

ETCS-Testfälle – Vorbereitungen für die Inbetriebnahme in Deutschland

ETCS test cases – preparation for the commissioning in Germany

Richard Kahl | Yadi Han

Das moderne Zugbeeinflussungssystem ETCS (European Train Control System) kommt aktuell häufiger zur Anwendung und ist im Netz der Deutschen Bahn AG (DB AG) mit den zwei Ausprägungen ETCS Level 2 und ETCS Level 1 Limited Supervision (ETCS signalgeführt – ESG) vertreten. Zudem ist ETCS als Komponente des European Rail Traffic Management System (ERTMS) für die Harmonisierung des Eisenbahnverkehrs auf europäischer Ebene spezifiziert. Dies und die Vielfalt der Ausrüstungskomponenten für Fahrzeuge und Strecken durch verschiedene Hersteller erhöhen die Komplexität des Systems und erfordern einen Nachweis der sicheren Funktion. Ein essenzieller Bestandteil dieses Nachweises sind Tests, die bisher nur im Subset-076 der europäischen Spezifikation veröffentlicht wurden. Eine Erweiterung an nationale Anpassungen von ETCS liegt aktuell nur teilweise vor und wird häufig herstellerintern für einzelne Komponenten oder Baugruppen durchgeführt.

1 Projektziele

Um diese Lücke der Nachweisführung für einen sicheren Bahnbetrieb zu schließen, entschied sich das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) als nationale Aufsichtsbehörde für die Erarbeitung eines vollumfänglichen Testfallkatalogs für die in Deutschland eingesetzten ETCS-Systeme (zum Stand Ende 2017). Unterstützt wurde das EBA hierbei durch das CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik und durch die Professur für Verkehrssicherungstechnik der TU Dresden.

Grundsätzlich bestand die Aufgabe, ein geeignetes Verfahren zu entwickeln, das das Gesamtsystem ETCS Level 2 (in Deutschland) und ESG abbildet. Hierfür sollte ein Testfallkatalog erarbeitet werden, dessen Vollständigkeit anschließend nachzuweisen war.

Des Weiteren wurden detaillierte Inhalte zwischen den Projektbeteiligten abgestimmt. Speziell sollte die Funktionalität des gesamten Systems betrachtet werden, um einen hersteller- und komponentenübergreifenden Nachweis der sicheren Funktion zu ermöglichen und keine weiteren bereits vorhandenen Produkttests zu generieren. Diese werden bereits hinreichend durch die Hersteller durchgeführt. Zudem werden bei einer Systembetrachtung auch die verwendeten Schnittstellen auf ihre korrekte Funktion überprüft.

Weiterhin sollten die entstehenden Projektergebnisse für den praktischen Einsatz vorbereitet werden und beispielsweise über geeignete Filterkriterien verfügen. Diese sollten öffentlich zugänglich sein und so frühzeitig in der Produkterstellung berücksichtigt werden. Eine nachgewiesene Prüfung kann anschließend bei der Inbetriebnahme entfallen.

The modern ETCS (European Train Control System) automatic train control system is currently being increasingly implemented. Two functional levels have been deployed within the Deutsche Bahn AG (DB AG) railway network: ETCS level 2 and ETCS level 1 Limited Supervision. The latter is also known as “ETCS signalgeführt” or “ESG” in its German application. ETCS is one of the components of the European Rail Traffic Management System (ERTMS). ERTMS has been designed and promoted with a view to the harmonisation of railway transport at the European level. This and the wide range of equipment provided by various suppliers have increased the complexity of the system. As such, proof of safe function is required and testing constitutes an essential part of it. Until now, the tests could only be found in Subset-076 of the European specifications. Moreover, an extension to the ETCS national adaptation is currently only partially available and it is often realised by the suppliers of the individual components or construction parts.

