

# Untersuchung von ETCS-Betriebsszenarien durch Co-Simulation von BEST und RailSiTe

Dipl.-Ing. Volker Knollmann<sup>1</sup>, Dipl.-Inform. Oliver Gantz, Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer, Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung (IFS), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Braunschweig

## Kurzfassung

Die Kopplung einer detaillierten ETCS-Simulation mit einer ebenso detaillierten (deutschen) Stellwerkssimulation ermöglicht umfangreiche Untersuchung zur betrieblichen Interoperabilität neuer Strecken. Die Kombination aus nationaler Stellwerkstechnik und ETCS-Zugsicherungstechnik repräsentiert dabei eine typische Konfiguration für zukünftige Strecken. Die Herausforderung beim Aufbau der Co-Simulation besteht dabei in einem effizienten Austausch statischer und dynamischer Simulationsdaten und der Auswahl geeigneter Simulationsszenarien. Der statische Datenaustausch geschieht dabei auf Basis des freien Datenformats railML, während die Dynamikdaten zur Laufzeit über TCP/IP ausgetauscht werden. Die Simulationsszenarien werden aus den Betriebsordnungen abgeleitet.

## 1 Motivation: betriebliche Interoperabilität

Die Inbetriebnahme der ersten kommerziellen Strecken, die mit dem European Train Control System (ETCS) ausgestattet wurden, zeigte den Bedarf für eine umfangreiche Validierung der Interoperabilität der beteiligten Komponenten. Besonders die Schnittstelle zwischen der Zug- und Streckenseite erwies sich als anfällig für (Projektierungs-)Fehler.

Das Kriterium „Interoperabilität“ muss dabei unter zwei Gesichtspunkten analysiert werden. Die Überprüfung der *technischen* Interoperabilität berücksichtigt im Wesentlichen die spezifikationskonforme Reaktion des Prüflings auf externe Stimuli. Vereinfacht ausgedrückt wird die korrekte *Interpretation* der ETCS-Sprache sichergestellt. Die Betrachtung erfolgt dabei für gewöhnlich isoliert für eine einzelne Systemkomponente, z. B. ein ETCS-Fahrzeuggerät.

Der Test der *betrieblichen* Interoperabilität betrachtet dagegen das Gesamtsystem aus Zug- und Streckenseite und überprüft die Interaktion der beteiligten Komponenten im Rahmen eines bestimmten betrieblichen Kontextes. Oder vereinfacht: es wird die korrekte *Vermendung* der ETCS-Sprache zur Lösung bestimmter betrieblicher Aufgaben überprüft.

Um die betriebliche Interoperabilität kostengünstig im Labor statt auf der Strecke zu untersuchen, ist eine detaillierte Simulation der beteiligten Systeme und Subsysteme erforderlich. Zu diesem Zweck wird im eisenbahntechnischen Labor des DLR eine Co-Simulation des RailSiTe-Kerns (Zugseite und RBC) und BEST (Stellwerk) eingesetzt.

## 2 Co-Simulation: die Kopplung aus Datensicht

Die an sich eigenständigen Simulationen BEST und RailSiTe wurden zum Aufbau der Co-Simulation mit neuen Schnittstellen ausgestattet, um die parallele, synchrone Bearbeitung des gleichen Simulationsszenarien zu ermöglichen. Über diese neuen Schnittstellen werden zwei Klassen von Daten ausgetauscht:

**Statische Daten:** Diese Daten werden offline vor Beginn des Simulationslaufs ausgetauscht. Sie beinhalten alle Informationen, die sich zur Laufzeit nicht ändern. Insbesondere sind dies die Gleisnetztopologie und die Positionen und Eigenschaften streckenseitiger Elemente wie beispielsweise Signale, Weichen oder Gleissperren.

**Dynamische Daten:** Dynamische Daten werden zur Laufzeit der Simulation übertragen und setzen sich vor allem aus Gleisbesetzmeldungen, Signalbegriffen sowie Weichen- und Gleissperrenumläufen zusammen.

### 2.1 Das statische Datenformat

Für die Erstellung und Modellierung der Gleisnetztopologie wird der BEST-Editor eingesetzt, der somit die „Quelle“ der statischen Daten darstellt. Für den Export der Daten zum RailSiTe-Kern, der im Wesentlichen aus einer MySQL-Datenbank besteht, wurde der BEST-Editor um eine Exportschnittstelle im railML-Format erweitert. Auf der Gegenseite existiert ein entsprechendes Importprogramm, um die railML-Daten in die MySQL-Datenbank zu übernehmen.

