

# Entwicklung eines RBC-Changeover (ohne RBC / RBC-Kopplung)

## Developing an RBC changeover (without an RBC / RBC coupling)

Richard Kretzschmar | Susanne Hillmann | Lars Brune | Manuel Winkler | Tobias Mücke | Sébastien Zinsius | Patrick Deutsch

**A**ktuell ist für den Wechsel zwischen zwei Radio Block Centres (RBC) unter ETCS Level 2 ausschließlich das RBC/RBC-Handover vorgesehen, welches u. a. im SUBSET-039 definiert ist [1]. Diese Lösung erscheint jedoch nicht für alle Anwendungsfälle optimal. Besonders an Landesgrenzen treten oftmals zusätzliche Herausforderungen auf, welche die Umsetzung erschweren. Das RBC-Changeover (ohne RBC/RBC-Kopplung) soll hierfür eine alternative Möglichkeit bieten und aufgrund der einfacheren Gestaltung und der reduzierten Abhängigkeiten zwischen beiden RBC eine günstigere und schnellere Umsetzung ermöglichen.

### 1 Einleitung

In Europa gibt es laut einer Studie der Europäischen Kommission insgesamt 202 Grenzbetriebsstrecken (Grenzstreckenabschnitt inklusive der Grenzbahnhöfe) in Betrieb und 14 in Planung oder im Bau [2]. Deutschland ist an 60 dieser Grenzbetriebsstrecken beteiligt. Dies zeigt, wie wichtig es für die Deutsche Bahn AG (DB) ist, interoperable, praktikable und kostengünstige Lösungen an den Landesgrenzen einzusetzen. Aber auch an anderen Wechseln zwischen zwei RBC (RBC-Transitionen) können z.B. durch unterschiedliche Baselines, Systemversionen oder Hersteller von RBC zusätzliche Herausforderungen entstehen.

### 2 Zielsetzung des RBC-Changeover

Das RBC / RBC-Handover erfordert eine Verbindung des übergebenden RBC (Handing over RBC – RBC<sub>HOV</sub>) und des annehmenden RBC (Accepting RBC – RBC<sub>ACC</sub>). Diese Kopplung wird technisch durch das SUBSET-098 definiert [1, 3]. In der praktischen Planung und Umsetzung bleiben jedoch viele Fragen offen, wie erste Erfahrungen mit Verbindungen von RBC unterschiedlicher Lieferanten zeigen. Je nach Hersteller variieren die prinzipiellen Funktionen, Reaktionen auf bestimmte Ereignisse und das jeweils von der Gegenseite erwartete Laufzeitverhalten. Beispielsweise kann die Zeitspanne, bis eine erneute NRBC-Nachricht erwartet wird, oder die Einschätzung des Endes des RBC / RBC-Handover variieren. Dies kann zu einem einseitigen Verzicht von Acknowledgements eines RBC führen. Um dennoch eine reibungslose Kommunikation beider RBC und letztlich einen leistungsfähigen Bahnbetrieb sicherzustellen, ist ein großer Koordinierungsaufwand erforderlich. Insbesondere an Landesgrenzen kommen noch unterschiedliche Betriebsregeln, betreiberseitige Systemanforderungen, verwendete Systemversionen und Anforderungen an die IT-Security hinzu. Etwaige technische Lösungen für die dargestellten Anforderungen haben als proprietäre Entwicklun-

**T**he only RBC/RBC handover that is currently defined in SUBSET-039, amongst other things, is intended for the transitions between two Radio Block Centres (RBCs) under ETCS Level 2 [1]. However, this solution does not appear to be optimal for all applications. Additional challenges often arise that make implementation more difficult, particularly at national borders. The RBC changeover (without an RBC/RBC) coupling is therefore intended to offer an alternative option and to enable cheaper and faster implementation due to the facilitated design and reduced dependencies between two RBCs.

### 1 Introduction

According to a study by the European Commission, there are a total of 202 border lines (border line sections including border stations) in operation in Europe with a further 14 in planning or under construction [2]. Germany is involved in 60 of these border lines. This shows how important it is for Deutsche Bahn AG (DB) to use interoperable, practicable and cost-effective solutions at national borders. However, additional challenges can also arise at other RBC transitions, e.g. due to different baselines, system versions or RBC suppliers.

### 2 The objective of the RBC changeover

An RBC/RBC handover requires a connection between the handing-over RBC (RBC<sub>HOV</sub>) and the accepting RBC (RBC<sub>ACC</sub>). This coupling is technically defined by SUBSET-039 and SUBSET-098 [1, 3]. However, many questions remain unanswered when it comes to practical planning and implementation, as has been shown by the initial experience with connecting RBCs from different suppliers. The basic functions, reactions to certain events and runtime behaviour expected by the other party vary depending on the supplier. For example, the time before a new NRBC message is expected or the estimation of the end of the RBC/RBC handover can vary. This can lead to the unilateral rejection of acknowledgements from an RBC. Nevertheless, a great deal of coordination is required to ensure smooth communication between both RBCs and ultimately efficient railway operations. Different operating rules, operator specifications, system versions and IT security requirements are also used, particularly at national borders. All the technical solutions developed to meet the described requirements as proprietary implementations have a significant impact on the cost and schedule planning of ETCS projects on border lines.

gen große Auswirkungen auf Kosten- und Terminpläne der ETCS-Projekte auf den Grenzbetriebsstrecken.

Auf der Suche nach alternativen Lösungen wurden in Europa bereits verschiedene Lösungsansätze entwickelt, die auch an den Grenzen der DB-Infrastruktur zur Anwendung kommen sollen. Die Basis für die Entwicklung der hier vorgestellten Lösung RBC-Changeover (ohne RBC/RBC-Kopplung) ist das sogenannte Simplified Handover zwischen Břeclav (Tschechische Republik) und Bernhardsthal (Österreich), welches im Januar 2024 in Betrieb ging [4]. In diesem Fall wird der Regelbetrieb in ETCS Level 2 (L2) in der Betriebsart Full Supervision (FS) abgebildet und in der Rückfallebene das Klasse-B-System genutzt.