1 Objectives

In order to bridge this gap in the provision of proof of safety for railway operations, the Federal Railway Authority (in German: Eisenbahn-Bundesamt, EBA) decided to create a complete test case catalogue for ETCS applications in Germany (as of the end of 2017) supported by the CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik and the Chair of Railway Signalling and Transport Safety Technology at the Technical University in Dresden. The project’s objective was to develop a suitable methodology to depict the entire ETCS level 2 and ESG system. As such, a test case catalogue had to be created and its comprehensiveness proven.

The details were determined by means of the coordination and agreement of the project members. In particular, the functionality of the whole system had to be considered in order to enable generic proof of the safety function rather than just the specific product tests performed by the suppliers. The correct function of the applied interfaces also had to be proven within the scope of this consideration.

Furthermore, the project results had to be presented in a practically applicable manner such as with a filter function. They had to be publicly accessible and to be taken into account during the early stages of product development. Testing could then take place during the commissioning stage.

2 Ausgangssituation

Komponenten, die bei ETCS zur Anwendung kommen, sind systembedingt vielfältig und werden auch herstellerübergreifend kombiniert. Diese sind, ebenso wie andere Komponenten der Sicherungstechnik, nach den anerkannten Regeln bzw. Methoden (z.B. V-Model) entwickelt und auf ihre richtige Funktion geprüft. Innerhalb dieses Entwicklungsprozesses stehen auch verschiedene Testschritte zur Verfügung und werden entsprechend angewendet. So werden die entsprechenden Systemeigenschaften im ersten Schritt anhand von Dokumentationen und Funktionsbeschreibungen geprüft. Dies geschieht herstellerintern und mit – verglichen mit nachfolgenden Tests – geringem Aufwand. Bild 1 zeigt die Durchführung von Tests über die Projektlaufzeit am Beispiel ausgewählter ETCS-Komponenten von zwei fiktiven Herstellern „A“ und „B“.

Sind die Testergebnisse positiv, folgen ausführliche Labortests. Diese werden häufig durch die Hersteller selbst durchgeführt und berücksichtigen dabei keine Kombination von Produkten anderer Hersteller. Allerdings besteht in dieser Phase die Möglichkeit, mehrere Komponenten desselben Herstellers zu kombinieren, um deren Verhalten zu prüfen und eventuelle Beeinflussungen (z.B. in der Kommunikation) aufzudecken. Anschließend erhalten die Produkte die Freigabe und werden in den entsprechenden Anlagen (Strecke oder Fahrzeug) installiert, worauf die Inbetriebnahmetests folgen. Hierbei werden zuerst die eingesetzten Baugruppen in der vorgesehenen Einsatzumgebung und anschließend das System als Ganzes getestet.

Dabei lässt sich bereits erahnen, dass erst bei der Vorbereitung zur Inbetriebnahme Probleme zwischen den einzelnen Komponenten unterschiedlicher Hersteller oder den verbindenden Schnittstellen aufgedeckt werden können, da erst in dieser späten Projektphase eine Kombination aller Baugruppen durchgeführt wird. Änderungen kurz vor der Inbetriebnahme können gravierende Auswirkungen auf den Terminplan haben. Zudem sind Änderungen im fertigen Produkt aufwendig und kostenintensiv.

3 Methodischer Ansatz – Übersicht fahrdienstlicher Betriebsfälle

Um einerseits das gesamte System ETCS und dessen Schnittstellen sowie das Zusammenspiel unterschiedlicher Komponenten und Hersteller zu betrachten, musste ein neuer Ansatz entwickelt werden. Dabei wurde sich von den technischen Realisierungen gelöst und ein

