift: Trüelmatt 24, CH-3624 Goldwil
 E-Mail: s.straube@desm.ch

■ **SUMMARY**

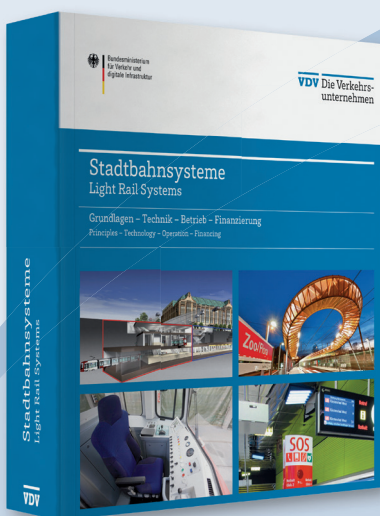
Dynamical Railway System Model (DESM) – Machines Talk with Machines (M2M)

The technical operation of automated systems and machines is simplified today, wherein the downstream of the system has become more complicated. The environment of railway systems includes complex problems. The laboratory of the DESM association is developed to start investigation according to these problems. The simulations are operational scenarios with participation of train driver and dispatcher. This case enables the simulation of driving dynamics, switchboards, operational control center and environmental influences. The compound of these system elements are able to interact through the developed DESM Middleware.

Stadtbahn Kompakt

Direkt einzusetzendes Fachwissen zum Verkehrssystem „Stadtbahn“

Grundlagen | Technik | Betrieb | Finanzierung



Stadtbahnssysteme / Light Rail Systems

- Stadtbahnfahrzeuge
- Stadtbahnbau
- Stadtbahnhaltestellen
- Störfallmanagement
- rechtliche Grundlagen
- aktuelle Themen der Fahrweggestaltung
- Bahnenergieversorgung
- Personaleinsatz & Personalausbildung
- Finanzierung

Erscheinungstermin: 15.9.2014

Preis: EUR 149,- inkl. MwSt, zzgl. Versandkosten

Umfang: 992 Seiten, Hardcover | 2-sprachig Deutsch – Englisch

Jetzt bestellen: Telefon: 040-23714-440, E-Mail: buch@dvvmedia.com oder in unserem Buchshop unter www.eurailpress.de/stadtbahn