Beim RBC-Changeover (ohne RBC/RBC-Kopplung) wird im Vergleich zum herkömmlichen RBC/RBC-Handover auf die Verbindung zwischen beiden RBC verzichtet. Die an einer RBC-Transition beteiligten RBC kommunizieren somit nicht direkt miteinander. Jedes RBC kommuniziert separat über Funk mit dem ETCS-Fahrzeug. Der Vorteil dieser Lösung besteht im Verzicht auf die Verbindung zwischen beiden RBC, wodurch die Entwicklung und Zulassung einer neuen Schnittstelle entfällt. Trotz dieser Entkopplung kann die durchgängige Durchfahrbarkeit in ETCS L2 gewährleistet werden, da kein Wechsel in ein anderes ETCS-Level erforderlich ist.

### 3 Lösungsansatz für die vereinfachte RBC-Transition

Beim herkömmlichen RBC/RBC-Handover werden über die Verbindung zwischen beiden RBC Nachrichten (NRBC-Nachrichten) ausgetauscht. Dies ist z. B. für die Vergabe der Fahrerlaubnis (Movement Authority – MA) des RBC<sub>HOV</sub> über das RBC-Grenzsignal hinaus erforderlich. Die hierfür notwendigen Informationen werden dem RBC<sub>HOV</sub> über die NRBC-Nachricht „Route Related Information“ vom RBC<sub>ACC</sub> bereitgestellt.

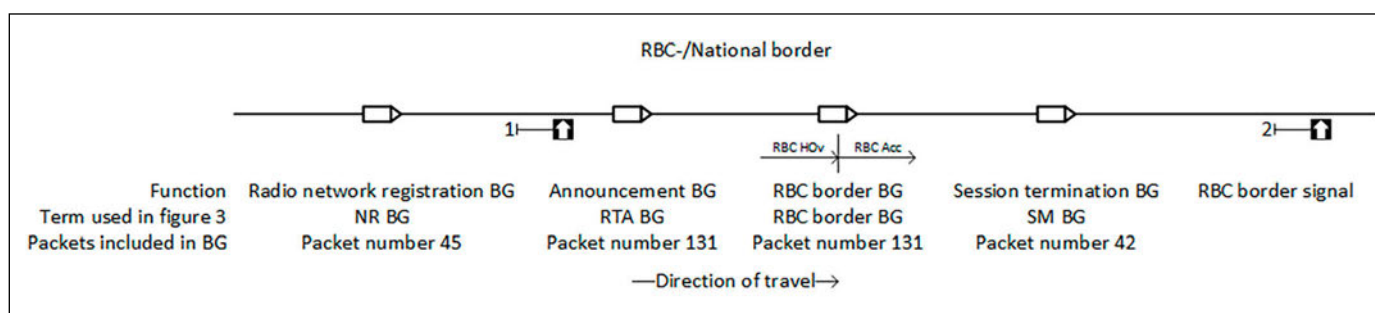
Aufgrund der oben beschriebenen Herausforderungen zeichnet sich das vereinfachte RBC-Changeover (ohne RBC/RBC-Kopplung) durch den Verzicht auf die Verbindung beider RBC aus. Dies ist möglich, ohne die Sicherheit der ETCS-Führung (European Train Control System, ETCS) zu verringern. Beim RBC-Changeover vergibt das RBC<sub>HOV</sub> eine MA bis zum RBC-Grenzsignal, welches das erste Signal der übernehmenden Infrastruktur ist. Netzeinwahl (falls erforderlich) und Verbindungsaufbau zum RBC<sub>ACC</sub> erfolgen wie beim RBC/RBC-Handover mithilfe der Pakete 45 (Radio Network Registration) und 131 (RBC Transition Order), welche via RBC und Balisengruppen (BG) übertragen werden können und im Regelfall mit dem inaktiven EDOR (ETCS Data Only Radio) ausgeführt werden. Dem Fahrzeug wird eine RBC-Transition hinter der RBC-Grenzbalisengruppe (RBC-Grenz-BG) angekündigt. Mit Befahren der RBC-Grenz-BG wird der Wechsel sofort ausgeführt. Im Abstand der maximal angenommenen Zuglänge hinter der RBC-Grenz-BG wird eine weitere

While searching for alternative solutions, various approaches have been developed in Europe that are also to be used at the borders within the DB infrastructure. The basis for the development of the RBC changeover (without an RBC/RBC coupling) is the so-called “Simplified Handover” between Břeclav (the Czech Republic) and Bernhardsthal (Austria), which went into operation in January 2024 [4]. In this case, regular operations are carried out in Full Supervision (FS) mode in ETCS Level 2 (L2) and the Class B system is used as the fallback level.

Compared to a conventional RBC/RBC handover, the connection between the two RBCs is omitted in an RBC changeover (without an RBC/RBC coupling). The involved RBCs in an RBC transition therefore do not communicate directly with one another. Each RBC communicates separately with the ETCS vehicle via a radio network. The advantage of this solution lies in the fact that there is no connection between the two RBCs, thereby eliminating the need to develop and authorise a new interface. Continuous drive-through capability in ETCS L2 can be guaranteed despite this decoupling, as no transition to another ETCS level is required.

### 3 The solution approach for the facilitated RBC transition

A conventional RBC/RBC handover exchanges messages via a connection between the two RBCs (NRBC messages). This is required, for example, in order to issue the Movement Authority (MA) from the RBC<sub>HOV</sub> beyond the RBC border signal. The necessary information is provided to the RBC<sub>HOV</sub> by the RBC<sub>ACC</sub> by means of the “Route Related Information” NRBC message. Due to the challenges described above, the RBC changeover (without an RBC/RBC coupling) is characterised by the fact that the RBCs are not connected. This is possible without reducing the safety of the ETCS (European Train Control System) control. During the RBC changeover, the RBC<sub>HOV</sub> assigns an MA up to the RBC border signal, which is the first signal in the accepting infrastructure. Network registration (if necessary) and connection establishment to the RBC<sub>ACC</sub> are carried out as for an RBC/RBC handover using Packets 45 (Radio Network Registration) and 131 (RBC Transition Order), which can be transmitted via the RBC and balise groups (BG). During regular operations, the communication is executed by the idle EDOR (ETCS Data Only Radio). The vehicle is notified of an RBC transition beyond the border balise group (RBC border BG). The transition is executed immediately once the vehicle has passed the RBC border BG. Another BG with Packet 42 is placed at the distance of the maximum assumed train length in advance of the RBC border BG. This commands the vehicle to disconnect from the RBC<sub>HOV</sub>. If the GSM-R network has also changed, the vehicle ini-