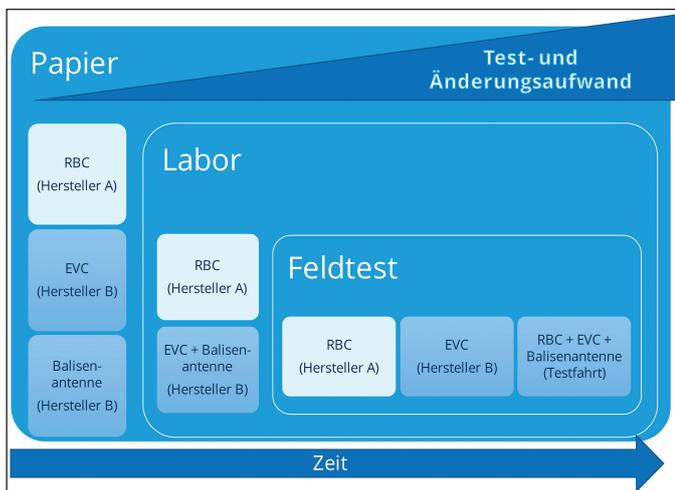


Bild 1: Aktuelle Testsituation am Beispiel ausgewählter ETCS-Komponenten
 Fig. 1: The current test situation with examples of selected ETCS components

2 The initial situation

The components used in ETCS are diverse as determined by the system and provided by various suppliers. They can also be flexibly combined in multiple ways. Like other signalling technology components, the development of ETCS components is in line with the code of practice as well as common methods, such as the V-Model. The correctness of their functionality has to be proven. There are several test steps within this development process and they are implemented accordingly. The first step involves an analysis of the system properties performed by the suppliers using the documentation and function descriptions and requires relatively little effort when compared with the following tests. Fig. 1 shows the process for conducting tests throughout the project period with selected ETCS components from two fictitious suppliers “A” and “B”.

Comprehensive laboratory testing then follows on the basis of any positive results from the first step. This is undertaken by the suppliers themselves without the use of a combination of products from any other suppliers. However, it is possible to combine several components from the same manufacturer during this stage in order to test their interaction and eventually to reveal any failures or faults (e.g. in communication). The components subsequently receive approval and may be installed in the corresponding trackside or on-board equipment subjected to the following commissioning tests. The commissioning tests are first carried out for the installed components in the operating environment and then for the system as a whole.

It can therefore be surmised that any problems between individual components from different suppliers or connected interfaces can only be uncovered during the preparation of commissioning, as it is not until this stage that all the components are interfaced. Modifications prior to commissioning can exert a significant impact on the project deadlines. In addition, any changes to finished products are time-consuming and cost-intensive.

3 The methodological approach – the operating scenario overview

It was necessary to develop a new methodological approach which takes the entire ETCS system, its interfaces and the interaction between the different components and suppliers into consideration. An operational approach with a view of the whole railway system was selected, instead of a technical one. This has resulted in the “operating scenario overview” which includes all the possible operating cases, regardless of any implemented technology such as the train control system. The operating scenario overview was then subdivided into operating cases, test case groups and test cases in accordance with the train ride phases and in a top-down manner. This was carried out continuously until all the subdivision possibilities had been explored. Thus, the operating scenarios can be regarded as having been generically developed. An excerpt from the overview is depicted in fig. 2.

This generic operating scenario overview was then applied to both the functional levels used in Germany, i.e. operating scenario overviews were created for ETCS level 2 and ESG respectively. Furthermore, a distinct ID was assigned to each element in order to enable the flow to be monitored during the creation of the test case catalogue in the subsequent steps.

4 The outcome

Individual sets of test cases were then designed for each operating situation based on the operating scenario overview in order

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Technische Universität Dresden
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020

betrieblicher Blickwinkel auf das System Eisenbahn gewählt. Ergebnis war die „Übersicht fahrdienstlicher Betriebsfälle“ (ÜFB), die alle auftretenden Situationen, unabhängig von eingesetzten Techniken (z. B. Zugbeeinflussungssystem), beschreibt. Die ÜFB wurde ausgehend von den Bewegungsphasen nach dem Top-down-Prinzip in Betriebsfälle, Testfallgruppen und Testfälle aufgeteilt, bis keine Unterteilung mehr möglich war und somit die betriebliche Situation umfänglich beschrieben ist. Einen Auszug der ÜFB ist in Bild 2 dargestellt.

