



Diplomarbeit

Analyse der Grenztransition in einer ETCS- Simulationsumgebung anhand der geplanten Volltunnelvariante der Neubaustrecke Dresden - Prag

Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieur (FH)

Eingereicht an der Hochschule Zittau/Görlitz
Fakultät Elektrotechnik und Informatik

Eingereicht bei:
Prof. Dr.-Ing. Dietmar Scharf

Betreut durch:
Dipl.-Ing. Christian Scholtka (DB Netz AG)

Eingereicht von:
Richard Kretzschmar
Matrikelnummer 217113

Eingereicht am:
31.07.2023

Aufgabenstellung für die Diplomarbeit

Analyse der Grenztransition in einer ETCS-Simulationsumgebung anhand der geplanten Volltunnelvariante der Neubaustrecke Dresden - Prag

im Studiengang: Elektrotechnik

Studierender: Richard Kretzschmar

Beschreibung:

Das ETCS-Testlabor des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (DZSF) ermöglicht es, die Trassierung der geplanten Volltunnelvariante der Neubaustrecke Dresden – Prag in einem Modell abzubilden. Anhand dieses Modells sind Simulationen durchzuführen und die Streckeneigenschaften zu analysieren. Auf diese Weise soll der Einfluss von unterschiedlichen Parametern auf ETCS-Grenzübergangsfahrten zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Tschechischen Republik untersucht werden. Die gewonnenen Erkenntnisse sind entsprechend zu dokumentieren.

Schwerpunkte:

- Literaturrecherche zum European Train Control System (ETCS) mit Transitionen an Grenzübergängen
- Analyse der voraussichtlichen ETCS Spezifikation bei der Správa železnic (tschechisches staatliches Eisenbahninfrastrukturunternehmen) und der DB Netz AG
- Modellierung der Trassierung der Neubaustrecke Dresden-Prag gemäß der Volltunnelvariante mit ETCS - Blockteilung im ETCS – Labor des DZSF
- Simulation von ETCS-Grenzübergangsfahrten anhand der Neubaustrecke Dresden - Prag
- Untersuchung des ETCS-Grenzübergangs unter Berücksichtigung der Streckenneigung und verschiedener Zugarten (Güterzug/ Personenzug)
- Ableitung allgemeingültiger Empfehlungen für den ETCS Grenzübergang und speziell für das Projekt NBS Dresden – Prag

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Dietmar Scharf

Betreuer: Dipl.-Ing. Christian Scholtka

Ausgabetermin: 01.04.2023

Abgabetermin: 01.08.2023

Registrier-Nr.: DA/K-EAAd18-08/23


Gutachter


Dekan

Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit hat die Untersuchung von ETCS-Grenztransitionen am Beispiel der geplanten Neubaustrecke (NBS) Dresden-Prag zum Ziel. Speziell soll die konzeptionelle Darstellung und die Umsetzung einer Variante eines ETCS Level 2 – Level 2 Übergangs in einer ETCS-Simulationsumgebung analysiert werden.

Um die angestrebte Zielstellung zu erreichen, wird anhand der durchgeführten Literaturrecherche ein allgemeines Konzept mit den zu betrachtenden Eckpunkten für ETCS-Grenztransitionen entwickelt. Aus dem allgemeinen Konzept lässt sich ableiten, welche Einflussgrößen und Parameter projektspezifisch und relevant für die ETCS-Grenztransition der geplanten Volltunnelvariante der NBS Dresden-Prag sind.

Die Arbeit mit der ETCS-Simulationssoftware vom Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) ermöglicht einen tiefgreifenden Einblick in die Funktionsweise von ETCS. Die Modellierung der geplanten Volltunnelvariante und die Projektierung der möglichen ETCS-Streckenausrüstung der NBS Dresden-Prag anhand der Vorplanungsdaten bilden die Simulationsgrundlage. In den Simulationen können der implementierte Funktionsumfang der Software überprüft und die erhaltenen Simulationsergebnisse validiert werden.

Es zeigt sich, dass die Umsetzung der entworfenen ETCS-Grenztransition in der ETCS-Simulationssoftware möglich ist und die gewonnenen Erkenntnisse Rückschlüsse für die Planung der ETCS-Ausrüstung der NBS Dresden-Prag zulassen.

Abstract

The objective of this diploma thesis is the investigation of ETCS border transitions. It is using the example of the planned, new railway line between Dresden and Prague (NBS Dresden-Prague). In particular, the conceptual representation and implementation of a variant of an ETCS Level 2 - Level 2 transition in an ETCS simulation environment will be analysed.

In order to achieve the objective, a general concept using key points to be considered for ETCS border transitions will be developed on the basis of literature research. From the general concept, it can be deduced which variables and parameters are project-specific and relevant for the ETCS border transition of the planned full tunnel variant of the NBS Dresden-Prague.

Working with the ETCS simulation software from the German Centre for Rail Transport Research (Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung - DZSF) provides a profound insight into the ETCS functionalities. Basis of the simulation are the preliminary planning data of the full tunnel variant as well as the project planning of the possible ETCS line equipment of the NBS Dresden-Prague. In the simulations, the implemented functionalities of the software can be reviewed and the obtained simulation results can be validated.

This diploma thesis is going to show that the implementation of the designed ETCS border transition in the ETCS simulation software is possible. The gained knowledge allows conclusions for the planning of the ETCS equipment of the NBS Dresden-Prague.

Danksagung

Mein besonderer Dank geht an Prof. Dietmar Scharf, welcher mich bei der Erstellung dieser Arbeit, seitens der Hochschule Zittau/Görlitz, betreut und unterstützt hat.

Ich bedanke ich mich bei Dipl.-Ing. Michael Menschner von der DB Netz AG welcher es mir ermöglichte, meine Diplomarbeit in Großprojekt NBS Dresden-Prag durchzuführen. Ich möchte mich bei meinem Betreuer Dipl.-Ing. Christian Scholtka von der DB Netz AG bedanken, welcher mich bei der Wahl der Aufgabenstellung für meine Diplomarbeit sowie bei der Beantwortung fachspezifischer Fragen unterstützte und mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand.

Weiterhin bedanke ich mich herzlich bei M. Sc. Susanne Hillmann und Prof. Martin Lehnert für die Betreuung meiner Diplomarbeit seitens des DZSF, welche durch viele hilfreiche Anregungen und ermöglichte Dienstreisen zum ETCS Labor nach München sowie zu den Entwicklern der ETCS-Simulationssoftware nach Straßburg zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Mein Dank gilt ebenfalls Dipl.-Ing. Elisabeth Kretschmer und Dipl.-Ing. Julia Kalkreiber von der DB Netz AG, welche mich mit ihrem Fachwissen im Bereich ETCS und dem Korrekturlesen bei meiner Diplomarbeit unterstützt haben.

An dieser Stelle möchte ich mich abschließend bei allen Kollegen der DB Netz AG und des DZSF für das sehr gute Arbeitsklima und die kooperative Zusammenarbeit bedanken.

Thesen der wissenschaftlichen Arbeit

1. ETCS-Grenzübergänge mit Level 2 – Level 2 sind der bevorzugte Zustand an den Landesgrenzen in Europa.
2. Aus den Simulationsergebnissen der ETCS-Software lassen sich fundierte Rückschlüsse für die Streckenplanung der NBS Dresden-Prag entnehmen.
3. Die Simulation eines Radio Block Centre (RBC)-Handover kann in einer ETCS-Simulationssoftware nachgestellt und analysiert werden.
4. Die Zusammenführung des RBC-Grenzübergangs und der Systemtrennstelle ist in der Nähe der Landesgrenze möglich.
5. Die Nationalen Werte von Deutschland (DB Netz AG) und der Tschechischen Republik (Správa železnic) wirken sich auf den Bremskurvenverlauf beim ETCS-Grenzübergang aus.
6. Die Streckenneigung beeinflusst die Funktionalität eines RBC-Handover nicht.
7. Der Mindestabstand von 500 m zwischen dem RBC-Grenzsignal und dem Folgesignal sind auf der Neubaustrecke Dresden-Prag realisierbar.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	V
Abstract	VI
Danksagung	VII
Thesen der wissenschaftlichen Arbeit	VIII
Abkürzungsverzeichnis	XII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielstellung dieser Arbeit.....	2
2 European Rail Traffic Management System (ERTMS)	3
2.1 Einführung in das ERTMS	3
2.2 Überblick zu den nationalen Zugbeeinflussungssystemen am Beispiel von Deutschland und Tschechien	5
2.3 European Train Control System (ETCS).....	6
2.3.1 Einführung in das ETCS	6
2.3.2 Spezifikationen des ETCS	7
2.3.3 System Versionen des ETCS	9
2.3.4 Überblick über die ETCS-Teilsysteme und Schnittstellen.....	12
2.3.5 Streckenseitiges Teilsystem	13
2.3.6 Fahrzeugseitiges Teilsystem	16
2.3.7 Datenübertragung.....	19
2.3.8 Odometrie auf ETCS Level 2 Strecken.....	20
2.3.9 Verfügbare Ausrüstungsstufen/Level von ETCS.....	22
2.3.10 ETCS-Betriebsarten.....	24
2.4 Global System for Mobile Communications – Rail(way) (GSM-R)	26
3 ETCS-Transitionen an Staatsgrenzen	29
3.1 Notwendigkeit von ETCS-Transitionen an Staatsgrenzen	29
3.2 Rechtliche Grundlagen	29
3.3 Geographische Lage der Transition.....	30
3.4 Technische ETCS-Ausrüstung.....	32
3.4.1 Kompatibilität der Streckeninfrastruktur	33
3.4.2 Kompatibilität der Fahrzeuge	34
3.4.3 Stellwerk	34
3.4.4 Signalisierung und Zugbeeinflussungssystem	35

3.4.5	Gleisfreimeldung.....	36
3.4.6	GSM-R-Funksystem	37
3.4.7	RBC-Handover	40
3.4.8	Weitere Schnittstellen	46
3.5	Weitere Sachverhalte auf ETCS-Grenzbetriebsstrecken	46
3.5.1	ETCS-Levelwechsel und -Betriebsart	46
3.5.2	Nationale Werte	47
3.5.3	ETCS-Bremskurvensprünge	47
3.5.4	Streckenbedingungen und weitere Aspekte	48
3.6	Varianten an ETCS-Grenztransitionen.....	49
4	ETCS-Grenztransition der Neubaustrecke Dresden-Prag.....	51
4.1	Die Planung der Neubaustrecke Dresden-Prag.....	51
4.2	Geographische Lage der Transition.....	53
4.3	ETCS-Ausrüstung der NBS Dresden-Prag	55
4.3.1	Stellwerk	57
4.3.2	Signalisierung und Gleisfreimeldung	57
4.3.3	Verfügbares Funksystem, RBC-Handover & Systemtrennstelle	57
4.3.4	Grenztransitionskonzept der NBS.....	59
4.4	Betriebliche Anforderungen an die NBS Dresden-Prag	64
5	Modellierung der Volltunnelvariante der Neubaustrecke Dresden–Prag ...	65
5.1	ETCS-Simulationssoftware des DZSF	65
5.2	Erstellung eines Streckenmodells	65
5.3	Modellierung der Volltunnelvariante der NBS Dresden-Prag.....	71
5.4	Implementierung des ETCS-Blockkennzeichen	73
5.5	Anlegen von Betriebsszenarien	75
6	Simulationen in der ETCS-Simulationssoftware.....	79
6.1	Validierung der Fahrdynamik der ETCS-Simulationssoftware	79
6.1.1	Fahrdynamik des Hochgeschwindigkeitszugs	79
6.1.2	Fahrdynamik des Personenzugs	81
6.1.3	Fahrdynamik des Güterzugs.....	82
6.2	Implementierung der National Values	83
6.3	Simulation eines RBC-Handover	86
6.4	Simulation einer möglichen ETCS-Grenztransition der NBS Dresden-Prag ..	90
7	Zusammenfassung und Ausblick	95
	Abbildungsverzeichnis	XV

Tabellenverzeichnis.....	XVIII
Literaturverzeichnis.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Anhangsverzeichnis.....	XXIV
Anhang	XXV
Eigenständigkeitserklärung.....	XXXIX

Abkürzungsverzeichnis

ACC RBC	<i>Accepting RBC</i>
BG	<i>Balise Groupe</i>
BIU	<i>Brake Interface Unit</i>
BTM.....	<i>Balise Transmission Module</i>
CCS.....	<i>Control Command and Signalling</i>
DMI.....	<i>Driver Machine Interface</i>
DNCA	<i>Dual Network Coverage Area</i>
DSTW.....	<i>Digitales Stellwerk</i>
DZSF	<i>Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung</i>
EBO	<i>Eisenbahn-Bau und Betriebsordnung</i>
EDOR	<i>ETCS Data only Radio</i>
EIU	<i>Eisenbahninfrastrukturunternehmen</i>
ERA.....	<i>European Union Agency for Railways</i>
ERTMS.....	<i>European Rail Traffic Management System</i>
ESTW	<i>Elektronisches Stellwerk</i>
ETCS.....	<i>European Train Control System</i>
EUG.....	<i>ERTMS Users Group</i>
EVC	<i>European Vital Computer</i>
EVU	<i>Eisenbahnverkehrsunternehmen</i>
Fdl	<i>Fahrdienstleiter</i>
FFFIS.....	<i>Form Fit Functional Interface Specification</i>
FIS.....	<i>Functional Interface Specification</i>
FRMCS.....	<i>Future Railway Mobile Communication System</i>
GSM-R.....	<i>Global System for Mobile Communications – Rail(way)</i>
HOV RBC	<i>Handing over RBC</i>
IPHO.....	<i>Inter PLMN Handover</i>
L2mS	<i>ETCS Level 2 mit Signalen</i>
L2oS	<i>ETCS Level 2 ohne Signale</i>
LEU	<i>Lineside Electronic Unit</i>
LRBG.....	<i>Last Relevant Balise Group</i>
LS	<i>Liniový Systém</i>
LTM	<i>Loop Transmission Module</i>
LZB.....	<i>Linienzugbeeinflussung</i>

MA	<i>Movement Authority</i>
NBS	<i>Neubaustrecke</i>
NRBC	<i>Neighbour Radio Block Centre</i>
NTC	<i>National Train Control</i>
NV	<i>National Values</i>
OBU.....	<i>Onboard Unit</i>
PZB.....	<i>Punktförmige Zugbeeinflussung</i>
RBC	<i>Radio Block Centre</i>
Ril	<i>Richtlinie der Deutschen Bahn</i>
RIU	<i>Radio Infill Unit</i>
SBG.....	<i>Single Balise Group</i>
SRS	<i>System Requirements Specification</i>
SSP	<i>Static Speed Profil</i>
STM.....	<i>Specific Transmission Module</i>
SV.....	<i>System Version</i>
TEN-T	<i>Trans-European Transport Network</i>
Tf	<i>Triebfahrzeugführer</i>
TIU.....	<i>Train Interface Unit</i>
TNB	<i>Technische Netzzugangsbedingungen</i>
TSI.....	<i>Technischen Spezifikationen für Interoperabilität</i>
UNISIG	<i>Union Industry of Signalling</i>

1 Einleitung

1.1 Motivation

Seit den 1990er Jahre gibt es in Europa intensive Bestrebungen, die nationalen Bahnsysteme technisch zu harmonisieren und die Betriebsabläufe zu vereinheitlichen, um den grenzüberschreitenden Personen- und Warenverkehr auf der Schiene zu erleichtern. Das European Train Control System (ETCS) ist ein einheitliches und standardisiertes Zugbeeinflussungssystem und schafft gemeinsam mit dem Funksystem Global System for Mobile Communications – Rail(way) (GSM-R) die Grundlagen für die Interoperabilität im Schienenverkehr. Der Einsatz von ETCS und GSM-R kann sich jedoch von Land zu Land unterscheiden und hängt von zahlreichen Faktoren, wie z. B. den nationalen Gesetzgebungen und Richtlinien, der nationalen Organisationsform der Eisenbahn, den finanziellen Ressourcen und der Sicherheitsphilosophie ab. Bei der Ausrüstung von grenzüberschreitenden Eisenbahnstrecken ist daher eine intensive Zusammenarbeit der Nachbarstaaten notwendig, um das ETCS reibungslos in die bestehende Leit- und Sicherungstechnik zu integrieren.