**Bild 1: Erforderliche Streckenausrüstung für den RBC-Changeover (ohne RBC/RBC-Kopplung)**

Fig. 1: The track equipment required for the RBC changeover (without an RBC/RBC coupling)

BG mit Paket 42 verlegt. Diese kommandiert dem Fahrzeug den Verbindungsabbau zum RBC<sub>HOV</sub>. Falls das GSM-R-Netz gewechselt wurde, initiiert das Fahrzeug die Netzeinwahl des zweiten EDOR nach dem Verbindungsabbau zum RBC<sub>HOV</sub>. Nach erfolgtem Wechsel der RBC verlängert das RBC<sub>ACC</sub> die MA über das RBC-Grenzsignal hinaus. Die MA wird auf dem Fahrzeug sofort gültig. In den Bildern 1 bis 3 kann dieser Ablauf visuell nachvollzogen werden. [5]

Um eine reibungslose RBC-Transition zu gewährleisten, muss ein entsprechend großer Streckenabschnitt mit ausreichender Funknetz- und RBC-Bereichsüberlappung vorhanden sein. Der Abstand zwischen der RBC-Grenz-BG und dem RBC-Grenzsignal wird so dimensioniert, dass dem RBC<sub>ACC</sub> die Zeit zur Übertragung einer MA eingeräumt wird, ohne dass das Fahrzeug die Bremsvorankündigung auf das RBC-Grenzsignal (Ziel der MA des RBC<sub>HOV</sub>) erreicht. Das vereinfachte RBC-Changeover (ohne RBC/RBC-Kopplung) ist wie das RBC/RBC-Handover auch mit nur einem fahrzeugseitig funktionsfähigen EDOR möglich. Die Funknetzregistrierung und Anmeldung beim RBC<sub>ACC</sub> erfolgt dann erst nach abgeschlossener Abmeldung vom RBC<sub>HOV</sub>. Ob auch diese Situation der Rückfallebene ohne Bremseninsatz erfolgen kann, hängt von dem umgesetzten Abstand zwischen RBC-Grenz-BG und -Grenzsignal ab.

Beim herkömmlichen RBC/RBC-Handover teilt das RBC<sub>HOV</sub> mittels der Nachricht „Pre-Announcement“ dem RBC<sub>ACC</sub> die Betriebsart eines anrückenden Fahrzeugs mit. Da beim RBC-Changeover (ohne RBC/RBC-Kopplung) aufgrund der fehlenden Verbindung beider RBC keine Nachrichten ausgetauscht werden, hat das RBC<sub>ACC</sub> diese Information über anrückende Fahrzeuge nicht. Die Kenntnis der Betriebsart ist jedoch für die betrieblich-technische Rückfallebene zwingend erforderlich, um beispielsweise die Überwachung des „Mode Profiles“ (Ergänzung der MA, welche die anzuwendende Betriebsart für den zu durchzufahrenden Bereich festlegt) nicht zu unterbrechen.

Besonders relevant ist die Auswertung der ETCS-Betriebsart für die Durchführung von Fahrten in der Betriebsart On Sight (OS), für die jedes Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) spezifische Verfahren festlegen kann. Führt ein ETCS-Fahrzeug das RBC-Changeover in der ETCS-Betriebsart OS durch, so darf durch das RBC<sub>ACC</sub> keine unmittelbare Aufwertung z. B. in die ETCS-Betriebsart FS erfolgen. Das Fahrzeug muss mindestens bis zum RBC-Grenzsignal in OS verbleiben. Die Aufwertung nach FS muss an einem Ort erfolgen, der in den nationalen Regeln (projektspezifisch) festgelegt ist. Aktuell verfügen allerdings nicht alle auf dem Markt verfügbaren RBC über die Fähigkeit, die Betriebsart von ETCS-Fahrzeugen ohne „Pre-Announcement“, z. B. aus Position Reports, zu ermitteln. Ist eine Befah-

tiates network registration with the second EDOR after disconnecting from RBC<sub>HOV</sub>. Once the RBC transition has taken place, the RBC<sub>ACC</sub> issues an MA from the RBC border signal, which immediately becomes valid in the vehicle. This process can be visualised in figs. 1 to 3. [5]

A correspondingly large section of track with sufficient radio network and RBC area overlap is needed in order to ensure a smooth RBC transition. The distance between the RBC border BG and the RBC border signal is dimensioned in such a way that the RBC<sub>ACC</sub> is given time to transmit a MA without the vehicle reaching the indication distance of the RBC border signal (the End of Authority for the MA from the RBC<sub>HOV</sub>).

Like the conventional RBC/RBC handover, the facilitated RBC changeover (without an RBC/RBC coupling) is also possible with only one functional EDOR on the vehicle. The radio network registration and connection to the RBC<sub>ACC</sub> then takes place once the RBC<sub>HOV</sub> has completed the disconnection. Whether this fallback level situation can also take place without hitting a braking curve depends on the implemented distance between the RBC border BG and the border signal.

During the RBC/RBC handover, the RBC<sub>HOV</sub> uses a “Pre-Announcement” message to inform the RBC<sub>ACC</sub> of the approaching vehicle’s mode. As no messages are exchanged during the RBC changeover (without an RBC/RBC coupling) due to the lack of connection between the two RBCs, the RBC<sub>ACC</sub> does not have this information about the approaching vehicles. However, knowledge of the mode is absolutely essential for the operational/technical fallback level, i.e. in order not to interrupt the monitoring of the “Mode Profile” (a supplement to the MA that defines the mode to be used for the intended area of travel).

The evaluation of the ETCS mode is particularly relevant for the execution of any movements in the On Sight (OS) mode, for which each railway infrastructure manager (IM) can define their own specific procedures. If an ETCS vehicle performs the RBC changeover in the ETCS OS mode, the RBC<sub>ACC</sub> may not immediately send the vehicle a MA in ETCS FS mode. The vehicle must remain in OS at least until such time as it reaches the RBC border signal. The upgrade to FS must take place at a location specified in the national rules (project-specific). However, not all RBCs currently available on the market are able to determine the ETCS vehicle’s mode without a pre-announcement, e.g. from position reports. Other organisational procedures must be defined as the operational fallback level if operations in the ETCS OS mode are not operationally desired or permitted. The areas