Anschließend wurde die generische Übersicht auf die beiden betrachteten Level übertragen und je eine ÜFB für ETCS Level 2 und ESG erstellt. Zudem wurden jedem Element eine eindeutige ID (Identifikation) zugeordnet, um sich im anschließenden Schritt, der Erstellung eines Testfallkatalogs, orientieren zu können.

4 Ergebnis Testfallkatalog

Ausgehend von der ÜFB wurden für jede Betriebssituation Testfälle entwickelt, die deren sichere Funktion nachweisen. Hierfür wurde die Betriebssituation schrittweise durch einzelne Tests beschrieben und parallel in ein strukturiertes Erwartungsbild überführt. Dabei wurde der Zustand des Fahrzeuges (Level, Betriebsart, Geschwindigkeit u. v. m.) zu Beginn und am Ende des Tests festgelegt. Zudem sind die notwendigen Reaktionen des Zugbeeinflussungssystems, z. B. Auslösung einer Zwangsbremmung oder Anzeige einer Textmeldung, sowie die nötigen Handgriffe des Triebfahrzeugführers definiert worden. Weiterhin wurde das Erwartungsbild durch umfangreiche Verknüpfungen zu den einzelnen Vorgaben (z. B. Regelwerke) angereichert, um eine anschließende Bewertung des Testfalls zu ermöglichen.

Das somit entstandene Ergebnis ist ein Testfallkatalog, der insgesamt über 2500 Testfälle enthält. Dabei ist jeder Testfall mit 28 Eigenschaften beschrieben und stellt eine umfangreiche Abbildung der betrieblichen Situation dar. Um eine fachliche Zuordnung zwischen Testfall und Betriebssituation zu ermöglichen, kann die einheitliche ID genutzt werden (Bild 2), die je nach Granularität der Testfälle fortgeschrieben wird. Eine direkte und schnelle Einordnung ist somit leicht möglich.

5 Nachweis der Vollständigkeit

Der Auftraggeber stellte die Anforderung, die Vollständigkeit des entwickelten Testfallkataloges und damit die Verlässlichkeit der angewendeten Methodik nachzuweisen. Da hierfür keine wissenschaftlichen Quellen, die das System Eisenbahn gesamthaft beschreiben, zur Verfügung standen, musste auch hierfür ein geeignetes Verfahren gesucht werden.

Um alle betrieblichen Situationen zu erfassen, wurde eine erweiterte Projektgruppe zusammengestellt, die aus Experten der Leit- und Siche-

to prove the corresponding level of safe function. They were arranged in a structured format. Train parameters, such as the level, operating mode, speed, etc., were defined for both the start and the end of the test. The expected ETCS responses were also determined. This included forced brake application, text display as well as any required manual intervention by the train driver. Additionally, the test cases could also be traced backwards through the links to the related regulations for assessment. This resulted in a test case catalogue that consists of more than 2500 test cases. Each test case has 28 features and as such it provides a comprehensive depiction of an operating situation. The ID shown in fig. 2 can be further sub-numbered for coherency depending on the degree of test case granularity. This not only enables the matching between a test case and an operating situation but also facilitates the quick and direct classification of the test cases.

5 Proof of completeness

As requested by the client, the completeness of the developed test case catalogue and hence the reliability of the used methodology had to be demonstrated. An appropriate method had to be adopted due to the absence of any reference sources which provide a detailed account of the whole railway system.

A group of signalling specialists was therefore formed to work out all the operating situations. By doing this, they could contribute their substantial experience as well as their diverse knowledge gained in the field of railway signalling from different perspectives to the operating scenario overview and the test case catalogue. The consulting specialist group iteratively compared the results of the test case catalogue, thus enabling the conclusion to be reached that all the operating scenarios had been comprehensively and completely covered by the tests.