In den letzten Jahren wurden große Fortschritte bei der Weiterentwicklung, der Ausrüstung von Strecken und der Implementierung an Landesgrenzen von ETCS erzielt. Zum aktuellen Stand dieser Diplomarbeit befinden sich zwar bereits einige ETCS-Grenzübergänge in Betrieb, jedoch liegen diese fast ausschließlich in West- bzw. Mitteleuropa, wie z. B. zwischen der Schweiz und Italien, Frankreich und Luxemburg oder der Schweiz und Deutschland. Die von Lars Brune und Robert Schwenzer erstellte Karte „Overview of relevant ETCS border crossings“ gibt einen anschaulichen Überblick zum aktuellen Ausrüstungszustand von ETCS an Landesgrenzen [BRU23]. Anhand dieser Karte wird ersichtlich, dass nur eine geringe Anzahl von Grenzbetriebsstrecken durchgehend mit ETCS befahren werden können. Der Großteil der ETCS-Grenzübergänge befindet sich aktuell in der Planung oder ist nur auf einer Landesseite mit ETCS ausgerüstet.

Die Analyse der Ausrüstungsvarianten offenbart, dass die Mehrheit der geplanten ETCS-Ausrüstungsprojekte einen ETCS Level 2 – Level 2 Grenzübergang als Zielzustand anstreben. Dies trifft besonders auf die geplanten Grenzübergänge zwischen der DB Netz AG und den Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) der Nachbarstaaten zu, da ETCS Level 2 der aktuelle Ausrüstungsstandard für ETCS-

Strecken in Deutschland ist. Zum Zeitpunkt dieser Diplomarbeit sind jedoch lediglich der Grenzübergang zwischen Breda (Niederlande) und Meer (Belgien) und der Grenzübergang zwischen Bernhardsthal (Österreich) und Břeclav (Tschechien) mit einem ETCS Level 2 – Level 2 Übergang ausgestattet. Einer Präsentation des tschechischen EIU Správa železnic ist zu entnehmen, dass es sich bei dem Grenzübergang zwischen Bernhardsthal und Břeclav um eine vereinfachte und modifizierte Version des Level 2 – Level 2 Übergangs mit einem eingeschränkten Funktionsumfang handelt [VOJ20].

1.2 Zielstellung dieser Arbeit

Diese Diplomarbeit ist für eine breite Zielgruppe mit unterschiedlichem Erfahrungsschatz geeignet. Einige Absätze sind ausführlicher dargestellt, um Lesern ohne ETCS-Hintergrundwissen den Zugang zu diesem Thema zu erleichtern.

Im Rahmen der Literaturrecherche wird in Kapitel 2 zunächst auf die grundlegende Funktionsweise von ETCS und die speziellen Anforderungen an Landesgrenzen eingegangen. Anschließend werden die unterschiedlichen Aspekte und allgemeinen Einflussfaktoren für die Planung von ETCS-Grenztransitionen in Kapitel 3 untersucht und es wird dargestellt, wie diese die Ausgestaltung von ETCS an einer Landesgrenze beeinflussen. Diese allgemeine Betrachtung wird im Anschluss für den Entwurf einer möglichen ETCS-Grenztransition der Neubaustrecke (NBS) Dresden-Prag in Kapitel 4 genutzt und kann auch die Planung weiterer Grenzübergänge zu anderen Nachbarländern unterstützen.

Mithilfe der neuen ETCS-Simulationssoftware vom Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) wird in Kapitel 5 ein Modell der geplanten Volltunnelvariante der NBS Dresden-Prag erstellt, die Funktion der möglichen ETCS-Grenztransition in Kapitel 6 simuliert und die Simulationsergebnisse der Software validiert. Aus den Simulationsergebnissen lassen sich Erkenntnisse über die Funktionsweise von ETCS gewinnen und projektspezifische Rückschlüsse ziehen.

2 European Rail Traffic Management System (ERTMS)

2.1 Einführung in das ERTMS

Die nationalen Eisenbahnsysteme in Europa sind in den vergangenen zwei Jahrhunderten historisch gewachsen und haben sich entsprechend der nationalen Normen, Richtlinien und Gesetze individuell weiterentwickelt [SCH22]. Auf diese Weise sind unterschiedliche, nationale Systeme entstanden, welche sich beispielsweise anhand der Spurweite, der Bahnstromversorgung, der Signalisierung, der Zugbeeinflussung, den betrieblichen Regeln u. v. m. voneinander unterscheiden [FEN19]. Diese betrieblichen und technischen Differenzen erschweren bis heute den grenzüberschreitenden Eisenbahnverkehr. Bisher ist es notwendig, Mehrsystemschienefahrzeuge einzusetzen, welche über unterschiedliche Bahnstromversorgungs- und Zugbeeinflussungssysteme verfügen und auf diese Weise den durchgehenden Zugverkehr zwischen mehreren Ländern ermöglichen. Zusätzlich müssen die Triebfahrzeugführer (Tf) für beide nationalen Systeme ausgebildet sein. Alternativ ist es möglich, die Triebfahrzeuge und das Personal an den Grenzbetriebsstellen auszutauschen. Diese Betriebsabläufe führen jedoch zu längeren Haltezeiten, welche wiederum die Reise- oder Transportzeiten verlängern [SCH22]. All diese Umstände führen dazu, dass der grenzüberschreitende Eisenbahnverkehr besonders kostenintensiv ist und besondere Anforderungen an den Tf stellt.

Das ERTMS wird seit den 1990er Jahren durch die European Union Agency for Railways (ERA), die Union Industry of Signalling (UNISIG) und die ERTMS Users Group (EUG) spezifiziert und kontinuierlich weiterentwickelt. Die Aufgaben der ERA, als die Eisenbahnagentur der Europäischen Union, sind es, die angestrebten Hauptziele des ERTMS zu formulieren und deren Umsetzung zu unterstützen. Die UNISIG ist ein Zusammenschluss der führenden Hersteller von Leit- und Sicherungstechnik. In Zusammenarbeit mit der ERA entwickelt, pflegt und aktualisiert die UNISIG die ERTMS-Spezifikationen. In der EUG haben sich die nationalen Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) zusammengeschlossen, um die Hersteller durch Tests derer ETCS-Komponenten und die Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) beim Einsatz von ERTMS/ETCS zu unterstützen. Zu den Mitgliedern zählen unter anderem die DB Netz AG, die italienische Eisenbahngesellschaft Ferrovie dello

Stato, die französische Staatseisenbahn SNCF Réseau, der tschechische Eisenbahninfrastrukturbetreiber Správa železnic u. v. m. [EUG23; UNI23].

Das ERTMS besteht aus zwei wesentlichen Bestandteilen. Das ETCS ist das europäisch harmonisierte Zugbeeinflussungssystem. Komplettiert wird das ERTMS durch das GSM-R, welches die Kommunikation zwischen Zug und Strecke ermöglicht. Die Einführung von ERTMS verfolgt insgesamt vier Hauptziele im europäischen Schienenverkehr [KUN20a; SCH22]:

1. Die Vereinheitlichung der Zugbeeinflussungssysteme und der flächendeckende Einsatz von GSM-R bzw. dessen Nachfolger Future Railway Mobile Communication System (FRMCS), sollen zum Wegfallen der nationalen Systeme führen. Die angestrebte Standardisierung des europäischen Schienenverkehrs zielt besonders auf die technische Harmonisierung ab. Durch einheitliche Schnittstellen und Spezifikationen sollen zukünftig aufwendige nationale Sonderlösungen und individuelle Anpassungen obsolet sein.
2. Harmonisierte ERTMS-Komponenten sollen es den EIU ermöglichen, die Komponenten unterschiedlicher Hersteller einzusetzen. Die Hersteller können wiederum größere Aufträge akquirieren und neue Absatzmärkte erschließen. Auf diese Weise kann der freie Wettbewerb durch Ausschreibungen am Markt gestärkt und die Lebenszykluskosten für Zugbeeinflussungssysteme und Stellwerke gesenkt werden.
3. Das ERTMS bezweckt eine Optimierung der Betriebsabläufe, wodurch die Leistungsfähigkeit des Schienenverkehrs erhöht und die Kapazität der Eisenbahninfrastruktur gesteigert werden sollen.
4. Durch den Einsatz moderner Technik in der Infrastruktur ist es möglich, den Automatisierungsgrad zu steigern und die Systeme effizient miteinander zu vernetzen. Die Ablösung personalintensiver Leit- und Sicherungstechnik wird die Sicherheit im Schienenverkehr erhöhen, da unterstützende und technische Funktionen flächendeckend eingesetzt werden können. Speziell die Führerraumsignalisierung und die kontinuierliche Überwachung der Zugfahrt ab ETCS Level 2 führen zu einer Erhöhung des Sicherheitsniveaus.

2.2 Überblick zu den nationalen Zugbeeinflussungssystemen am Beispiel von Deutschland und Tschechien

Aufgrund der historischen Entwicklung hat sich bis heute eine Vielzahl von unterschiedlichen Zugbeeinflussungssystemen in Europa etabliert. Jedes dieser Systeme fußt auf eigenen, nationalen Regelwerken und landesspezifischen Signalsystemen [SCH22]. In der Abbildung 2-1 sind die verbreitetsten Zugbeeinflussungssysteme in Europa dargestellt.

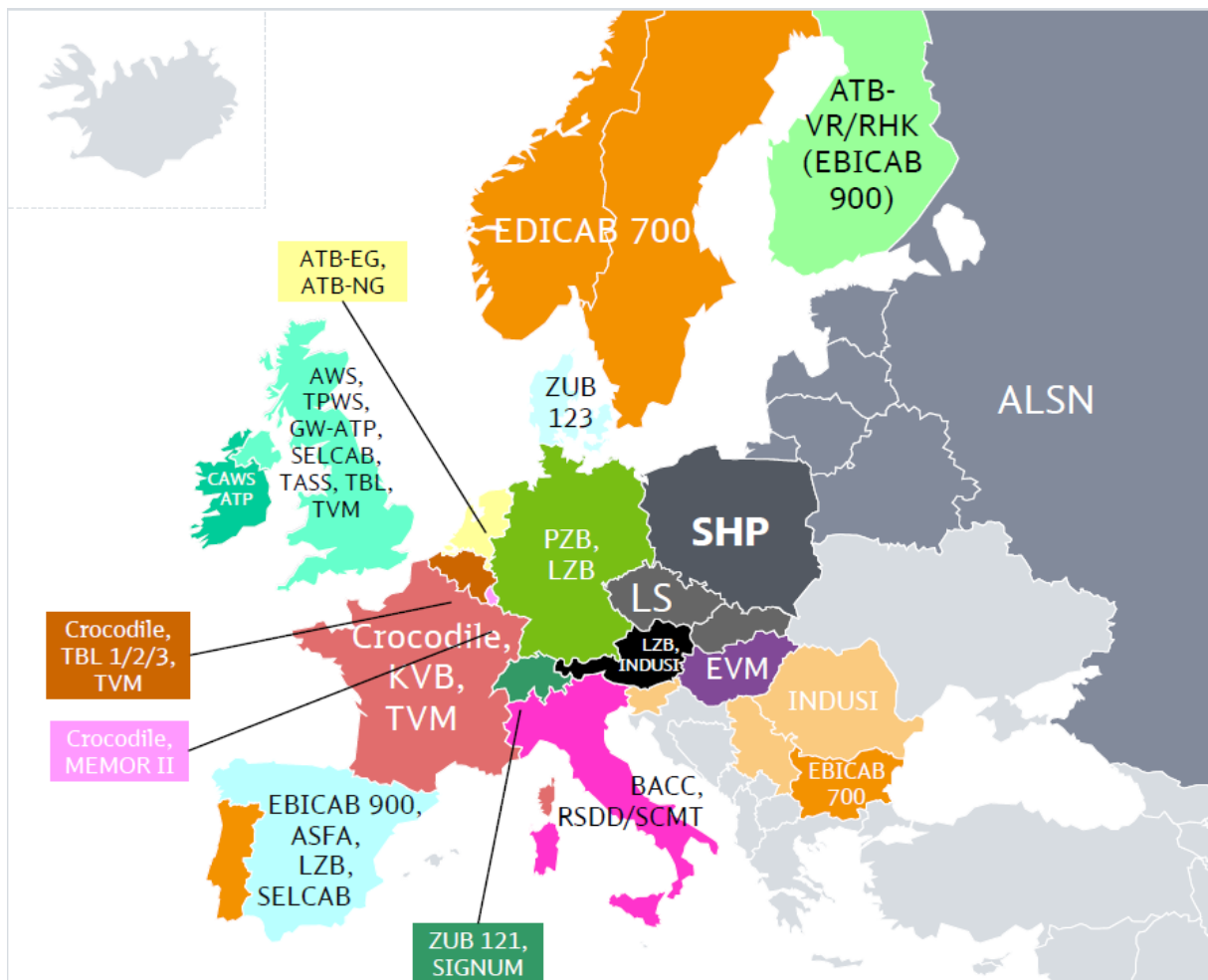


Abbildung 2-1: Nationale Zugbeeinflussungssysteme (Klasse-B-Systeme) [BRU22]

Im Bereich der DB Netz AG sind die Punktförmige Zugbeeinflussung (PZB) und die Linienzugbeeinflussung (LZB) die nationalen Zugbeeinflussungssysteme. Die PZB kommt auf Strecken mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit bis 160 km/h zum Einsatz und ermöglicht eine punktförmige Überwachung der Zugfahrt durch Gleismagnete mit unterschiedlichen Sendefrequenzen. Bei einer Geschwindigkeit von über 160 km/h kann ein PZB geführter Zug unter Umständen nicht mehr rechtzeitig vor dem Hauptsignal bremsen, da der übliche Bremsweg von 1000 m zwischen Vor- und

Hauptsignal nicht mehr ausreichend lang ist [SCH16]. Alternativ muss hierzu ein System angewendet werden, welches die Informationen des Stellwerks kontinuierlich an den Zug übermittelt. In Deutschland kommt die LZB zum Einsatz, wobei die Sollgeschwindigkeit, Zielgeschwindigkeit und Entfernung zum Ziel über einen im Gleis verlegten Linienleiter an das Triebfahrzeug übertragen werden. Das Fahrzeug besitzt eine LZB-Empfangsantenne, um die gesendeten Informationen des Stellwerks zu empfangen. Beide Zugbeeinflussungssysteme überwachen die Geschwindigkeit des Zuges und können im Sicherheitsfall automatisch eingreifen und den Zug zum Halten bringen.