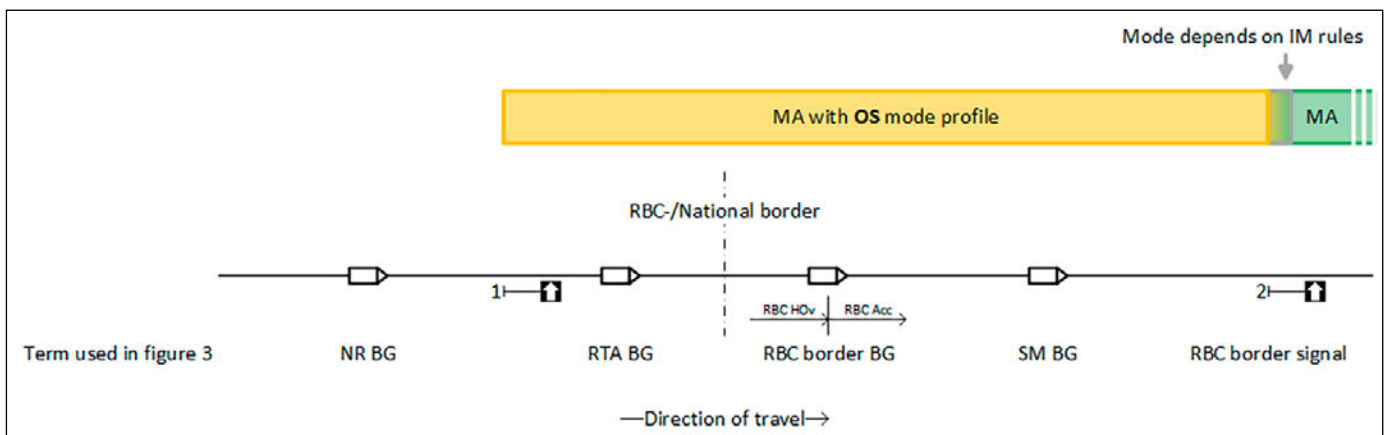
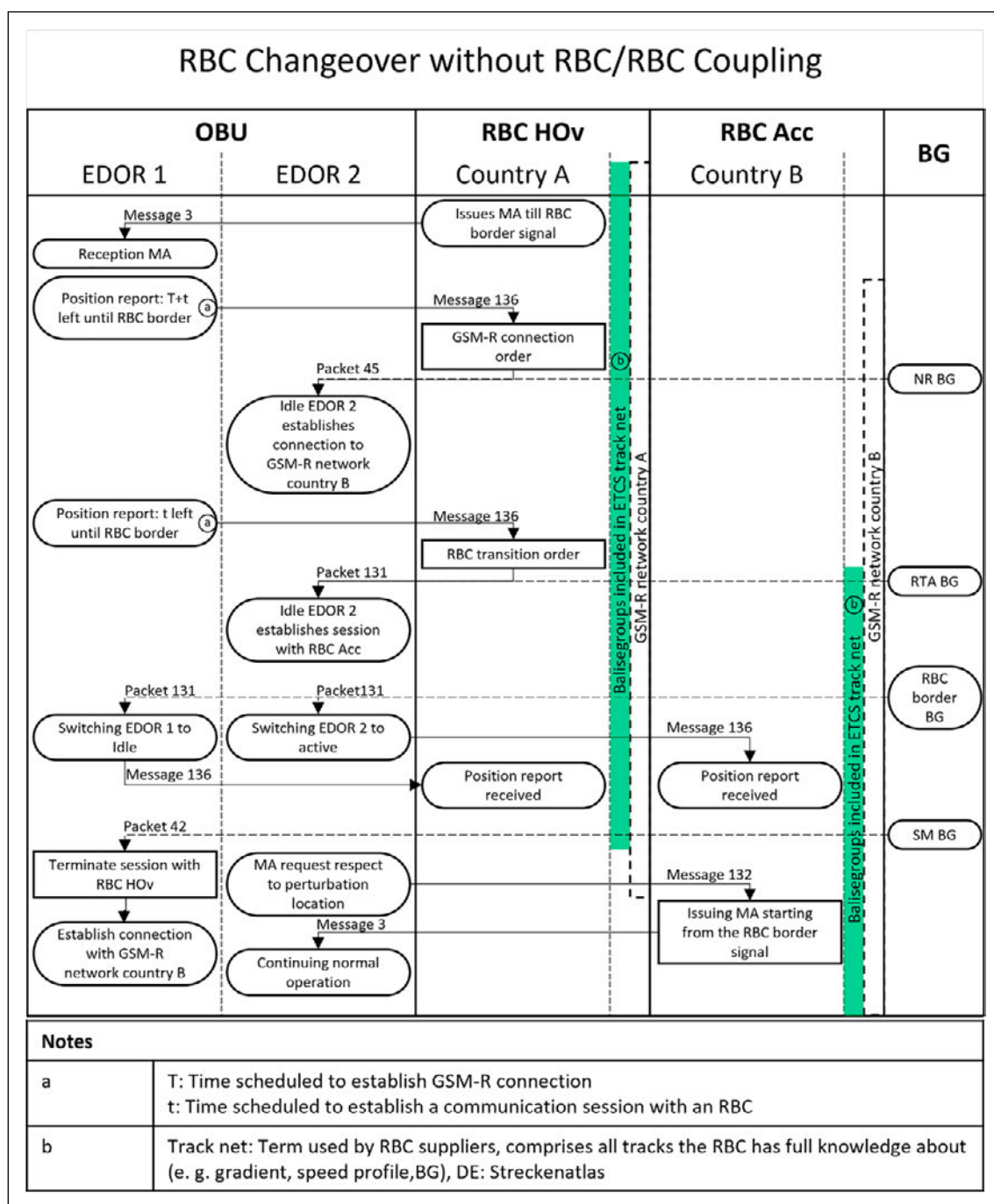


Bild 2: Darstellung der Gültigkeitsbereiche von MA bei einer Fahrt über die RBC-Grenze in der ETCS-Betriebsart OS