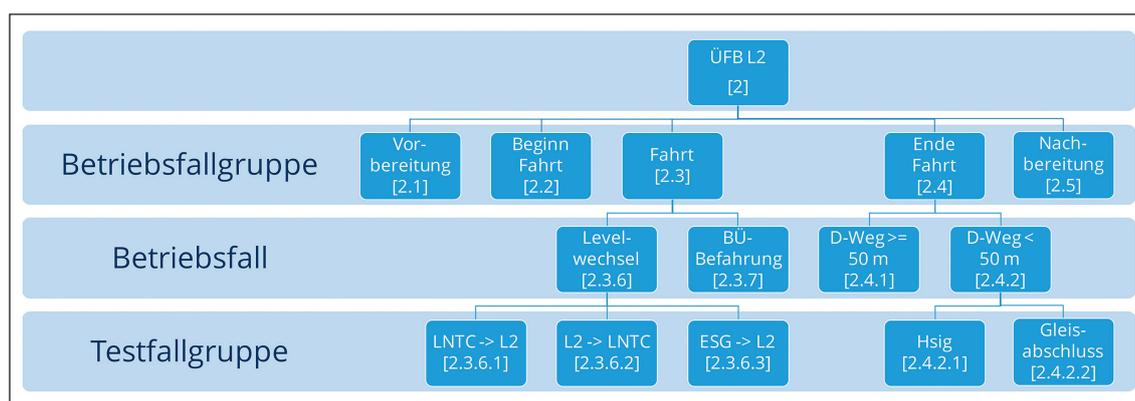
6 Application options

From the very outset of the project, the need for a test case catalogue focussed on its practical application. Consequently, filter functions were created to facilitate its practical application in the different development phases. For example, the test case catalogue can already be put into practice when drawing up requirement specifications or developing products.

Nonetheless, the test case catalogue still mainly applies to laboratory and field tests. By using this catalogue, ETCS components can be tested individually or in combination with each

Bild 2: Auszug aus der Übersicht fahrdienstlicher Betriebsfälle (ÜFB)

Fig. 2: An excerpt from the operating scenario overview



rungstechnik besteht. Den Experten war es möglich, durch ihre umfangreichen Erfahrungen und die verschiedensten Spezialisierungen im Bereich der Eisenbahnsicherungstechnik unterschiedliche Blickwinkel auf die ÜFB und den Testfallkatalog einzubringen. Durch einen iterativen Abgleich der erarbeiteten Ergebnisse mit der Expertengruppe kann davon ausgegangen werden, dass alle betrieblichen Szenarien vollumfänglich betrachtet und vollständig durch Tests beschrieben wurden.

6 Anwendungsmöglichkeiten

Bereits zu Projektbeginn stand die Forderung nach einem Testfallkatalog für eine praktische Anwendung im Mittelpunkt. Daher wurden entsprechende Filterfunktionen realisiert, die einen Einsatz in den unterschiedlichen Entwicklungsphasen des Produktes zur Folge haben. So kann beispielsweise der Testfallkatalog bereits bei der Erarbeitung von Produktzielen (Lastenheft) oder bei der Produktentwicklung angewendet werden.

Das hauptsächliche Einsatzfeld liegt allerdings in den Labor- und Feldtests. Im Labortest können zukünftig Einzelprodukte oder Kombinationen mehrerer ETCS-Komponenten mit den gleichen Testanforderungen wie im Feldtest validiert werden. Feldtests sind für die Abnahme oder Inbetriebnahme erstellt und können das abschließende Kriterium für die Zulassung der errichteten Strecke bilden. Der entwickelte Testfallkatalog kann über die Webseite des EBA bezogen werden.