Das nationale Zugbeeinflussungssystem Liniový Systém (LS) der Tschechischen Republik wurde in den 1960er Jahren auf Grundlage eines sowjetischen Zugbeeinflussungssystems weiterentwickelt. Das Grundprinzip von LS besteht darin, die Informationen des aktuellen Signalzustands kontinuierlich auf den Führerstand des Triebfahrzeugs zu übertragen. Für die Übertragung der Signalzustände mit LS ist es erforderlich, dass die Strecke mit Gleisstromkreisen für die Gleisfreimeldung ausgerüstet ist. Das LS nutzt die vorhandenen Gleisstromkreise, wobei vier unterschiedliche Frequenzen auf den Gleisabschnitt moduliert werden, um die Signalzustände kontinuierlich an das Triebfahrzeug zu übertragen. Das Triebfahrzeug besitzt eine Mobileinheit zur Dekodierung des übermittelten Signalzustands und visualisiert diesen im Führerstand [DOR12].

2.3 European Train Control System (ETCS)

2.3.1 Einführung in das ETCS

Das ETCS soll die nationalen Zugbeeinflussungssysteme langfristig ersetzen und wird in den Spezifikationen als Klasse-A-System bezeichnet. Die nationalen Zugbeeinflussungssysteme werden als Klasse-B-Systeme bezeichnet. Aufgrund der Anforderung, dass ETCS auf allen Strecken innerhalb von Europa einsetzbar ist, gibt es dieses Klasse-A-System in zahlreichen Softwareversionen, Ausbauvarianten und möglichen Betriebsarten. Hinzu kommt, dass ETCS bereits während der Spezifikation und laufenden Entwicklungen in Europa partiell ausgerollt wurde. Basierend auf den gewonnenen Erfahrungen wird das ETCS kontinuierlich weiterentwickelt und verbessert. Es wird darauf hingewiesen, dass diese Diplomarbeit den derzeitigen Stand von ETCS, insbesondere bei der DB Netz AG und der Správa železnic darstellt.

Das ETCS in seiner Gesamtheit darzustellen, würde den Rahmen dieser Arbeit überschreiten. Aus diesem Grund werden in den folgenden Gliederungspunkten zwar alle relevanten Varianten, Teilsysteme, Level und Betriebsarten von ETCS genannt, jedoch nur die detailliert erläutert, welche für den angestrebten Zielzustand der NBS Dresden-Prag von Bedeutung sind. Einen umfassenderen Einblick in das Thema ETCS bieten [TRI20] und [SCH22].

Die Abstimmung über eine einheitliche ETCS-Systemspezifikation und System Version ist Grundvoraussetzung für die Realisierbarkeit einer ETCS-Grenztransition und wird in den folgenden Abschnitten 2.3.2 und 2.3.3 ausführlich erläutert.

2.3.2 Spezifikationen des ETCS

Die Technischen Spezifikationen für Interoperabilität (TSI) beschreiben aus Sicht des ERTMS das Zusammenwirken von Infrastruktur, Fahrzeugen und Eisenbahnbetrieb und werden für alle Teilsysteme des Bahnsystems erstellt. Für das ETCS sind die Anforderungen in der TSI Control Command and Signalling (CCS) beschrieben [SOM20].

Die geltende TSI CCS legt fest, welche aktuellen ETCS-Systemspezifikationen gültig und zulässig sind [SOM20]. Die ETCS-Systemspezifikationen (System Requirements Specification - SRS) definieren den verfügbaren System- und Funktionsumfang von ETCS und dessen Leistungsfähigkeit. Die SRS haben sich durch hinzufügen, ändern und löschen von Funktionalitäten stetig weiterentwickelt, weshalb die ERA ein umfangreiches System Versions-Management für ETCS einführte. Bei der Weiterentwicklung der SRS war es notwendig, teilweise grundlegende und inkompatible Änderungen im Vergleich zur vorherigen SRS vorzunehmen und eine neue Hauptversion (Baseline) zu generieren. Eine neue Baseline lässt sich anhand der veränderten, ersten Stelle der SRS Versionsziffer identifizieren. Sind die Weiterentwicklungen hingegen weniger gravierend und die neue SRS Version ist kompatibel zur Vorgängerversion, so ändert sich die zweite Stelle in der SRS Versionsziffern [SCH22]. Aktuell sind für die Umsetzung von ETCS-Infrastrukturprojekten drei ETCS SRS zulässig: [EUG21]

- Baseline 2 mit SRS Version 2.3.0d mit GSM-R Baseline 1
- Baseline 3 Release 1 mit SRS Version 3.4.0 mit GSM-R Baseline 1
- Baseline 3 Release 2 mit SRS Version 3.6.0 mit GSM-R Baseline 1

Die Hintergründe zur Inkompatibilität zwischen Baseline 2 und Baseline 3 sind in Anhang 1 beschrieben. Die Unvereinbarkeit dieser unterschiedlichen Baseline stellt für die Planung neuer ETCS-Strecken oder den Ausbau von Bestandsstrecken ein großes Hindernis dar, da die Baseline 2 mit SRS Version 2.3.0d lange Zeit der verbindliche Standard für ETCS-Strecken in Europa war. Viele ETCS-Strecken, beispielsweise in Frankreich, den Niederlanden, Belgien, aber auch die NBS VDE 8.2 Erfurt – Halle/Leipzig, wurden entsprechend der SRS Version 2.3.0d ausgerüstet und sind teilweise noch heute in Betrieb. Mit der Veröffentlichung der Baseline 3 entschied sich die DB Netz AG dazu, alle zukünftigen Neu- und Ausbaustrecken ausschließlich in dieser neuen Baseline auszuführen. Somit ergibt sich an Landesgrenzen, aber auch innerhalb von Deutschland, zwangsläufig die Situation, dass für die Befahrung und den Übergang zwischen ETCS-Strecken unterschiedlicher SRS Versionen individuelle Lösungen entwickelt werden müssen. In der Abbildung 2-2 sind die verfügbaren ETCS Baselines anschaulich dargestellt.

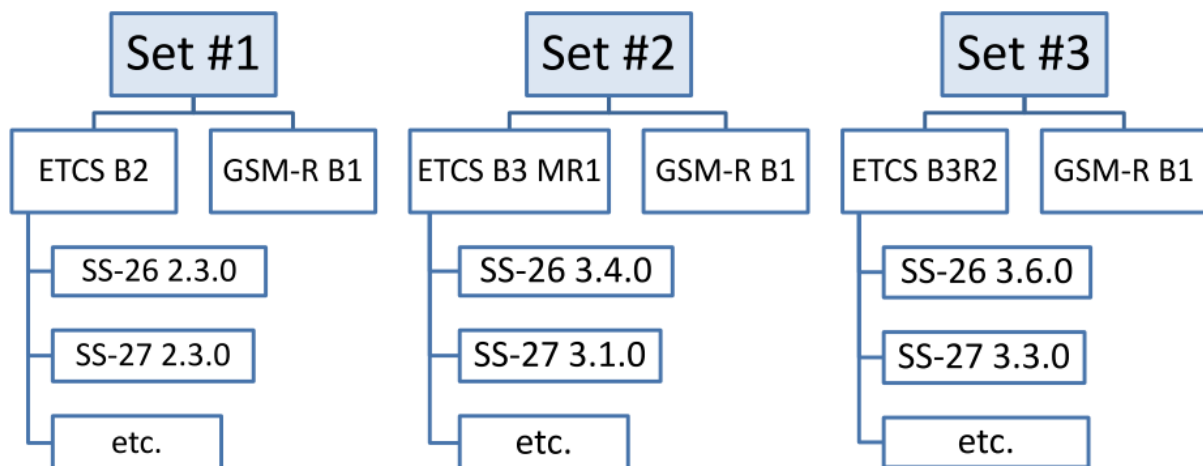


Abbildung 2-2: Übersicht zu den aktuell verfügbaren ETCS Baselines [EUG21]

Anhand von Abbildung 2-2 ist ersichtlich, dass jede ETCS Baseline wiederum unterschiedliche Spezifikationen der ETCS Teilsysteme (SUBSET – SS), beinhaltet. Die SUBSET fungieren als eigenständige Dokumente und beschreiben die zulässige Ausgestaltung der Schnittstellen der ETCS Teilsysteme. In Abhängigkeit von der Baseline ist zu beachten, dass die Inhalte der SUBSET verpflichtend oder informativ sein können [SOM20; SCH22].

2.3.3 System Versionen des ETCS

Jede SRS kann mehrere unterschiedliche System Versionen (SV) enthalten und definiert, welche SV entsprechend verfügbar sind. Eine SV beschreibt die notwendigen ETCS-Pflichtfunktionen, welche seitens der Streckeninfrastruktur implementiert und in den ETCS-Fahrzeugen verfügbar sein müssen. Auf diese Weise stellt die SV die technische Interoperabilität zwischen Strecke und Fahrzeug sicher. Es gilt zu beachten, dass die ETCS-Fahrzeuge in einer vom EVU bestimmten SRS ausgerüstet werden, jedoch innerhalb der SV abwärtskompatibel sind [EUG21].

In Abbildung 2-3 ist zu sehen, dass ein Fahrzeug der Baseline 3 Release 2 mit SRS Version 3.6.0 grundsätzlich für die streckenseitige SV 2.0 und SV 2.1 konzipiert ist. Durch die bereits erwähnte Abwärtskompatibilität ist es dem Fahrzeug jedoch möglich auf Strecken mit der älteren SV 1.0 und SV 1.1 zu verkehren.

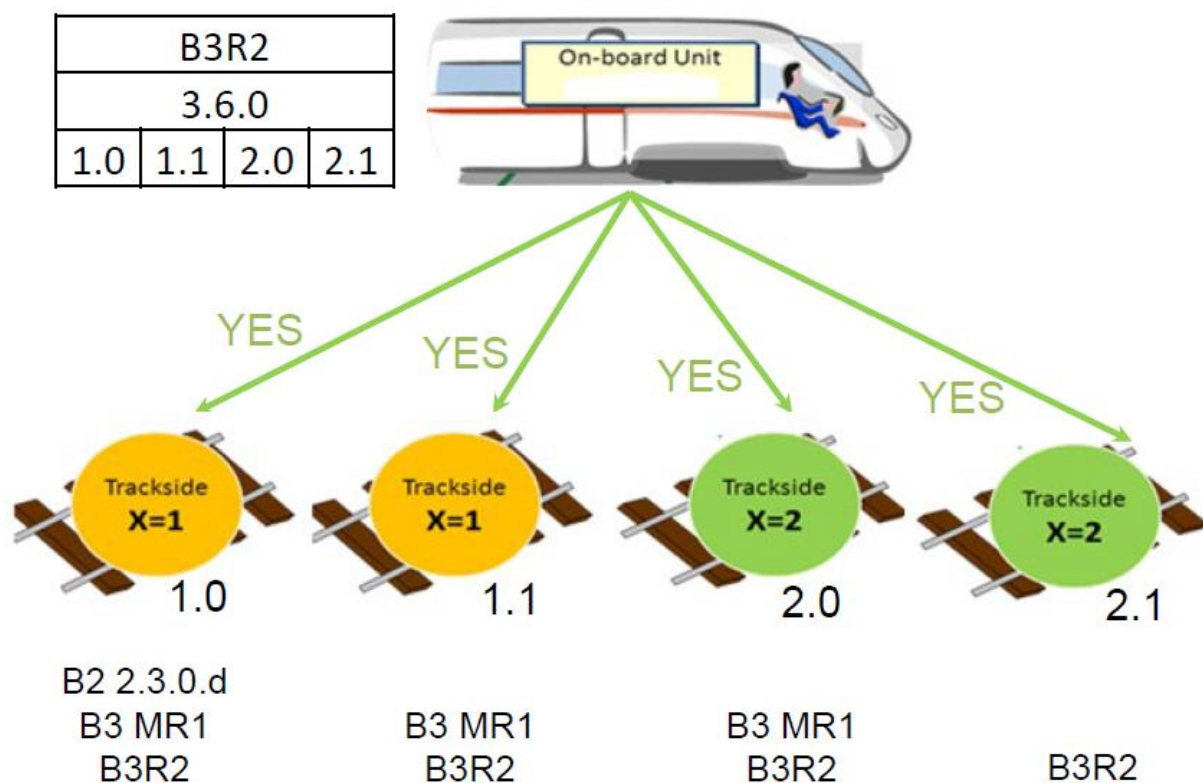


Abbildung 2-3: Abwärtskompatibilität von Fahrzeugen der SRS 3.6.0 [EUG21]

In Abbildung 2-4 ist dargestellt, dass Fahrzeuge der alten SRS Version 2.3.0d zwar in der Lage sind, auf Strecken der ersten SV-Generation zu fahren, nicht jedoch auf Strecken der SV 2.0 und höher.