Der Zwischenschritt über das railML-Format wurde gewählt, um Szenarien in einem offenen, nicht-proprietären und menschenlesbaren Format zwischenspeichern und somit auch den Austausch mit anderen Gegenstellen als nur dem RailSiTe-Kern zu erleichtern. Andererseits ist ein railML-Importfilter für das RailSiTe unter dem Eindruck der wachsenden Verbreitung von railML sinnvoll, um auch Szenarien von anderen Quellen als nur dem BEST-Editor laden zu können.

Das XML-basierte railML-Datenformat wurde um einige Elemente erweitert, um auch stellwerksspezifische Detailinformationen, die nicht Gegenstand des gegenwärtigen offiziellen railML-Standards sind, austauschen zu können.

### 2.2 Der dynamische Datenaustausch

Der Austausch von dynamischen Daten zur Laufzeit erfolgt nach dem Client-Server-Prinzip via TCP/IP. BEST verbindet sich mit einem Server im RailSiTe-Kern und wird über diesen Kanal mit Steuerbefehlen und Gleisbesetzmeldungen versorgt. Umgekehrt übergibt BEST über diese Verbindung Weichen- und Signalzustände. Die Zuständigkeiten sind somit eng an der Realität aufgeteilt: BEST ist für alle streckenseitigen Elemente verantwortlich, während der RailSiTe-Kern alle zugeseitigen Aspekte simuliert.

Der Austausch der Zustandsdaten erfolgt dabei asynchron: anstelle der zyklischen, synchronen Übertragung aller betreffenden Zustandsgrößen werden nur dann Daten ausgetauscht, wenn sich Größen ändern. Dabei werden auch nur die geänderten Daten übertragen. Eine Ausnahme stellt der Simulationsstart dar, bei dem einmalig die vollständigen Zustandsdaten aller Elemente ausgetauscht werden, um einen gemeinsamen konsistenten Ausgangspunkt für die Co-Simulation sicherzustellen.

## 3 Typische betriebliche Szenarien

Die zu überprüfenden betrieblichen Szenarien hängen in ihrer Detailausprägung natürlich von der jeweiligen zugrunde liegenden Betriebsordnung ab. Aus funktionaler Sicht gibt es jedoch einen Satz von „Grundszenerarien“, der dann an den spezifischen Anwendungsfall angepasst werden muss.

Zu diesen Grundszenerarien zählen u. a. das Betreten und Verlassen des ETCS-Gebietes, Levelwechsel, Verbindungsaufbau zur Funkstreckenzentrale, Erteilung einer Fahrerlaubnis und Rangieren. Neben dem Normalfall bzw. dem Regelfall muss natürlich auch der Störfall getestet werden, was in der Regel etwa zwei Drittel der Testfälle ausmacht. Solche Abweichungen vom Regelbetrieb sind beispielsweise gescheiterter Verbindungsaufbau, vorsätzliche Vorbeifahrt am Halt zeigenden Signal, Fahrt auf Sicht, Einfahrt eines Nicht-ETCS-Fahrzeugs in ETCS-Gebiet, Fahrt auf (mündlichen) Befehl des Fahrdisleiters, Störungen an Streckenelementen (Weichenlaufstörung, Bahnübergangsstörung, Gleisfreimeldung, Lampenstörungen an Signalen, ...), Oberleitungsstörungen oder der teilweise bzw. vollständige Ausfall der LST. Die zahlreichen Störmodi, die in den Simulatoren BEST und RailSiTe implementiert sind, lassen sich zu diesem Zweck sehr effektiv kombinieren und erlauben auch die Nachbildung komplizierter Fehlerzustände.

## 4 Zusammenfassung

Die Co-Simulation nationaler Stellwerks- und europäischer Zugsicherungstechnik bietet eine optimale Grundlage für die betriebliche Validierung zukünftiger Strecken und deren Projektierungen. Wesentlich für die Simulatorkopplung ist der effiziente Austausch statischer und dynamischer Daten. Im Falle von BEST und RailSiTe wurde dabei auf das freie Format railML bzw. ein internes TCP/IP-Protokoll zurückgegriffen. Die so geschaffene Laborumgebung erlaubt die Überprüfung der betrieblichen Interoperabilität von ETCS-Komponenten anhand einer Reihe von Regelbetriebs- und Störszenarien.

<sup>1</sup>Volker.Knollmann@dlr.de