7 Weiterentwicklung des Testfallkatalogs

Der somit gewonnene Testfallkatalog stellt eine sehr gute Grundlage für die Durchführung von Systemtests für ETCS Level 2 und ESG dar. Allerdings müssen die Ergebnisse auch auf die praktische Handhabung geprüft werden, was eine Inbetriebnahme einer Strecke in Deutschland mit diesen Zugbeeinflussungssystemen erfordert. Diese Strecke sollte zudem über Besonderheiten wie beispielsweise Bahnübergänge und Leveltransitionen verfügen. Zukünftig müssen eventuelle Änderungen in der Systemspezifikation sowie die Einführung neuer Funktionalitäten im Testfallkatalog ergänzt werden. Zudem hat die Erstellung gezeigt, dass einige Testfälle häufiger auftreten, die auf das gleiche Verhalten des Fahrzeugs (z. B. Reaktion auf Balisenlesefehler oder Auslösung einer Zwangsbremmung) zurückzuführen sind. Hierbei könnte zukünftig, bei einmaligem positivem Testergebnis, auf (unnötige) Mehrfachtests verzichtet werden. Hierfür können, durch vertiefte Kenntnis im Aufbau des Testfallkatalogs und der ÜFB, modulare Testbausteine mit gezielten Verknüpfungen zu den Betriebsituationen entwickelt werden. Ein effektiveres Vorgehen bei der Systembewertung und somit eine Kostenminimierung bei der Produktentwicklung und Inbetriebnahme wären die Folge.

Abschließend ist eine Erweiterung der Filterfunktionen und eine damit verbundene Ergänzung von Eigenschaften der Testfälle denkbar. Hiermit lassen sich beispielsweise einzelne Komponenten (Balise, Lineside Electronic Unit – LEU) und bestimmte Schnittstellen gezielt betrachten.

8 Zusammenfassung

Im durchgeführten Forschungsprojekt wurde eine vollständige, generische betriebliche Beschreibung des Systems Eisenbahn (Übersicht fahrdienstlicher Betriebsfälle) entwickelt und anschließend auf die Zugbeeinflussungssysteme ETCS Level 2 und ESG übertragen. Anschließend konnte ein Testfallkatalog mit über 2500 Tests erstellt werden, der für den praktischen Einsatz (z. B. für Abnahme- oder Inbetriebnahmetests) geeignet ist. Eine zukünftige Optimierung und Weiterentwicklung des Testfallkataloges ist erforderlich und wird empfohlen. ■

other in the laboratories under the same test requirements as in the field. Field tests are used for acceptance or commissioning tests and can be regarded as the final criterion for the approved line. The developed test case catalogue is available on the Federal Railway Authority's website.

7 Further development of the test case catalogue

Although the test case catalogue serves as a suitable basis for conducting system tests for ETCS level 2 and ESG, the practicality of its results is yet to be proven. This is required when commissioning a line installed with these two systems in Germany. Such a line should feature, for example, level crossings and level transitions. The test case catalogue must be extended in the future because of possible changes to the specifications, as well as the introduction of new functionalities.

Several test cases were also shown to have repeated themselves during the development process. This could be ascribed to the reoccurrence of some train behaviours, e.g. the response to a balise read error or forced brake application. In the future, such (unnecessary) multiple tests could be omitted after a single positive test result has been achieved in order to avoid any repetition. Modules with links to the related operating situations can also be created to avoid redundant tests. The system assessment would be more effective as a result. Product development and commissioning would also be more economical.

Finally, the extension of the filter function by increasing the test case features is also worth mentioning. By doing so, individual components (balises, lineside electronic units – LEU) and certain interfaces could be intentionally targeted.

8 Summary

The project aimed to develop a comprehensive, complete and generic overview of the entire railway system and then to apply it onto the two functional levels, ETCS 2 and ESG, used in Germany. The outcome was a test case catalogue with more than 2500 tests that is suitable for acceptance and commissioning. Further optimisation and development is necessary and recommended. ■

AUTOREN | AUTHORS

Dipl.-Ing. Richard Kahl

Wissenschaftlicher Mitarbeiter / *Research associate*
Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“
Technische Universität Dresden
Anschrift / *Address*: Hettnerstraße 3, D-01069 Dresden
E-Mail: richard.kahl@tu-dresden.de

Yadi Han M. Sc.

Wissenschaftliche Mitarbeiterin / *Research associate*
CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik
Anschrift / *Address*: Bernhardstraße 77, D-01187 Dresden
E-Mail: yadi.han@cerss.com