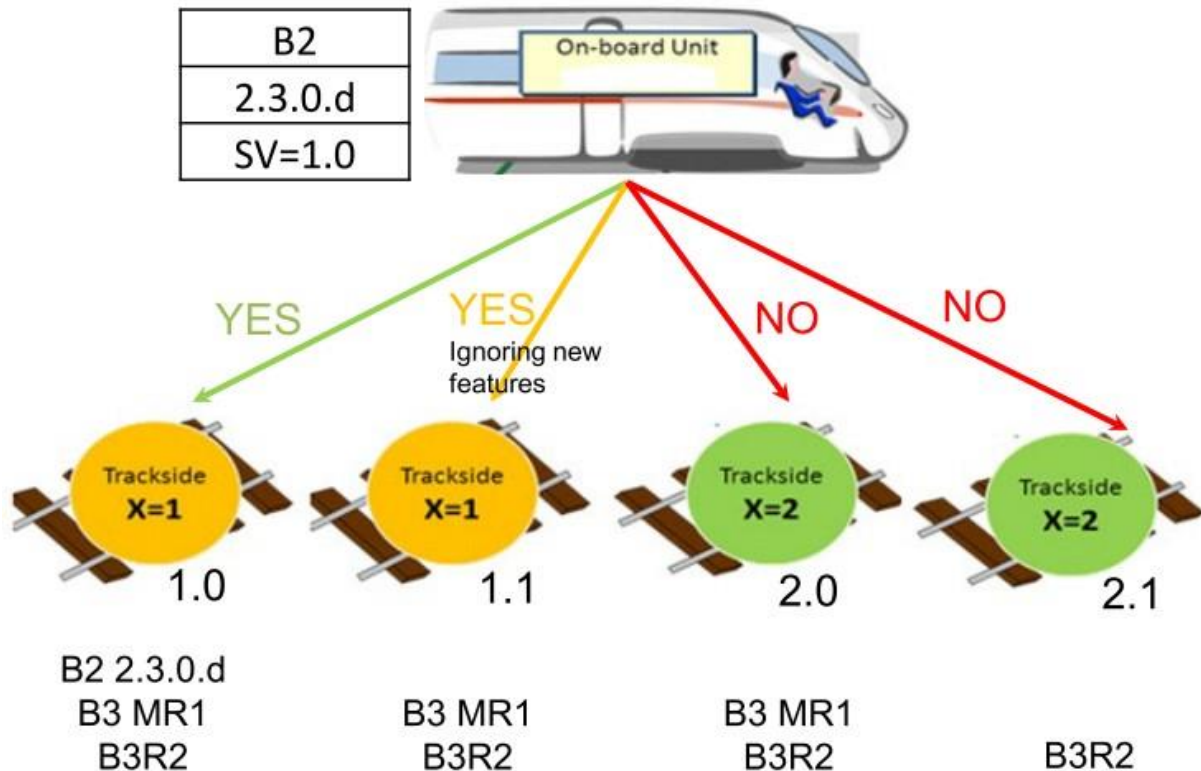


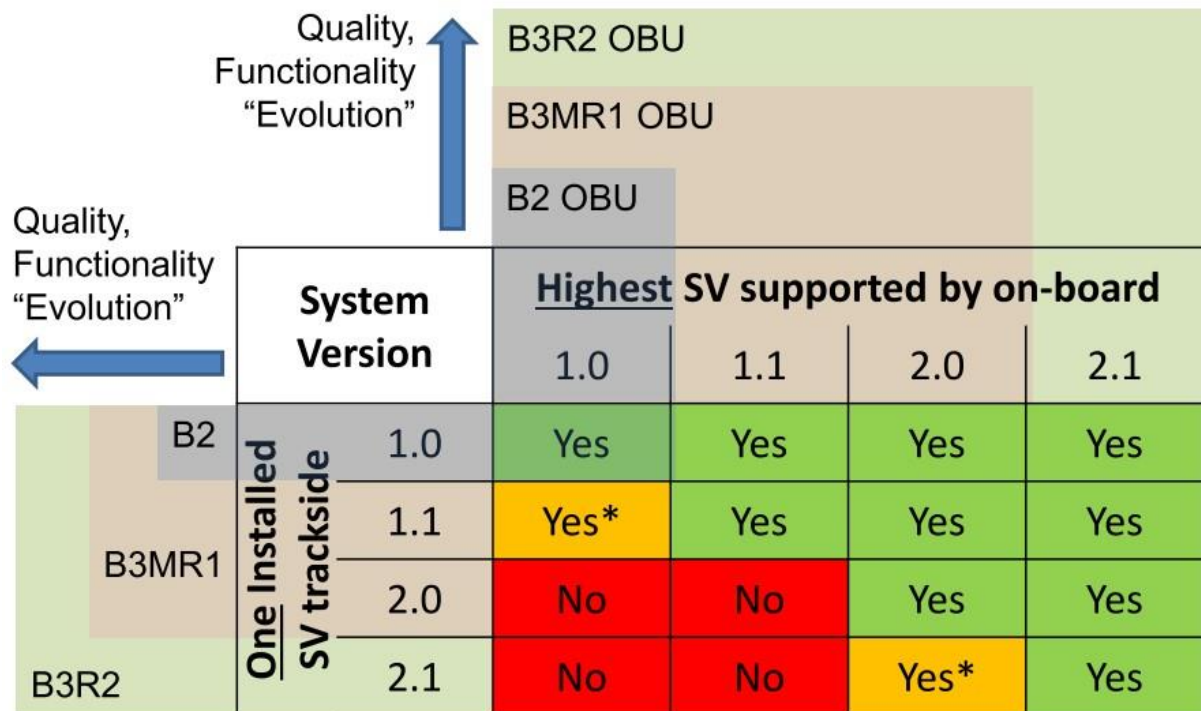
Abbildung 2-4: Eingeschränkte Nutzbarkeit von Fahrzeugen der SRS 2.3.0d [EUG21]

Wie in Abbildung 2-4 dargestellt, sind ETCS-Fahrzeuge in ausgewählten Beispielen teilweise aufwärtskompatibel. Fahrzeuge der Baseline 2 mit SRS Version 2.3.0d sind grundsätzlich für die streckenseitige SV 1.0 konzipiert, können jedoch auf Strecken der nachfolgenden SV 1.1 verkehren. Die Einschränkung bezüglich der Aufwärtskompatibilität offenbart sich darin, dass die neuen, zusätzlichen Funktionen der SV 1.1 von einem Fahrzeug der SRS 2.3.0d nicht genutzt und ignoriert werden.

Neu zugelassene Fahrzeuge dürfen aktuell nicht mehr mit der alten Baseline 2 mit SRS Version 2.3.0d ausgerüstet werden. Des Weiteren empfiehlt es sich, bei der Neubeschaffung von ETCS-Fahrzeugen oder der Ausrüstung von Bestandsfahrzeugen mit ETCS immer die höchste, verfügbare SV einzusetzen [DBN14].

Die zusätzliche Unterscheidung der ETCS-Systeme anhand der SV ist eine weitere Hürde für die Interoperabilität an der Schnittstelle zweier ETCS-Strecken mit unterschiedlichen SV. In diesem Fall braucht es seitens der Streckeninfrastruktur spezielle Softwareanpassungen, um die Kommunikation zwischen den Systemen zu gewährleisten. Ein Übergang zwischen zwei unterschiedlichen SV ist beispielsweise in der „ENGINEERING GUIDELINE - 66. Transition from SV 1.Y) to SV 2.Y L1/2/3 with

NTC fallback“ beschrieben. In der Abbildung 2-5 sind alle möglichen Kombinationen von ETCS hinsichtlich der verfügbaren SRS und SV übersichtlich zusammengestellt und die kompatiblen Kombinationen grün eingefärbt [SUB-026-6; EUG21].

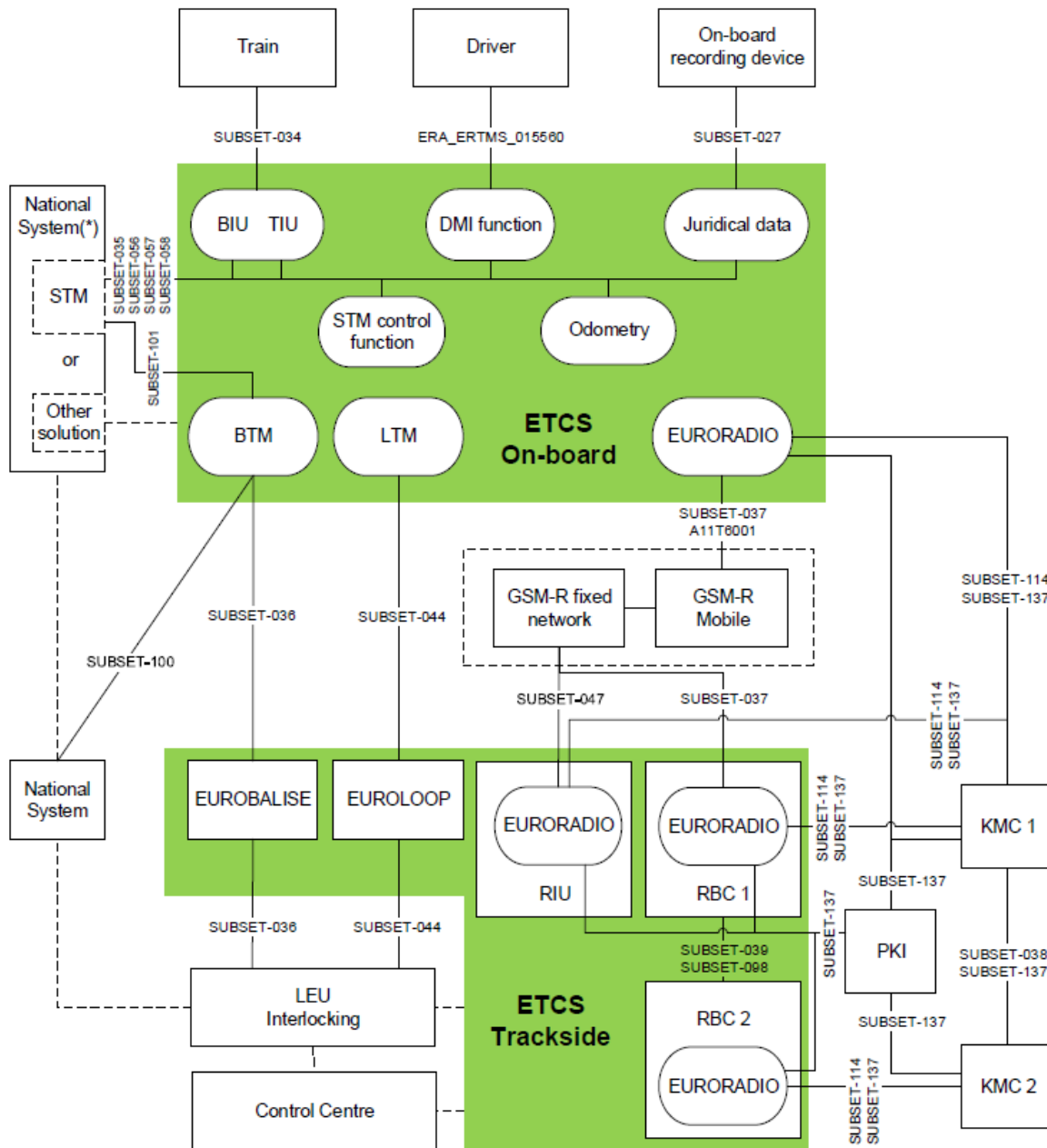


* without X.1 functionality

Abbildung 2-5: Übersicht über die verfügbaren SRS und zugehörigen SV [EUG21]

2.3.4 Überblick über die ETCS-Teilsysteme und Schnittstellen

Die ETCS-Systemarchitektur ist in Ihrer Gesamtheit in Abbildung 2-6 dargestellt und lässt sich in die zwei Teilsysteme ETCS-Streckenausrüstung und ETCS-Fahrzeuggeräte (Onboard Unit - OBU) untergliedern.



(*) Depending on its functionality and the desired configuration, the national system can be addressed either via an STM using the standard interface or via another national solution

Abbildung 2-6: Übersicht zur ETCS-Systemarchitektur [SUB-026-2]

Die Teilsysteme sind in der Abbildung 2-6 grün hinterlegt und umfassen mehrere, unterschiedliche Subsysteme, welche in den folgenden Abschnitten 2.3.5 und 2.3.6 erläutert werden. Der Abbildung 2-6 ist zu entnehmen, dass die Subsysteme durch Schnittstellen miteinander verbunden sind, welche in den SUBSET spezifiziert sind.

2.3.5 Streckenseitiges Teilsystem

Eines der zentralen Bestandteile von ETCS sind die Eurobalisen. Sie werden punktförmig als Einzelbalise (Single Balise Group - SBG) oder als Balisengruppe (Balise Groupe – BG) zur Datenübertragung zwischen Strecke und Fahrzeug genutzt. Eine BG besteht aus bis zu acht Balisen. Der Aufbau und die Wirkungsweise, sowie deren Schnittstellen sind im SUBSET-026 ausgeführt [SUB-026-2; SUB-026-3]. Während der Fahrt strahlt die ETCS-Fahrzeugantenne permanent ein Aktivierungssignal mit einer Frequenz von 27,095 MHz in das Gleisbett, in welchem sich die Balisen als passive Elemente befinden. Die Balisen sind auf den Schwellen zwischen den Schienen montiert. Überfährt ein Zug mit seiner ETCS-Fahrzeugantenne die Balise, so versorgt das Aktivierungssignal die Eurobalisen mit Energie und aktiviert diese. Daraufhin kann die Balise beispielsweise ihre Daten an den Zug senden. Der Zug empfängt mithilfe seiner ETCS-Fahrzeugantenne die gesendeten Informationen und verarbeitet diese [SCH22]. Die Anordnung und Funktionsweise von Balisen und BG wird in Anhang 2 vertieft.