Fig. 2: A representation of an MA's area of validity when crossing the RBC border in ETCS OS mode

rung in der ETCS-Betriebsart OS betrieblich nicht gewünscht oder zulässig, müssen andere, organisatorische Verfahren als betriebliche Rückfallebene definiert werden. Die Gültigkeitsbereiche von MA mit eventuellen Mode Profiles sind in Bild 2 exemplarisch dargestellt. In Bild 3 ist der Ablauf eines RBC-Changeover (ohne RBC/RBC-Kopplung) dargestellt. Die Bild stellt eine RBC-Transition an einer Landesgrenze dar, das GSM-R-Netz muss daher ebenfalls gewechselt werden. Als Voraussetzung befindet sich das ETCS-Fahrzeug in der Annäherung an die Landesgrenze in einer aktiven Sitzung mit dem RBC<sub>HOV</sub> mit EDOR 1. Die Wahl, ob die Informationen über die RBC, BG oder beide übermittelt werden, liegt beim ELU. Eine völlige Unabhängigkeit beider RBC-Bereiche lässt sich nicht erreichen. Um Fahrzeuge kontinuierlich durch einen Streckenbereich zu führen, müssen sich die Streckenatlanten der beiden RBC überlagern. Es gibt somit einen größeren überlappenden Bereich, des

of MA validity with the possible mode profiles are shown as an example in fig. 2. Fig. 3 visualises the process of an RBC changeover (without an RBC/RBC coupling). The figure shows an RBC transition at a national border, where the GSM-R network must also be changed. The premise is that the ETCS vehicle is in an active session with the RBC<sub>HOV</sub> using EDOR 1 as it approaches the national border. It is up to the IM to decide whether the information is transmitted via the RBC, the BG or both. It is not possible to achieve the complete independence of both RBC areas. The track description of the two RBCs must overlap in order to enable the vehicles to be continuously supervised by an RBC. This must be taken into account, for example, in the case of any temporary speed restrictions, which must be set up separately in both RBCs. In addition, any dynamic informa-



**Bild 3: Ablauf des RBC-Changeover ohne RBC/RBC-Kopplung**  
 Fig. 3: The procedure for the RBC changeover without an RBC/RBC coupling mode

sen statische und dynamische Informationen beiden RBC bekannt sein müssen. Dies ist z. B. in Hinblick auf temporäre Langsamfahrstellen zu beachten, die entsprechend in beiden RBC separat eingerichtet werden müssen. Außerdem sind dynamische Informationen (z. B. Signale, Weichen, Bahnübergänge) möglichst zu vermeiden, da diese an beide RBC übermittelt werden müssten, was wiederum neue Schnittstellen zur benachbarten Infrastruktur erfordern würde. Unter Berücksichtigung dieser Einschränkung werden keine zusätzlichen Anforderungen an die Verbindung zwischen den beteiligten Stellwerken gestellt. Das RBC-Changeover (ohne RBC / RBC-Kopplung) eignet sich somit vorrangig für einfache Infrastrukturen, z. B. Nebenbahnen.

Der bereits genannte, erforderliche Abstand zwischen RBC-Grenz-BG und RBC-Grenzsignal ist von der zulässigen Streckengeschwindigkeit und von der Länge der ETCS-Bremskurven abhängig. Die erforderlichen Mindestabstände sind in Tab. 1 exemplarisch für einige Geschwindigkeiten berechnet und sprechen für die Anordnung des RBC-Changeover auf der freien Strecke.

Nach Befahren der RBC-Grenz-BG akzeptiert das Fahrzeug keine Nachrichten mehr vom RBC<sub>HOV</sub>. Aus diesem Grund kann das

Streckengeschwindigkeit	Mindestabstand RBC-Grenz-BG – RBC-Grenzsignal
60 km/h	907 m
80 km/h	1356 m
100 km/h	1865 m
120 km/h	2462 m

**Tab. 1: Exemplarische Berechnung der erforderlichen Mindestabstände; Referenzzug: Güterzug Länge 500 m, Bremsstellung P, 66 Brh; National Values der DB InfraGO; Pre-indication-Bremskurve; Systemlaufzeit: 10 Sekunden für MA-Erstellung**

RBC<sub>HOV</sub> keine Fahrzeuge hinter der RBC-Grenz-BG anhalten, obwohl die erstellte MA bis zum RBC-Grenzsignal reicht. Eventuelle Nothaltaufträge können vom Fahrzeug in diesem Bereich nur vom RBC<sub>ACC</sub> empfangen werden. Ob diese Funktion benötigt wird und die Einschränkungen akzeptabel sind, muss projektspezifisch bewertet werden.

#### 4 Validierung in ETCS-Simulationsumgebung

Das ETCS-Labor des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (DZSF) wurde von der Firma Clearsy erworben und ermöglicht die Simulation des gesamten ETCS-Systems in einer Softwareumgebung. Hierbei werden alle wichtigen Komponenten wie Stellwerk, zwei RBC, die On-Board-Units (OBU) sowie die Driver Machine Interfaces (DMI) der Fahrzeuge als Softwaremodule simuliert. Diese Simulation ermöglicht es, ETCS-Strecken mit realen Parametern zu modellieren und die Befahrung mit virtuellen Fahrzeugen in verschiedenen Betriebsszenarien zu testen. Der Aufbau der ETCS-Simulationsumgebung ist in Bild 4 dargestellt. [6]

Begleitend zur konzeptionellen Entwicklung des vereinfachten RBC-Changeover (ohne RBC / RBC-Kopplung) wurde eine beispielhafte Grenzbetriebsstrecke im Netz der DB InfraGO modelliert. Zunächst wurde die zu simulierende Gleisanlage mit Weichen angelegt und das Streckenprofil einschließlich Geschwindigkeits- und Gradientenprofil mit realen Parametern abgebildet. Im nächsten Schritt erfolgte die Anordnung von Signalen, Balisen und Gleisfreimeldeanlagen sowie die Programmierung der Balisentelegramme. Anschlie-

tion (e.g. signals, points) should be avoided as far as possible, as this would have to be transmitted to both RBCs, which in turn would require new interfaces. Taking this restriction into account, no additional requirements are placed on the connection between the interlockings involved. The RBC changeover (without an RBC/RBC coupling) is therefore primarily suitable for simple infrastructures, e.g. secondary lines.

The aforementioned required distance between the RBC border BG and the RBC border signal depends on the permitted line speed and the length of the ETCS brake deceleration curves. The required minimum distances have been calculated for some speeds in tab. 1 as an example and speak in favour of the arrangement of the RBC changeover on the open track.