Grundsätzlich stehen im ETCS mit Transparent- und Festdatenbalisen zwei Arten von Eurobalisen zur Verfügung. Transparentdatenbalisen dienen dazu, Telegramme mit veränderlichem Informationsgehalt zu übermitteln. Die Balise ist hierzu über eine definierte Kabelschnittstelle mit der Lineside Electronic Unit (LEU) verbunden. Die LEU verfügt über einen internen Speicher, auf welchem die möglichen Telegramme gespeichert sind und ist durch eine weitere Schnittstelle beispielsweise mit einem Signal verbunden, um die angezeigten Signalbegriffe auszulesen. In Abhängigkeit vom Signalbegriff wählt die LEU das zugehörige Telegramm aus, welches die Balise beim Befahren an den Zug senden soll [SCH22]. Transparentdatenbalisen kommen vorwiegend auf ETCS Level 1 - Strecken und nur in ausgewählten Fällen auf ETCS Level 2 Strecken zum Einsatz.

Festdatenbalisen enthalten ein fest einprogrammiertes Telegramm und übermitteln bei jeder Befahrung den gleichen Informationsgehalt. Derartige Balisen oder BG werden beispielsweise für den Funkaufbau zwischen dem GSM-R-Geräte des Zugs und dem zuständigen Radio Block Centre (RBC), zur Überwachung der Zugfahrt an Signalen oder zur Kommandierung eines RBC-Wechsels eingesetzt [DB1344; SCH22]. Festdatenbalisen spielen vor allem auf Strecken ab ETCS Level 2 eine entscheidende Rolle für die Ortung des Fahrzeugs. Ab ETCS Level 2 ermöglicht das Radio Block

Centre (RBC) einen kontinuierlichen Daten- und Informationsaustausch zwischen Strecke und Fahrzeug über GSM-R. Der durchgehende Kontakt bietet entscheidende Vorteile gegenüber der punktuellen Datenübertragung per Transparentdatenbalise. Die Funkschnittstelle zwischen Strecke und Fahrzeug ist das Euroradio. Es ermöglicht das Senden und Empfangen von definierten Nachrichten (Messages) und ist in SUBSET-037 spezifiziert [SUB-037].

ETCS Level 2 bildet die angestrebte Ausbaustufe von ETCS in Deutschland. In Abbildung 2-7 sind die Schnittstellen und das Zusammenspiel der streckenseitigen ETCS-Infrastruktur anhand von ETCS Level 2 ohne Signale (L2oS) erläutert. In dieser Ausbaustufe werden anstelle der bisherigen ortsfesten Signale lediglich ortsfeste ETCS-Halt-Tafeln eingesetzt, welche in der betrieblichen Rückfallebene zum Einsatz kommen. Abschnitt 3.4.4 behandelt die Ausrüstungsstufe L2os detaillierter.

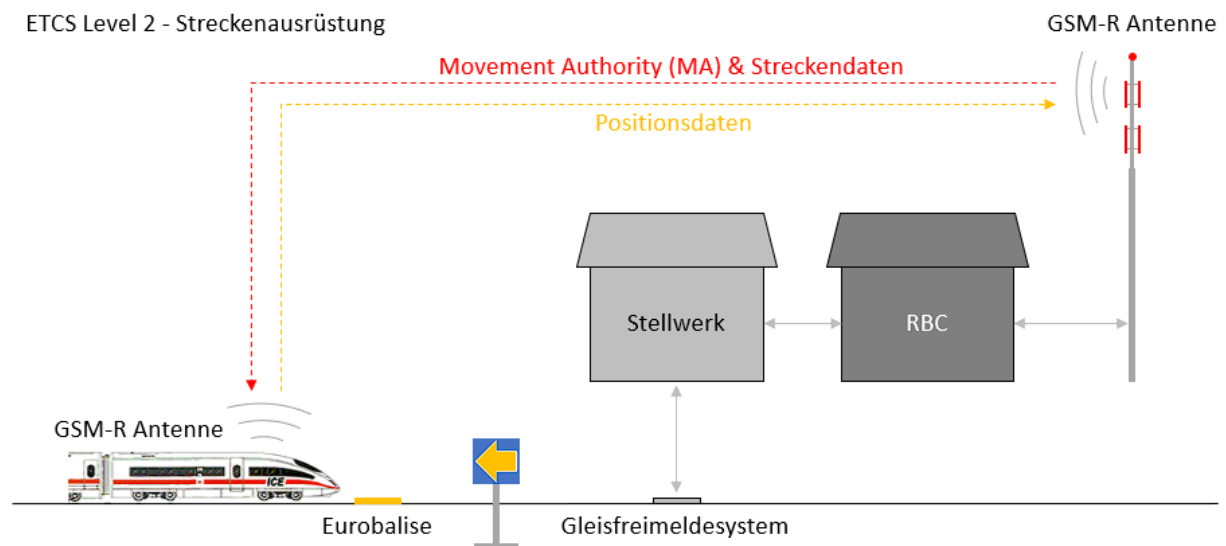


Abbildung 2-7: Schematische Darstellung der Infrastruktur ETCS Level 2 ohne Signale

Das RBC ist eine rechnergestützte Funkstreckenzentrale, welche in ihrem Kern aus einem sicheren Rechnersystem besteht. Die Hauptaufgabe des RBC besteht darin, die ETCS-geführten Züge in ihrem Zuständigkeitsbereich zu verwalten, in kontinuierlicher Funkverbindung mit den Fahrzeugen zu stehen und die Fahrterlaubnis (Movement Authority – MA) für die Fahrzeuge zu generieren. Hierzu ist das RBC über eine Schnittstelle mit dem Stellwerk verbunden. Das Stellwerk ist für das Einstellen und Überwachen der Fahrstraßen und die Übermittlung der dynamischen Streckendaten, wie z. B. die Zustandsmeldung von Weichen, Signalen und der Gleisfreimeldung bei ETCS Level 2 an das RBC verantwortlich. Entgegengesetzt

übermittelt das RBC beispielsweise Informationen zur Dunkelschaltung von konventionellen Signalen an das Stellwerk [KUN20b; SCH22].

Anhand von Abbildung 2-7 ist ersichtlich, dass das Fahrzeug seine Positionsdaten regelmäßig über GSM-R an das RBC übermittelt. Die Positionsdaten kann das RBC anschließend im Streckenatlas hinterlegen und aktualisieren. Im Streckenatlas sind alle statischen Streckeneigenschaften, wie beispielsweise Kilometrierung, Gradienten (Steigung und Gefälle) der Gleise, das Geschwindigkeitsprofil und die Referenzposition von Balisen und BG hinterlegt. Anhand der dynamischen Streckendaten des Stellwerks, den statischen Streckeneigenschaften im Streckenatlas und den Positionsmeldungen der Fahrzeuge ist das RBC in der Lage, die MA für die eingestellten Fahrstraßen zu erteilen. Laut deutscher Richtlinie ist ein RBC in der Lage bis zu 60 Züge zeitgleich zu führen [DB1343; SCH22].

Neben den bereits angesprochenen Schnittstellen besitzt das RBC weitere Kommunikationsschnittstellen zu den benachbarten RBC, auch Neighbour Radio Block Centre (NRBC) genannt. Bei der Projektierung von Stellwerken und RBC ist zu beachten, dass in Bezug auf das RBC lediglich die RBC/RBC-Übergabe-Prozedur (RBC/RBC-Handover) in SUBSET-039 und die RBC-RBC-Kommunikationsschnittstelle in SUBSET-098 spezifiziert sind [SUB-039; SUB-098]. Die Schnittstelle für den RBC/RBC-Handover an der Zuständigkeitsgrenze zwischen zwei RBC ist von entscheidender Bedeutung und wird in Kapitel 3 umfangreich erläutert. Weitere Hintergrundinformationen zur Schnittstelle zwischen Stellwerk und RBC werden in Anhang 3 erläutert. Im Sinne der Vollständigkeit werden in Anhang 4 die weiteren, möglichen Streckenkomponenten von ETCS genannt. In Abbildung 2-8 ist ein Teil der ETCS-Streckenausrüstung dargestellt. Es handelt sich um eine im Gleis montierte Balise von einer BG vor einer ETCS-Halt-Tafel (Ne 14) im Erfurter Hauptbahnhof, welche am Signalmast montiert ist.



Abbildung 2-8: Streckenausrüstung im Erfurter Hauptbahnhof für ETCS Level 2 mit Signalen in Kombination mit PZB-Ausrüstung

2.3.6 Fahrzeugseitiges Teilsystem

Die ETCS-Onboard Unit (OBU) besteht aus einer Vielzahl von Subsystemen, welche in Abbildung 2-9 dargestellt sind. Die Funktion und das Zusammenspiel dieser Subsysteme werden diesem Abschnitt zusammengefasst.

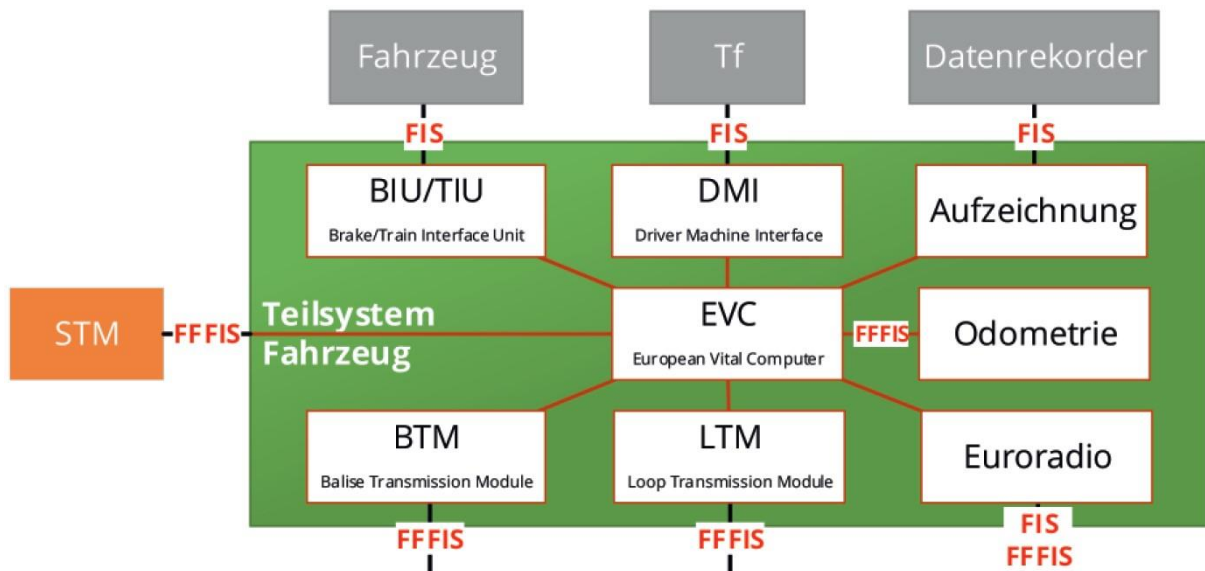


Abbildung 2-9: Darstellung der Subsysteme der OBU [KUN20c]

Der European Vital Computer (EVC) bildet das Herzstück der OBU und besteht je nach Hersteller aus einem sicheren 2-von-2- oder 2-von-3-Rechner-System. Er ist dafür

zuständig, die übermittelten Informationen der Streckeninfrastruktur auszuwerten und entsprechende Reaktionen des Fahrzeugs auszulösen. Zu seinen Aufgaben zählen die Einhaltung der ETCS-Bremskurven, die Weg- und Geschwindigkeitsüberwachung, die Verarbeitung des übermittelten Geschwindigkeits- und Gradientenprofils der Strecke, der ETCS-Fahrerlaubnis (Movement Authority – MA) und die Auswahl von ETCS Level bzw. -Betriebsart [SCH22].

Anhand der Abbildung 2-9 ist ersichtlich, dass die Schnittstellen innerhalb des Fahrzeugs unterschiedlich ausgeführt werden können. Schnittstellen, welche unmittelbar für die technische Interoperabilität notwendig sind, werden mithilfe der Form Fit Functional Interface Specification (FFFIS) definiert. Hierzu zählen z. B. die Schnittstelle zwischen Euroradio und RBC oder dem Empfangsmodul für Balisentelegramme (Balise Transmission Module – BTM) und Eurobalise. Die Functional Interface Specification (FIS) definiert Schnittstellen, welche im Sinne der betrieblichen Interoperabilität vereinheitlicht wurden. Bei der technischen Umsetzung überlassen die Spezifikationen den Herstellern mehr Freiheiten. Viele weitere Schnittstellen innerhalb der OBU sind nicht spezifiziert und können sich demnach zwischen den Herstellern unterscheiden [KUN20c].

Mithilfe der Bremswirkgruppe (Brake Interface Unit – BIU) bzw. der Fahrzeugsteuerung (Train Interface Unit – TIU) ist es möglich, die relevanten Zustandsgrößen des Fahrzeugs an den EVC zu übermitteln. Die für den Tf notwendigen Daten werden anschließend vom EVC an das modulare Führerraum-Display (Driver Machine Interface – DMI) übermittelt [SCH22]. Das DMI ist somit das zentrale Bedien- und Anzeigegerät, über welches der Tf seine Bedienhandlungen unter ETCS ausführen kann. In der folgenden Abbildung 2-10 ist das DMI in der Mitte des Führerstands eines ICE 4 zu sehen.



Abbildung 2-10: Führerstand eines ICE 4 mit DMI

Auf dem DMI werden dem Tf alle notwendigen Informationen für die Durchführung der Zugfahrt angezeigt. Die angezeigten Informationen und Symboliken sind in Abbildung 2-11 abgebildet.