Permitted line speed	Minimum RBC border BG – RBC border signal distance
60 km/h	907 m
80 km/h	1,356 m
100 km/h	1,865 m
120 km/h	2,462 m

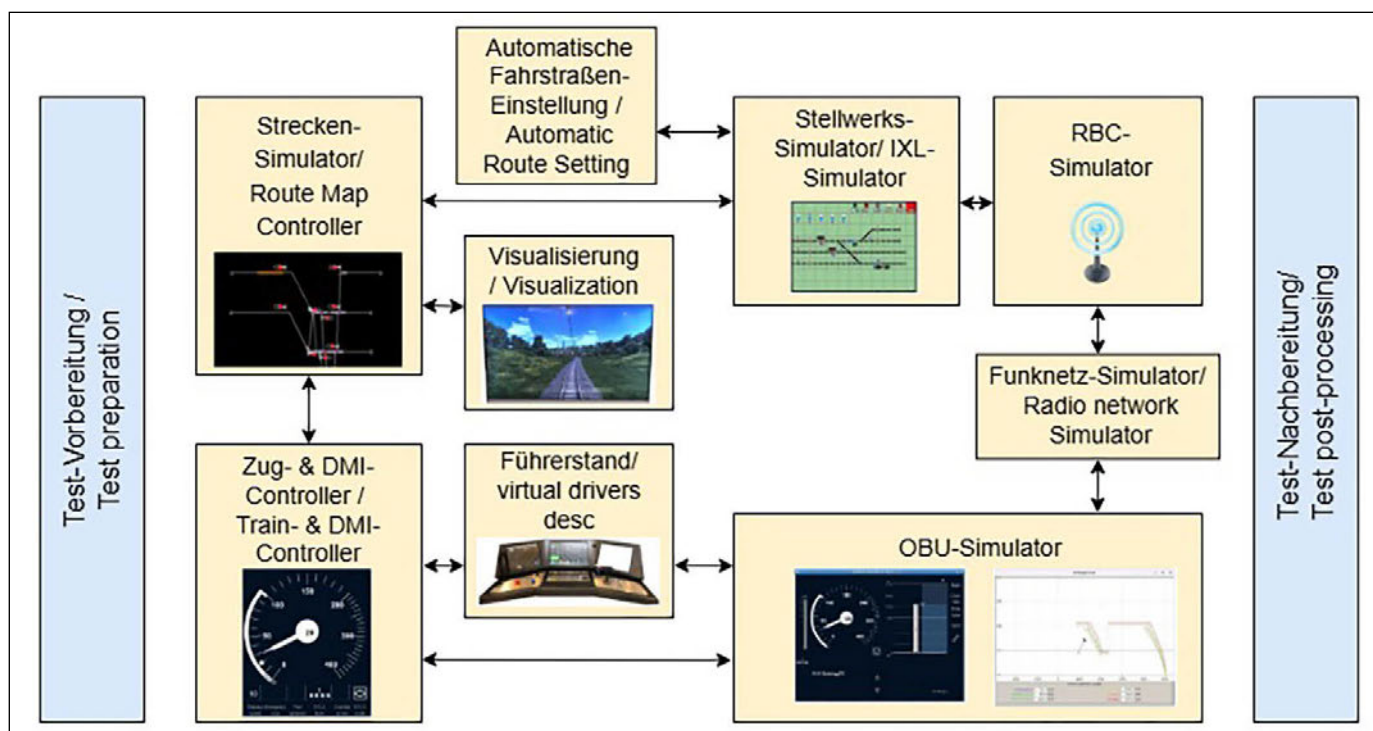
Tab. 1: An example of the calculation of the required minimum distances; reference train: a 500 m long freight train, brake position P, brake percentage 66; National Values from DB InfraGO; Pre-indication braking curve; System runtime: 10 seconds for MA creation

The vehicle no longer accepts messages from the RBC<sub>HOV</sub> after passing the RBC border signal. Thus, the RBC<sub>HOV</sub> cannot stop any vehicle beyond the RBC border BG, even though the created MA extends to the RBC border signal. The vehicle can only receive emergency stop orders in this area from the RBC<sub>ACC</sub>. An assessment must be made as to whether this function is required and the restrictions are acceptable on a project-specific basis.

#### 4 Validation in an ETCS simulation environment

The ETCS laboratory at the German Centre for Rail Traffic Research was acquired from the Clearsy company and enables the simulation of the entire ETCS system in a single software environment. All important components such as the interlocking, two RBCs, the on-board units (OBU) and the driver machine interfaces (DMI) on the vehicles are simulated as software modules. This simulation makes it possible to model ETCS routes with real parameters and to test the operation of virtual vehicles in various operating scenarios. The structure of the ETCS simulation environment is shown in fig. 4 [6].

An exemplary border line in the DB InfraGO network was also modelled to accompany the conceptual development of the facilitated RBC changeover (without an RBC/RBC coupling). Firstly, the track system to be simulated was created with points and the route profile was modelled with real parameters, including the speed and gradient profile. In the next step, the signals, balise groups and trackside train detection systems were arranged and the balise telegrams were programmed. The basic programming of the two RBCs (RBC<sub>HOV</sub> and RBC<sub>ACC</sub>) was then carried out. The ETCS vehicles crossing the border were then created and parameterised.



**Bild 4: Aufbau der ETCS-Simulationsumgebung vom DZSF (Hersteller „Clearys“)**

Fig. 4: The ETCS simulation environment setup from the DZSF (Supplier: Clearys)

Bevor die grundlegende Programmierung der beiden RBC ( $RBC_{HOV}$  und  $RBC_{ACC}$ ) vorgenommen wurde, wurden die ETCS-Fahrzeuge für die Befahrung der Grenzbetriebsstrecke angelegt und parametrisiert.

Im nächsten Schritt wurde eine Analyse der betrieblichen Szenarien durchgeführt und geeignete Testfälle festgelegt. Die Analyse basierte auf der Methodik und den Testfällen aus dem Dokument ERTMS USERS GROUP – ENGINEERING GUIDELINE 76. Border Crossings, Anhang 6.6 [7]. Im Ergebnis wurden für die beispielhafte Grenzbetriebsstrecke insgesamt sechs Testfälle definiert:

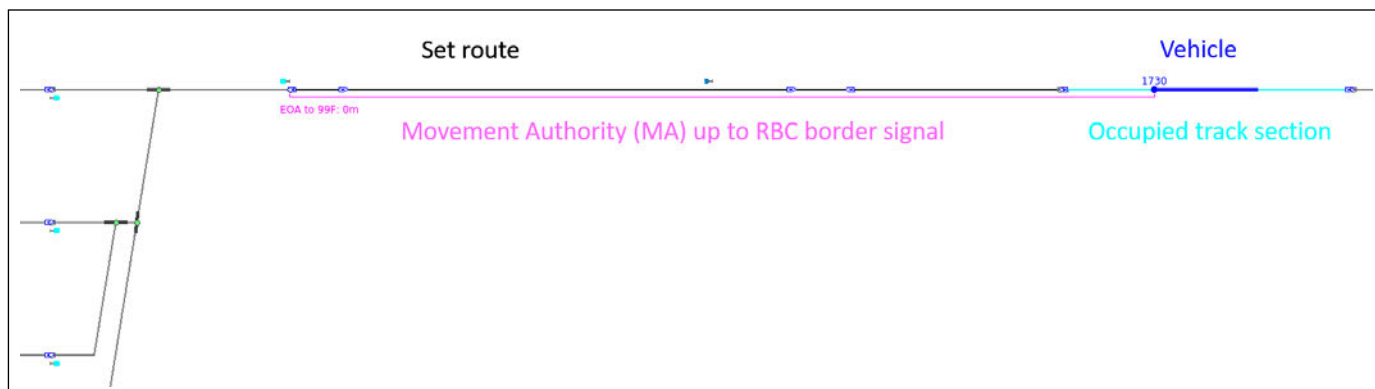
1. Ungehinderte Befahrung im Regelbetrieb (ETCS-Betriebsart FS) mit Streckenhöchstgeschwindigkeit
2. Unterbrochene Befahrung im Regelbetrieb durch Halt vor RBC-Grenzsignal
3. Abweisung eines sich annähernden Fahrzeugs mit inkompatibler Systemversion
4. Reibungslose Befahrung im Regelbetrieb mit nur einem funktionierenden EDOR
5. Befahrung bei fehlerhafter bzw. fehlender RBC-Grenz-BG
6. Befahrung in der Betriebsart On Sight (OS).

Für jeden dieser Testfälle wurden entsprechende Testszenarien entwickelt, um die Funktionalität des vereinfachten RBC-Changeover nachzuweisen. Diese wurden in der Simulationssoftware als Szenarien angelegt, Simulationen durchgeführt und die Ergebnisse ausgewertet. Ein zentraler Aspekt der Untersuchung war die Gewährleistung einer reibungslosen Grenztransition („smooth operation“). Dies umfasste insbesondere die Vermeidung von ETCS-Bremskurvensprüngen beim Wechsel der Nationalen Werte (Paket 3) sowie die Überprüfung, dass der Abstand zwischen RBC-Grenz-BG und RBC-Grenzsignal ausreichend dimensioniert ist, um ein Durchfahren der Grenze ohne unerwünschten Bremseneinsatz zu ermöglichen. Bild 5 zeigt einen Screenshot der Simulation des RBC-Changeover (ohne RBC/RBC-Kopplung) im Regelbetrieb (Testfall 1). In diesem Bild ist dargestellt, dass das  $RBC_{HOV}$  eine MA bis zum RBC-Grenzsig-

The next step was to analyse the operating scenarios and define the suitable test cases. The analysis was based on the methodology and test cases from the ERTMS USERS GROUP – ENGINEERING GUIDELINE 76 Border Crossings document, Appendix 6.6 [7]. As a result, a total of six test cases were defined for the exemplary border route:

1. smooth running in regular operations (ETCS FS) at a maximum line speed,
2. interruptions to regular operations involving stops in front of the RBC border signal,
3. the rejection of an approaching vehicle with an incompatible system version,
4. smooth running in regular operations with only one functioning EDOR,
5. operations with a faulty or missing border BG,
6. operations in On Sight (OS) mode.

Corresponding test scenarios were developed for each of these test cases in order to demonstrate the functionality of the simplified RBC changeover. These were created as scenarios in the simulation software, whereupon the simulations were carried out and the results were analysed. A central aspect of the investigation involved ensuring a smooth border transition (“smooth operations”). In particular, this included avoiding ETCS braking curve jumps when changing national values (Packet 3) and checking that the distance between the RBC border crossing and the RBC border signal was sufficiently large to allow the border to be crossed without any undesired braking. Fig. 5 shows a screenshot of the simulation of the RBC changeover (without an RBC/RBC coupling) under regular operations (Test Case 1). The illustration shows that the  $RBC_{HOV}$  has transmitted a MA to the vehicle up to the RBC border signal (yellow, direction of travel from right to left). This can be recognised by the granted MA (the thin green line in front of the vehicle). At the time of display, the vehicle is already connected to the radio network



**Bild 5: Simulation des RBC-Changeover (ohne RBC/RBC-Kopplung) in der ETCS-Betriebsart FS**

Fig. 5: A simulation of a RBC changeover (without an RBC/RBC coupling) in ETCS FS mode

nal an das Fahrzeug (gelb, Fahrtrichtung von rechts nach links) übermittelt hat. Dies ist an der erteilten MA (dünne grüne Linie vor dem Fahrzeug) erkennbar. Zum Zeitpunkt der Darstellung ist das Fahrzeug bereits mit dem Radio Network und dem  $RBC_{ACC}$  verbunden. Vor dem Fahrzeug befindet sich die RBC-Grenz-BG, die den Zuständigkeitswechsel zwischen den RBC an das Fahrzeug kommandieren wird.

Durch die Befahrung der RBC-Grenz-BG übernimmt das  $RBC_{ACC}$  die Kommunikation mit dem ETCS-Fahrzeug sowie dessen Überwachung. Der Abbau der Funkverbindung zum  $RBC_{HOV}$  erfolgt über die folgende Balisengruppe mit dem Paket 42, die hinter der RBC-Grenz-BG liegt. Nach dem erfolgreichen Zuständigkeitswechsel und mithilfe der aktiven Funkverbindung kann die bestehende MA durch das  $RBC_{ACC}$  verlängert werden.

## 5 Ausblick

Das vorgestellte RBC-Changeover (ohne RBC/RBC-Kopplung) stellt eine praktikable Alternative zum RBC/RBC-Handover als Standardvariante dar, wenn Letzteres aufgrund projektspezifischer Randbedingungen nur unter größerem Aufwand umgesetzt werden könnte.

Mit der Simulation der ersten sechs Testfälle konnte die grundsätzliche Funktionsweise des RBC-Changeover erfolgreich nachgewiesen werden. In den nächsten Schritten ist darauf basierend eine umfassende Erweiterung der bisherigen Simulation geplant, um die realen Streckenbedingungen noch realistischer abbilden zu können. Dies umfasst die Implementierung einer vollständigen Funknetzsimulation, die eine präzise Nachbildung von GSM-R bzw. FRMCS-Netzen ermöglicht. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Simulation von Signallaufzeiten, insbesondere für zeitkritische Kontaktparameter zwischen Fahrzeug und RBC, um realitätsnahe Kommunikationsverzögerungen und -ausfälle berücksichtigen zu können.