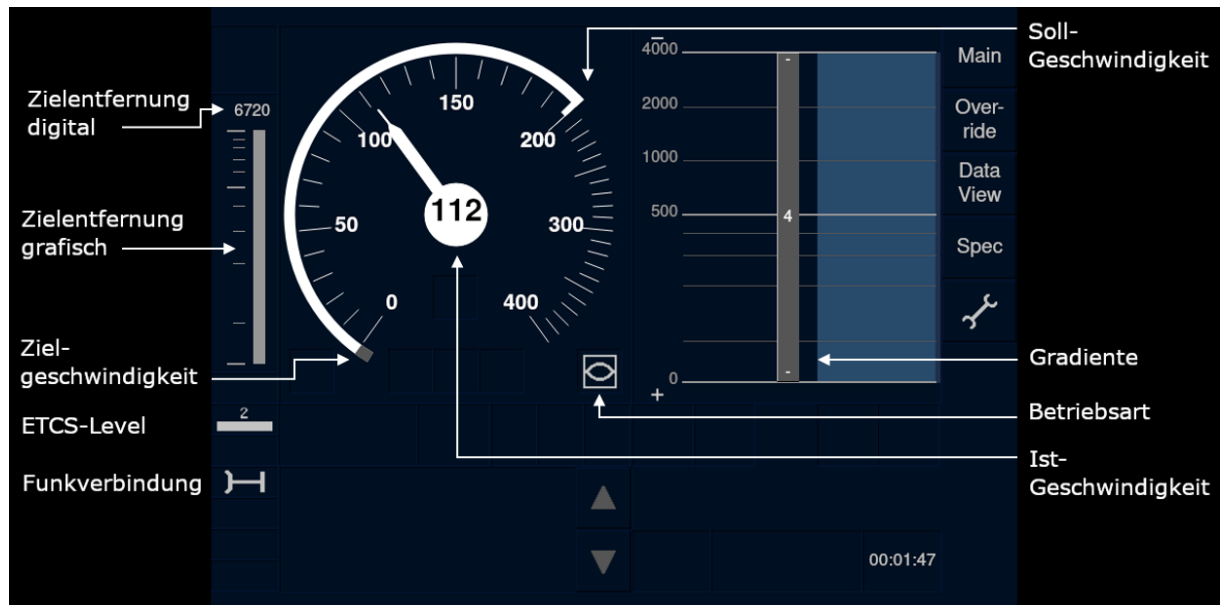


Abbildung 2-11: Darstellung der Anzeigeinformationen auf dem DMI

Das Euroradio kommt ab ETCS Level 2 zum Einsatz und ermöglicht eine verschlüsselte Funkkommunikation über GSM-R zwischen dem RBC und dem EVC des Fahrzeugs. Wenn die Funkverbindung aufgebaut ist, findet die Datenübertragung gemäß EuroRadio-Protokoll statt, welches in SUBSET-037 definiert ist [SCH22]. Das Balisenauswertesystem von ETCS-Fahrzeugen besteht aus dem BTM und der ETCS-

Fahrzeugantenne unter dem Fahrzeug. Die Antenne empfängt die von der Balise ausgesendeten Daten und übermittelt diese mithilfe des BTM an den EVC. Die Aufgabe des BTMs ist es, die Telegramme der BG unabhängig von der Befahrungsrichtung korrekt zusammensetzen, sodass eine korrekte Auswertung durch den EVC erfolgen kann (siehe Abbildung 2-12) [KUN20c].

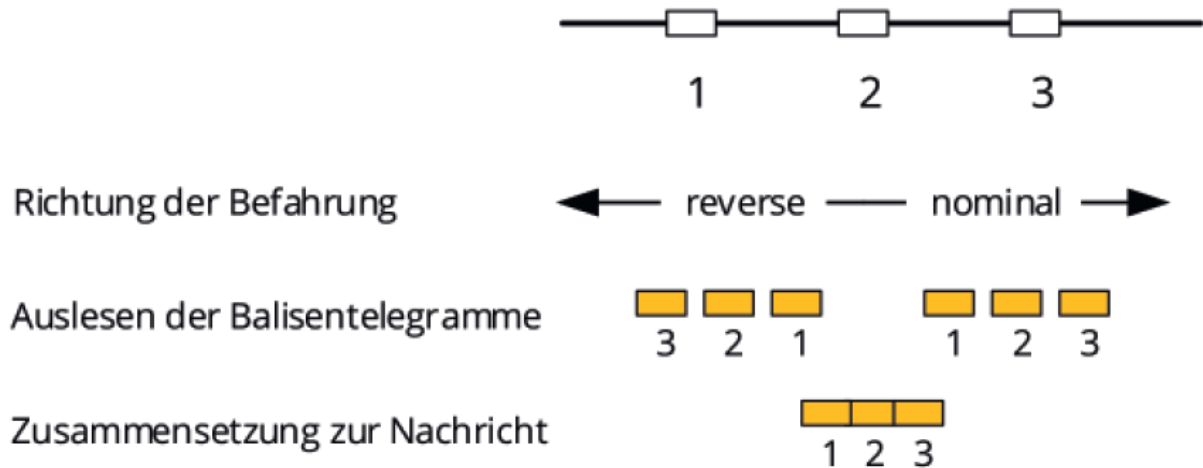


Abbildung 2-12: Auswertung von Balisentelegrammen durch die BTM [KUN20c]

Das Loop Transmission Module (LTM) und das Specific Transmission Module (STM) sind fahrzeugseitige ETCS-Teilsysteme, welche für die nachfolgenden Abschnitte keine maßgebliche Bedeutung haben. Ihre Funktionen sind im Sinne der Vollständigkeit in Anhang 5 beschrieben.

2.3.7 Datenübertragung

In den vorherigen Abschnitten 2.3.5 und 2.3.6 wurde bereits erläutert, dass der Datenaustausch (im angestrebten Zielzustand von ETCS Level 2) zwischen der Strecke und dem Fahrzeug mithilfe von Balisentelegrammen oder Euroradio-Messages möglich ist. Der Grundaufbau und die Struktur der Datenübertragung ist hierbei sehr ähnlich. Unabhängig vom Übertragungsmedium besitzt jedes Balisentelegramm und jede Message zunächst einen Header. Dieser enthält die wichtigsten Informationen für die Datenübertragung und ist für ein Balisentelegramm beispielhaft in Anhang 6 dargestellt und erläutert. Im Gegensatz zu Balisentelegrammen kann sich der Header von Radio Messages, je nach Art der Nachricht und Absender, unterscheiden. Die Struktur und Informationsgehalte der unterschiedlichen Messages sind in SUBSET-026-8 definiert [SUB-026-8].

Nach der Übermittlung des Headers erfolgt der Austausch der eigentlichen Informationen in Datenpaketen (Packet). Deren Informationsgehalt und Struktur ist in SUBSET-026-7 spezifiziert [SUB-026-7]. Die Datenpakete bestehen wiederum aus einer festgelegten Reihenfolge von Variablen. Die Variablennamen beginnen mit einem Präfix, welcher in Anhang 7 dargestellt ist und durch welchen auf die Bedeutung der Variablen geschlossen werden kann. Je nach Länge der Variablen besteht diese auf der physischen Ebene aus einer definierten Anzahl an bit [SUB-026-7].

2.3.8 Odometrie auf ETCS Level 2 Strecken

Jedes ETCS geführte Fahrzeug verfügt über eine sicherheitsrelevante Weg- und Geschwindigkeitsmessung, kurz Odometrie. Über verbaute Sensorik im Fahrzeug werden der zurückgelegte Weg, die aktuelle Geschwindigkeit und die Beschleunigung/Verzögerung des Fahrzeugs ermittelt. Die Art der verwendeten Sensoren unterscheidet sich je nach Fahrzeug und Hersteller [SCH22]. ETCS-Fahrzeuge müssen in der Lage sein, ihren eigenen Standort zu bestimmen. Das Problem besteht darin, dass das Fahrzeug über keinen Streckenatlas verfügt, in welchem die Gleisanlagen in ihrer Gesamtheit hinterlegt sind [SUB-026-3]. In Abbildung 2-13 ist eine eingestellte Fahrstraße beispielhaft dargestellt.

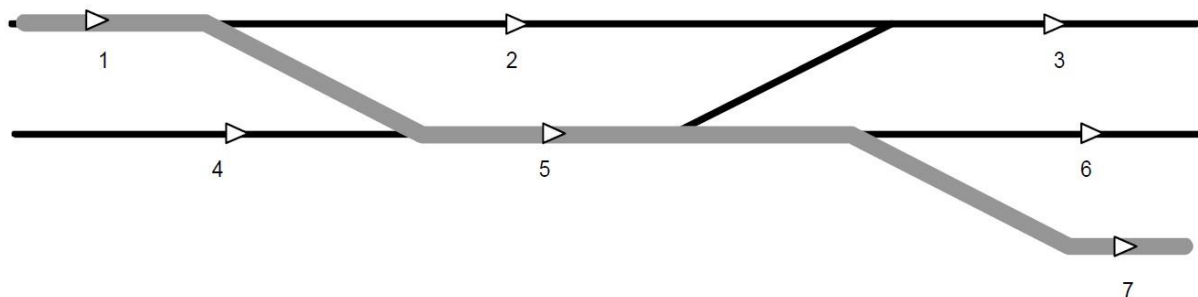


Abbildung 2-13: Eingestellte Fahrstraße im Stellwerk [SUB-026-3]

Das Fahrzeug erhält vom RBC lediglich eine lineare Beschreibung des Fahrwegs anhand der zu befahrenden BG. Für den direkten Vergleich ist in Abbildung 2-14 die eingestellte Fahrstraße aus Sicht des Zugs abgebildet.



Abbildung 2-14: Bekannter Fahrweg aus Sicht des Zugs [SUB-026-3]

Infolgedessen beziehen sich sämtliche Entfernungs- und Positionsdaten des Zuges auf die Kilometrierungsangabe der Last Relevant Balise Group (LRBG), welche das Fahrzeug zuletzt passiert hat. Die BG und Einzelbalisen im Gleis dienen somit zur Absolutortung und bestätigen beim Befahren die Position des Fahrzeugs. In Anhang 8 ist die Bedeutung der LRBG für die Odometrie detaillierter erläutert.

Zwischen zwei Ortungspunkten erfolgt die Positionsbestimmung durch eine Wegmessung anhand der Radumläufe. Die Abnutzung des Radumfangs, Schlupf der Radsätze beim Bremsen oder Beschleunigen und entsprechende Messungenauigkeiten führen zu einem linear anwachsenden Wegmessfehler und einer steigenden Ungenauigkeit der Positionsbestimmung. Die Absolutortung mithilfe einer BG oder Einzelbalise im Gleis bewirkt ein Zurücksetzen des Vertrauensintervalls, welches in Abbildung 2-15 zu sehen ist [SUB-026-3].

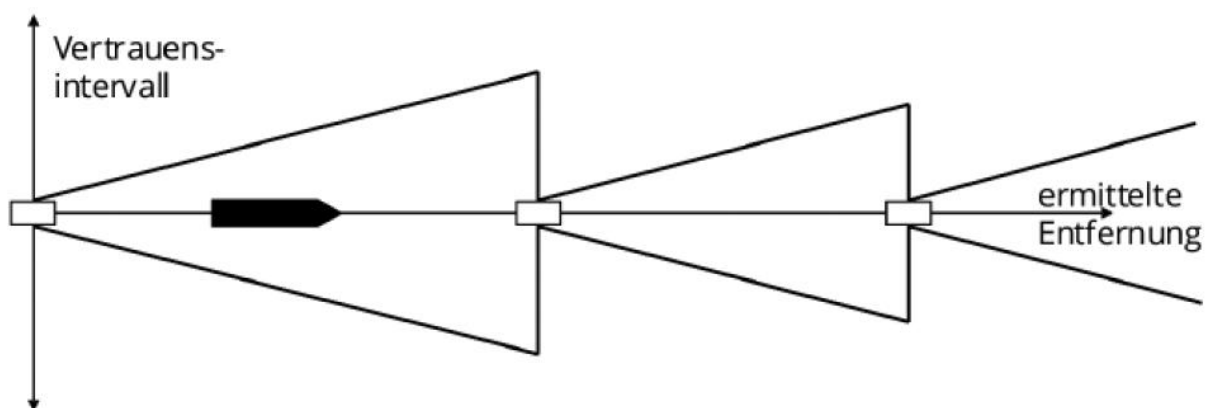


Abbildung 2-15: Vertrauensintervall bei der Positionsbestimmung von Fahrzeugen [KUN20c]

2.3.9 Verfügbare Ausrüstungsstufen/Level von ETCS

Das ETCS ist in unterschiedlichen Ausrüstungsstufen sogenannten Level verfügbar, welche sich hauptsächlich anhand der vorhandenen Streckenausrüstung und Art der Informationsübertragung unterscheiden [SCH22].

ETCS Level 0

ETCS Level 0 kommt zum Einsatz, wenn das ETCS-Fahrzeug das vorhandene Zugbeeinflussungssystem nicht beherrscht. Der Tf richtet sich bei Fahrten in ETCS Level 0 nach den konventionellen Signalen und darf die zulässige Höchstgeschwindigkeit, welche in den Nationalen Werten (National Values – NV) mit der Variable V_NVUNFIT festgelegt wird, nicht überschreiten [DBN14]. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit im Bereich der DB Netz AG und Správa železnic kann dem Anhang 9 entnommen werden.

ETCS Level National Train Control (NTC)

Die Bezeichnung ETCS Level NTC wurde mit Baseline 3 eingeführt und ersetzt die bisherige Bezeichnung ETCS Level STM. Für das ETCS Level NTC müssen die ETCS-Fahrzeuge mit einem speziellen STM ausgerüstet sein, welches es ermöglicht auf Strecken zu verkehren, welche mit dem nationalen Zugbeeinflussungssystem ausgerüstet sind. Das STM verarbeitet die eingehenden Informationen des nationalen Zugbeeinflussungssystems und übersetzt sie die „Sprache“ von ETCS [DBN14].

ETCS Level 1

ETCS Level 1 Limited Supervision weist zahlreiche Parallelen zum deutschen Zugbeeinflussungssystem PZB auf und zeichnet sich durch eine punktförmige Kommunikation zwischen Strecke und Fahrzeug aus. Die Fahrt eines Fahrzeugs ist signalgeführt, wodurch der Tf die angezeigten Begriffe an den konventionellen Signalen beachten muss und im Bereich der DB Netz AG auf eine Höchstgeschwindigkeit von 160 km/h begrenzt. Die MA wird durch das Stellwerk generiert und mithilfe der Lineside Electronic Unit (LEU) an die ortsfesten Signale und Eurobalisen im Gleis übermittelt. Die Informationen der MA werden beim Befahren der Balisen vom Fahrzeug ausgelesen. ETCS Level 1 ist in weiteren Spezifikationen, wie z. B. Full Supervision oder unter Nutzung von GSM-R in Form der Radio Infill Unit (RIU) verfügbar [DBN14].

ETCS Level 2

Die streckenseitige ETCS-Infrastruktur wurde in Abschnitt 2.3.5 bereits detailliert beschrieben. In Abbildung 2-16 ist zudem das fahrzeugseitige ETCS-Teilsystem mit abgebildet, um die Gesamtfunktionalität im Folgenden zu beschreiben.