Das Ziel dieses gemeinsamen Forschungsprojektes ist es, das RBC-Changeover (ohne RBC/RBC-Kopplung) durch die ERA zu legitimieren und als technische Alternativlösung zum herkömmlichen RBC/RBC-Handover in den ETCS-SUBSET zu spezifizieren.

Es ist von großer Bedeutung, das RBC-Changeover (ohne RBC/RBC-Kopplung) als gesamteuropäisches Lösungskonzept zu entwickeln, um die Entstehung von proprietären Schnittstellenlösungen zu vermeiden. Die Ergänzung des RBC-Changeover als Lösung für Grenzbetriebsstrecken könnte, aufgrund seiner geringeren Komplexität und Kosten, einen wertvollen Beitrag zur Erreichung der Interoperabilität auf diesen Strecken leisten. ■

and the  $RBC_{ACC}$ . The RBC border BG is in front of the vehicle is and it will command the change of supervision between the RBCs to the vehicle.

When the ETCS vehicle passes the RBC border BG, the  $RBC_{ACC}$  will take over control of the communication with the ETCS vehicle and its supervision. The radio connection to the  $RBC_{HOV}$  is terminated by the following balise group using Packet 42, which is located beyond the RBC border BG. The  $RBC_{ACC}$  can extend an existing MA after the successful change of supervision and with the help of the active radio connection.

## 5 Prospects

The presented RBC changeover (without an RBC/RBC coupling) represents a practical alternative to the RBC/RBC handover as a standard variant, if this can only be implemented with great effort due to project-specific boundary conditions.

The successful simulation of the first six test cases has demonstrated the basic functionality of the RBC changeover. A comprehensive extension of the previous simulation is planned in the following steps in order to enable the reproduction of real route conditions even more realistically. This includes the implementation of a complete radio network simulation, which enables the precise simulation of GSM-R and FRMCS networks. Another important aspect involves the simulation of signal propagation times, in particular for any time-critical contact parameters between the vehicle and the RBC, so as to enable the implementation of realistic communication delays and the consideration of failures.

The aim of this research project is to have the RBC changeover (without an RBC/RBC coupling) legitimised by the ERA and to specify it as a technical alternative solution to the conventional RBC/RBC handover found in the ETCS-SUBSET.

It is of great importance to develop the RBC changeover as a pan-European solution in order to avoid the development of any proprietary interface solutions. The addition of the RBC changeover as a solution for border lines could make a valuable contribution to achieving interoperability on these lines due to its lower complexity and costs. ■

## AUTOREN | AUTHORS

**Dipl.-Ing. (FH) Richard Kretzschmar**

PhD student and research assistant  
TU Dresden, Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF)  
Anschrift / Address: August-Bebel-Straße 10, D-01219 Dresden  
E-Mail: kretzschmar@dzsf.bund.de

**Susanne Hillmann, M.Sc.**

Research associate  
Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF)  
Anschrift / Address: August-Bebel-Straße 10, D-01067 Dresden  
E-Mail: Hillmanns@dzsf.bund.de

**Dr. Lars Brune, M.Sc.**

ETCS expert  
DB InfraGO AG  
Anschrift / Address: Auenweg 7, D-50679 Köln  
E-Mail: lars.brune@deutschebahn.com

**Manuel Winkler, M.Sc.**

Specialist Systems and Safety Engineering CCS  
Signon Deutschland GmbH  
Anschrift / Address: Berliner Straße 7, D-01067 Dresden  
E-Mail: Manuel.Winkler@signon-group.com

**Dipl.-Ing. Tobias Mücke**

Specialist Systems and Safety Engineering CCS  
Signon Deutschland GmbH  
Anschrift / Address: Berliner Straße 7, D-01067 Dresden  
E-Mail: tobias.muecke@signon-group.com

**Dipl.-Ing. Patrick Deutsch**

ERTMS Unit Director, Fellow IRSE  
Clearsy SAS  
Anschrift / Address: 1, Rue des cigognes, F-67000 Straßburg  
E-Mail: patrick.deutsch@clearsy.com

**Dipl.-Ing. Sébastien Zinsius**

Project Leader ETCS Systems  
Clearsy SAS  
Anschrift / Address: 1, Rue des cigognes, F-67000 Straßburg  
E-Mail: sebastien.zinsius@clearsy.com

## LITERATUR | LITERATURE

- [1] UNISIG: 039: FIS for the RBC / RBC Handover (2023), SUBSET-039
- [2] European Commission: Comprehensive analysis of the existing cross-border rail transport connections and missing links on the internal EU borders: Final report. Unter Mitarbeit von Sippel, L.; Nolte, J.; Maarfield, S.; Wolff, D. und Roux, L., Luxembourg: Publications Office, 2018
- [3] UNISIG: 098: RBC-RBC Safe Communication Interface: ERTMS/ETCS (2012), SUBSET-098
- [4] Vojtěch, P.: Simplified Handover (SHOV): ERTMS on the Border Section Břeclav (Správa železnic) – Bernhardsthal (ÖBB). In: International Bar-Camp – ETCS at international borders (2023)
- [5] ERA; UNISIG; EEIG ERTMS Users Group: 026-3: System Requirements Specification: Chapter 3 – Principles (2023), SUBSET-026-3
- [6] Kretzschmar, R.; Hillmann, S.; Scholtka, Ch.: Simulation von ETCS-Transitionen im ETCS-Labor des DZSF, SIGNAL+DRAHT 10/2024 S. 14–18
- [7] ERTMS Users Group: 076: Border Crossings: Engineering Guideline (2020)

Ihre Innovationen für die **digitale Schiene** sind **jetzt** gefragt!  
Präsentieren Sie Ihr Unternehmen zielgerichtet in SIGNAL+DRAHT.  
Das international führende Fachmedium für die Leit-, Sicherungs-  
und Informationstechnologie.



DSTW  
DIGITALISIERUNG  
MOBILITÄT

ZUKUNFTSTECHNOLOGIE  
AUTOMATISIERUNG

ILBS  
ETCS  
KÜNSTLICHE INTELLIGENZ