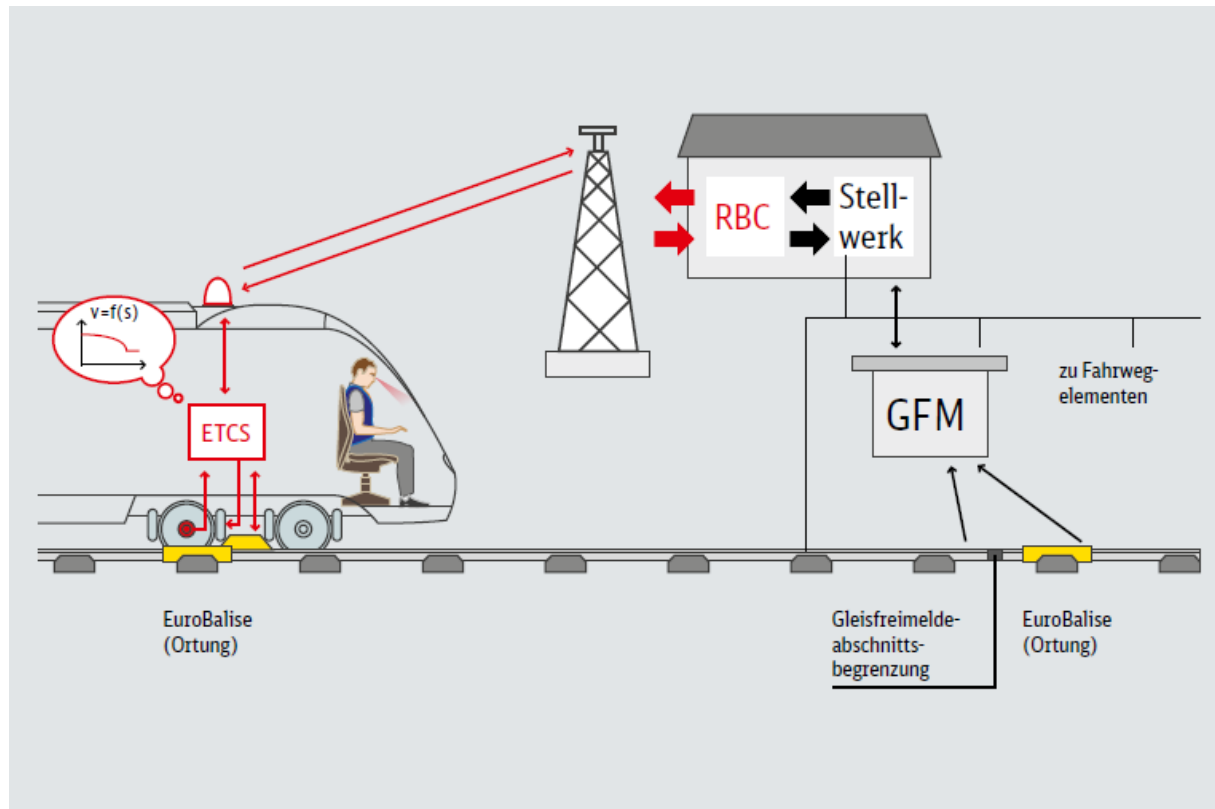


Abbildung 2-16: ETCS Level 2 ohne Signale [DBN14]

Grundvoraussetzung für die Anwendung von ETCS Level 2 ist die Anbindung des RBC an das Stellwerk und eine lückenlose GSM-R-Funkabdeckung entlang der zu befahrenden Strecke. ETCS Level 2 erlaubt Geschwindigkeiten von über 160 km/h und bildet somit den Nachfolger der bisherigen LZB. Das Stellwerk ist analog zu ETCS Level 1 für die Sicherung der Fahrstraßen und Überwachung der Gleisfreimeldung zuständig und teilt diese Informationen dem RBC mit. Das RBC steht in kontinuierlichem Funkkontakt mit dem ETCS-Fahrzeug und generiert auf Grundlage seiner Positionsmeldungen und den Informationen des Stellwerks die MA. Bei den im Gleis verlegten Balisen handelt es sich fast ausschließlich um Festdatenbalisen für die Ortung des Fahrzeugs. Die ununterbrochene Kommunikation zwischen Strecke und Fahrzeug mittels GSM-R ermöglicht es, alle notwendigen Informationen, wie z. B. die Länge der MA für die Fahrt direkt auf dem DMI des Triebfahrzeugführers anzuzeigen. Der Tf kann die Fahrt somit anzeigegeführt durchführen.

ETCS Level 2 gibt es in zwei Ausrüstungsvarianten. Bei ETCS Level 2 ohne Signal (L2oS) wird entlang der Strecke auf konventionelle Signale verzichtet. Als betriebliche Rückfallebene werden entlang der Strecke lediglich Tafeln aufgestellt [DBN14; SCH22]. Die Alternative zu ETCS L2oS ist ETCS Level 2 mit Signalen (L2mS). Diese Ausrüstungsform kommt vornehmlich bei der Aufrüstung von Bestandsstrecken zum Einsatz, da diese zumeist mit dem nationalen Zugbeeinflussungssystem und konventionellen Signalen ausgerüstet sind. Die vorhandenen Signale entlang der Strecke können weiterhin von Fahrzeugen ohne ETCS-Ausrüstung oder als betriebliche Rückfallebene genutzt werden. Fahrten unter ETCS finden anzeigegeführt statt und die Signale entlang der Fahrstraße zeigen den Fahrtbegriff oder werden dunkel geschaltet.

ETCS Level 2 ist die angestrebte Ausrüstungsstufe der DB Netz AG für nahezu jede ETCS-Strecke in Deutschland. Für die Ausrüstung der NBS Dresden-Prag wird explizit die Ausrüstungsstufe L2oS geplant, welche in Abbildung 2-16 dargestellt ist.

ETCS Level 3

Die Zukunftsvision von ETCS ist das Level 3. Die Grundfunktionen sind hierbei vergleichbar mit denen des ETCS Level 2. Der Unterschied besteht darin, dass Züge in ETCS Level 3 eine Zugvollständigkeitsprüfung durchführen müssen. Mit der erfolgreichen Zugvollständigkeitsprüfung bestätigt jeder Zug dem RBC, dass sich kein Fahrzeug oder Eisenbahnwagen während der Fahrt aus dem Zugverband abgekoppelt hat und auf der Strecke liegengeblieben ist. In diesem Fall kann auf die streckenseitige Gleisfreimeldung mit statischen Freimeldeabschnitten verzichtet werden [DBN14]. Das Fahren von Zügen wäre somit im wandernden Raumabstand (Moving Block) möglich und kann auf hochausgelasteten Strecken zu Kapazitätserhöhungen führen. Die Zugvollständigkeitsprüfung ist für Triebzüge, wie z. B. ICE bereits heute realisierbar. Güterzüge, welche neu zusammengestellt werden, sind jedoch bisher nicht in der Lage eine Zugvollständigkeitsprüfung durchzuführen.

2.3.10 ETCS-Betriebsarten

ETCS bietet für die unterschiedlichen Betriebsabläufe und Anforderungen standardisierte Betriebsarten (Modes). Jede dieser Betriebsarten besitzt angepasste Überwachungsfunktionen. In der nachfolgenden Abbildung 2-17 sind die verfügbaren ETCS-Betriebsarten in Kategorien eingeteilt und übersichtlich dargestellt [KUN20e].



Abbildung 2-17: Überblick zu den ETCS Betriebsarten
[KUN20e]

Im Folgenden werden die Betriebsart Full Supervision (FS) für die Fahrten im Regelbetrieb und die Betriebsart Staff Responsible (SR) als Rückfallebene näher betrachtet.

Die Betriebsart FS bezeichnet die Vollüberwachung des Fahrzeugs. Das Fahrzeug wechselt automatisch in die kontinuierliche Überwachung, wenn es per GSM-R mit dem RBC verbunden ist und von diesem eine MA sowie alle notwendigen Informationen zum Geschwindigkeits- und Gradientenprofil der zu befahrenden Strecke erhalten hat. Entscheidend ist, dass das Geschwindigkeits- und Gradientenprofil ab der Zugspitze bekannt ist, sodass es dem Tf im DMI angezeigt werden kann. Der Tf kann die Betriebsart FS nicht manuell aktivieren. Ist das Fahrzeug in der FS, so werden auf dem DMI die aktuelle Zuggeschwindigkeit, die zulässige Höchstgeschwindigkeit, der Abstand zum Ziel der MA und die Zielgeschwindigkeit angezeigt. Während der gesamten Zeit prüfen Überwachungskurven das Geschwindigkeitsprofil und führen bei Verstößen zu einer sicherheitsgerichteten Reaktion des Zugs. Der Einsatz von FS ist in ETCS Level 1, Level 2 und Level 3 möglich [SUB-026-4].

Wie bereits erwähnt, dient die Betriebsart SR als Rückfallebene und ist in ETCS Level 1, Level 2 und Level 3 verfügbar. Die Betriebsart SR wird eingesetzt, wenn die Position des Fahrzeugs unbekannt ist. Dies ist z. B. beim Aufstarten von ETCS-Fahrzeugen der Fall. Steht ein Fahrzeug auf einem Gleis bereit, so kann es sich in das GSM-R-Netz einwählen und eine Verbindung zum RBC aufbauen. Es ist jedoch nicht in der Lage dem RBC seine Position mitzuteilen, solange es noch keine Balise oder

BG als Ortungspunkt befahren hat. In diesem Fall liegen dem Fahrzeug noch keine Informationen über den vor ihm liegenden Fahrweg vor, sodass der Tf das Freisein des Fahrwegs und die Lage der Weichen überprüfen und die ortsfesten Signale beachten muss. Im Bereich der DB Netz AG und der Správa železnic überwacht das Fahrzeug in der Betriebsart SR die maximal zulässige Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h [SCH22; DB0701].

2.4 Global System for Mobile Communications – Rail(way) (GSM-R)

Das Digitalfunksystem GSM-R entspricht einer Erweiterung des weltweit verbreiteten GSM-Standards und ist ausschließlich für den Einsatz bei den Eisenbahnen konzipiert. Das GSM-R ersetzt im Wesentlichen die veralteten, analogen Funkssysteme, welche bisher die Kommunikation zwischen Fahrdienstleiter (Fdl) und Tf ermöglichten. Der große Vorteil von GSM-R besteht darin, dass es sowohl für mobilen Sprachfunk als auch für mobilen Datenfunk eingesetzt werden kann. Die Netzwerkarchitektur von GSM-R entspricht der des klassischen GSM-Mobilfunknetzes. Es ist ein modular aufgebautes Netz mit verschiedenen Schichten und standardisierten Netzelementen [DBN23c; KUN20d]. Auf die Anforderung des GSM-R-Funksystems bei der DB Netz AG wird in Abschnitt 3.4.6 näher eingegangen. Die Netzwerkarchitektur von GSM-R ist in Anhang 10 detailliert beschrieben.

GSM-R bietet gegenüber dem herkömmlichen GSM zusätzliche Funktionen für den Einsatz im Eisenbahnbetrieb. Zu den bahnspezifischen Funktionen zählen beispielsweise die Möglichkeit der funktionalen Adressierung, dem ortsabhängigen Verbindungsaufbau und Advanced Speech Call Items (ASCI). Die ASCI ermöglichen es z. B. Sammelrufe oder Gruppenrufe durchzuführen. Von besonderer Bedeutung ist der enhanced Multi-Level Precedence and Preemption Service (eMLPP). Dieser Dienst ermöglicht es GSM-R-Verbindungen zu priorisieren und einen schnellen Verbindungsaufbau durchzuführen. Durch die Priorisierung ist es möglich, Verbindungen mit niedriger Priorität zu verdrängen. Die höchste Priorität ist ausschließlich dem Absetzen von Bahnnotrufen vorbehalten [SCH22]. Aufgrund der beschriebenen Vorzüge von GSM-R, ist es ab ETCS Level 2 grundlegender Bestandteil von ERTMS. Für eine hohe Verfügbarkeit bei der Funkabdeckung entlang der Strecke werden vorwiegend Richtfunkantennen auf den GSM-R-Masten eingesetzt. Auf diese Weise entsteht ein Liniennetz, bestehend aus GSM-R-Funkzellen, entlang der ETCS-Strecken.

In den Grundlagen zum ETCS wurde bereits in Abschnitt 2.3.5 erläutert, dass ab der Ausbaustufe von ETCS Level 2 eine kontinuierliche GSM-R-Funkverbindung zwischen den Fahrzeugen und der Strecke bestehen muss. Um diesen Anforderungen im eigenen Streckennetz gerecht zu werden, definiert die DB Netz AG in ihrer Richtlinie 859.1202 die Funkversorgungswahrscheinlichkeit und Versorgungspegel für die unterschiedlichen Streckentypen. In der DB-Richtlinie ist der Versorgungspegel als Feldstärke an der Empfangsantenne auf dem Zugdach definiert. Der Versorgungspegel muss mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %, bezogen auf 100 m-Intervalle, erreicht werden [DB1202]. In der Abbildung 2-18 ist der mit zunehmender Entfernung abnehmende GSM-R-Pegel dargestellt.

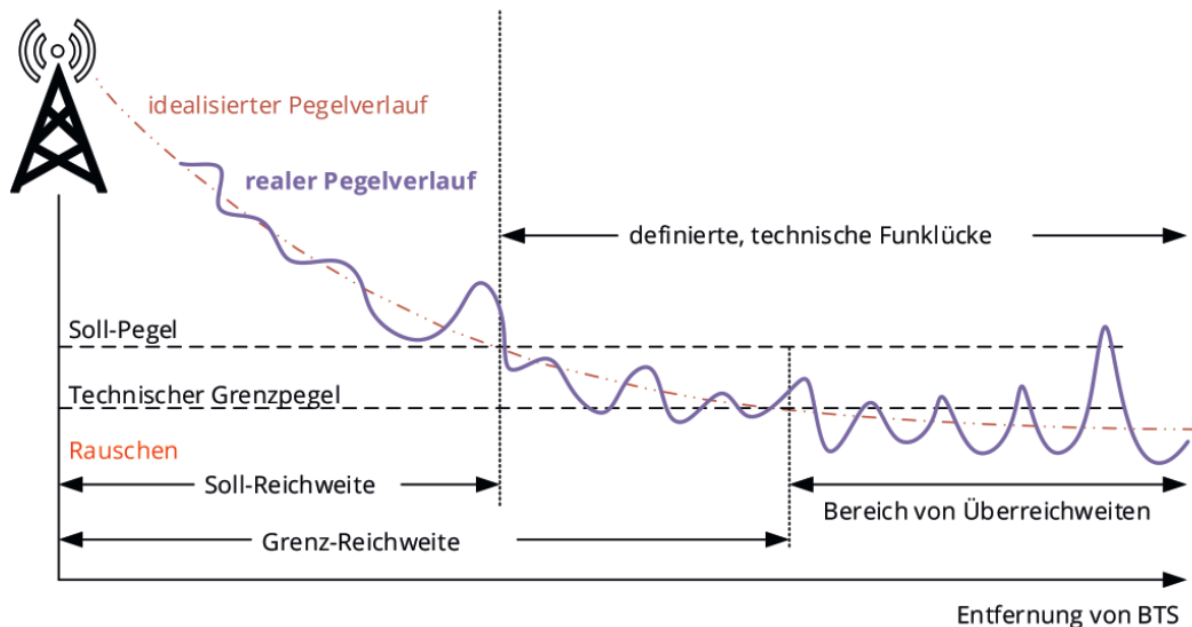


Abbildung 2-18: Pegelverlauf einer GSM-R-Basisstation (Base Transceiver Station) [KUN20d]

Der in Abbildung 2-18 dargestellte Pegelwert wird als 50 %-Wert angenommen, d. h., dass 50 % der Pegelwerte besser und 50 % der Pegelwerte schlechter als der dargestellte idealisierte Pegelverlauf sein können. Der GSM-R-Versorgungspegel wird in einen mittleren Planungspegel umgerechnet und ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Funkversorgung bei ETCS im Streckennetz der DB Netz AG [DB1202]

Streckenstandards	GSM-R-Versorgungspegel	Mittlerer Planungspegel
P300	-92 dBm	-81 dBm
P230 / M230	-95 dBm	-84 dBm
M160 / P 160	-95 dBm	-84 dBm
G120 / R120 / R80 / G50	-95 dBm	-84 dBm

Die GSM-R-Funkstationen entlang der Strecke bilden jeweils einzelne Funkzellen und werden durch ein RBC verwaltet. Die Funkbasisstationen werden in einem projektierten Abstand errichtet, sodass sich die Ränder der Funkzellen überlappen (siehe Abbildung 2-19). Der Streckenbereich, welcher von einer Funkzelle abgedeckt wird, richtet sich nach der zulässigen Streckengeschwindigkeit. Die Richtlinie 859.1202 schreibt vor, dass die Verweildauer der GSM-R-Endgeräte mehr als 20 s betragen soll [DB1202].

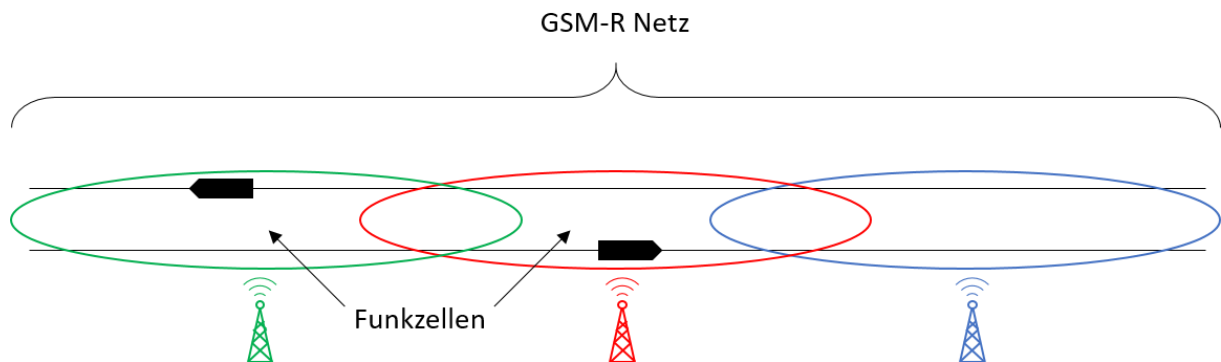


Abbildung 2-19: Anordnung der GSM-R-Funkzellen entlang der Strecke

Fällt die Funkverbindung zwischen Strecke und Fahrzeug trotz der GSM-R-Überlappungsbereiche aus, so ist in den National Values (NV) des ETCS die Variable $T_NVCONTACT$ definiert, welche die maximal zulässige Dauer der GSM-R-Funkunterbrechung festlegt. Kann der Zug innerhalb dieser Zeitdauer die Verbindung zum GSM-R-Netz wiederherstellen, findet keine Zugbeeinflussung statt. Ist dies nicht der Fall, so definiert die ETCS-Variable $M_NVCONTACT$ die Sicherheitsreaktion des Fahrzeugs. Im Bereich der DB Netz AG gilt für die ETCS-Variable $T_NVCONTACT = 40\text{ s}$ und $M_NVCONTACT = 1$, was einer Zwangsbetriebsbremsung entspricht. Im Bereich der Správa železnic gilt stattdessen $T_NVCONTACT = 180\text{ s}$ und ebenfalls $M_NVCONTACT = 1$.

Durch die Abkündigung der GSM-Funktechnik ab 2030 ist die Einführung eines Nachfolgersystems notwendig. Der Nachfolger von GSM-R ist das Future Railway Mobile Communication System (FRMCS). FRMCS wird bereits seit mehreren Jahren durch die UIC, auf Grundlage des 5G Standards, entwickelt [KUN20d].

3 ETCS-Transitionen an Staatsgrenzen

3.1 Notwendigkeit von ETCS-Transitionen an Staatsgrenzen

An Staatsgrenzen erfolgt eine Transition im ETCS, welche sich in einem Wechsel des nationalen GSM-R-Netzes, des zuständigen RBC, der Ausrüstungsstufe, der Betriebsart, der Bahnstromversorgung und weiterer ETCS-Teilsysteme äußern kann [WEN21]. Aufgrund der Komplexität und zahlreichen Varianten von ETCS gibt es eine Vielzahl an möglichen Szenarien und Kombinationen für ETCS-Transition an Staatsgrenzen. Das Ziel der Abschnitte 3.2 bis 3.5 ist es, eine Art Ablaufplan für zukünftige Transitions-Entwicklungen zusammenzustellen. Die gewonnenen Erkenntnisse in dieser Diplomarbeit über die zu beachtenden Einflussgrößen sollen es ermöglichen, die notwendigen Rahmenbedingungen effizienter zu ermitteln.

Die zu untersuchenden Sachverhalte werden in Abschnitte 3.2 bis 3.5 oftmals anhand der bekannten deutschen Regelungen und Richtlinien der DB AG erläutert. Im Rahmen dieser Diplomarbeit war es beispielsweise nicht möglich die tschechischen Planungsspezifikationen im Detail zu ermitteln. Aufgrund des Projektbezugs dieser Diplomarbeit zur NBS Dresden-Prag liegt der Betrachtungsschwerpunkt auf ETCS Level 2 – Level 2 Übergängen.

3.2 Rechtliche Grundlagen

Die Eisenbahn-Bau und Betriebsordnung (EBO) regelt in § 3a für Grenzbetriebsstrecken und Durchgangsstrecken in Absatz (1):

„Auf Grenzbetriebsstrecken und Durchgangsstrecken dürfen anstelle der Vorschriften des zweiten bis fünften Abschnitts mit Ausnahme des § 11 die entsprechenden Vorschriften des Nachbarstaates angewendet werden.“ [EBO19].

Diese Regelung ermöglicht es, den Ort der ETCS-Grenztransition und alle weiteren betrieblichen und technischen Systemgrenzen zu variieren, sodass diese nicht an die Lage der Staatsgrenze gebunden sind [BRU21]. In der folgenden Abbildung 3-1 ist die mögliche Lage der Systemgrenze nach Kategorien unterteilt und eingezeichnet.

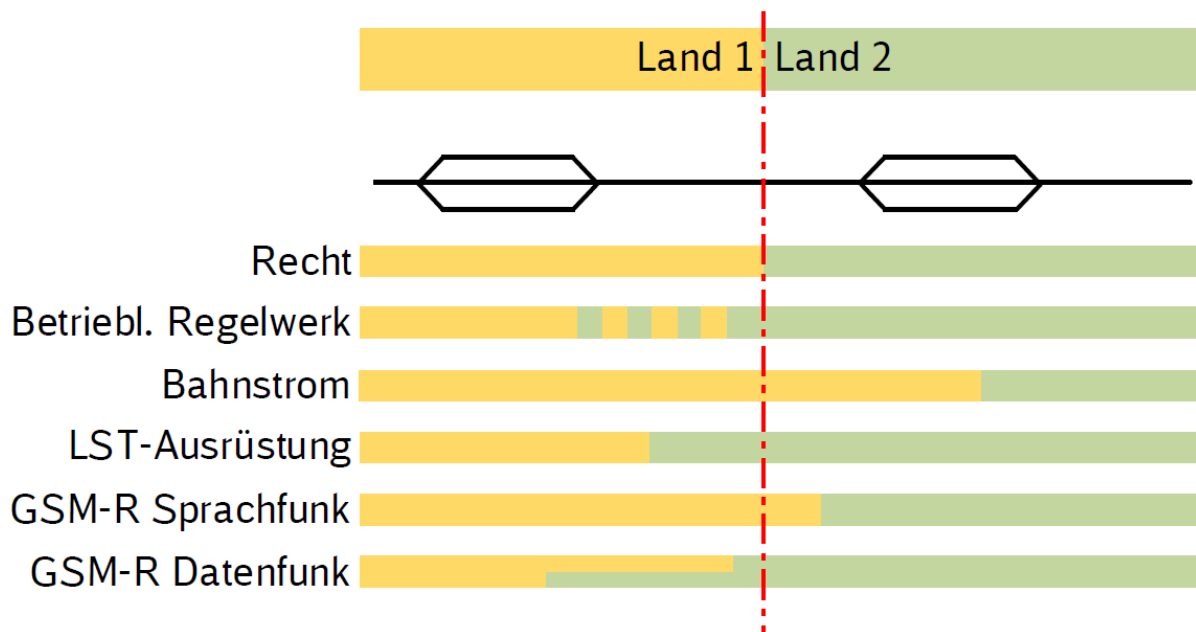


Abbildung 3-1: Mögliche Zuständigkeitsbereiche an einer Grenzbetriebsstrecke [BRU22]

Der Abbildung 3-1 ist zu entnehmen, dass lediglich die rechtliche Grenze an die Staatsgrenze gebunden ist. Alle weiteren Systemgrenzen sind aus rechtlicher Sicht variabel und entlang der Grenzbetriebsstrecke verschiebbar. Somit ist es möglich, deren Lage in Abhängigkeit von geographischen Einflüssen und der Trassierung der Strecke anzupassen, um eine technisch und wirtschaftlich effiziente Planung vorzunehmen und einen optimalen Betriebsablauf zu ermöglichen.

In der folgenden Betrachtung wird der Schwerpunkt auf die Aspekte der ETCS-Ausrüstung und GSM-R-Funk gelegt. Die weiteren Aspekte werden zwar andiskutiert, jedoch nicht vollumfänglich dargestellt.

3.3 Geographische Lage der Transition

Zunächst gilt es zu klären, an welcher Stelle der Grenzstrecke die ETCS-Transition stattfinden soll. Im Idealfall befindet sich die geographische Staatsgrenze auf der freien Strecke ohne Abzweigstellen zwischen zwei benachbarten Betriebsstellen und es ist ausreichend Platz für die ETCS-Transition verfügbar. In den meisten Fällen gibt es jedoch Zwangspunkte, wie z. B. Bahnhöfe oder Abzweigstellen, welche bei der Planung und Umsetzung beachtet und eingehalten werden müssen. Eine ETCS-Transition in der Nähe eines Grenzbahnhofs oder einer Betriebsstelle ist komplexer und stellt höhere Anforderungen an die Projektierung.

Beim Aus- bzw. Neubau von Strecken müssen, unabhängig von der ETCS-Ausrüstung, bauliche oder topologische Zwangspunkte bei der Planung eingehalten werden. Zu diesen Zwangspunkten zählen beispielsweise Bahnübergänge, Brückenbauwerke und Tunnel. Vor allem bei Brücken und Tunneln ist darauf zu achten, dass der verfügbare Raum und die Erreichbarkeit von Anlagen für Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten, sowie Rettungseinsätze stark eingeschränkt sind. Um die Sicherheit aller Personen im Havariefall gewährleisten zu können, sind Einschränkungen im Planungsprozess frühzeitig zu beachten und müssen zwingend in die Erstellung der Rettungs- und Sicherheitskonzepte einfließen. Zum Entstehungszeitpunkt dieser Diplomarbeit ist kein realisierter RBC-Handover an Landesgrenzen in einem Tunnel in Europa bekannt. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, grundsätzlich die ETCS-Grenztransition vor oder hinter solchen Bauwerken durchzuführen. Speziell bei großen Tunnellängen ist dabei zu beachten, dass beispielsweise die Stellentfernungen von Elektronischen Stellwerken (ESTW) begrenzt sind oder gesendete Signale durch Repeater verstärkt werden müssen. Außerdem dürfen das zu errichtende Stellwerksgebäude oder GSM-R-Funkanlagen keinesfalls Flucht- und Rettungswege behindern oder Feuerwehrezufahrten unzulässig verengen. Zusätzlich muss bedacht werden, dass die technischen Anlagen regelmäßig inspiziert und instandgehalten werden müssen.

Neben der technischen Herausforderung gilt es zumeist auch die individuellen Standpunkte und Interessen frühzeitig zu klären. Es sollte ein Stakeholdermanagement organisiert werden, wodurch alle betroffenen Interessengruppen in derartige Projekte einbezogen werden. Zu den Stakeholdern zählen z. B. politische Vertreter und Behörden beider Länder, Vertreter der beteiligten EIU, die örtlichen Bezirksleiter der Instandhaltungsgewerke und des Eisenbahnbetriebs, Vertreter von Städten, Gemeinden und Kommunen, Vertreter von Einsatzkräften (Feuerwehr und Polizei), Verbände, Einzelpersonen, u. v. m. Soll z. B. ein Land allein die Zuständigkeit für einen langen Tunnel im Grenzgebiet erhalten so ist es meist notwendig, dass es Infrastruktur auf dem Staatsgebiet des Nachbarlandes errichtet und instand hält. Dazu müssen aufwendige Staatsverträge zwischen den Nachbarstaaten ausgehandelt und abgeschlossen werden.

Nicht zu vernachlässigen sind die Trassierung und die Gradienten (Steigung und Gefälle) der Strecke. Technisches Versagen kann in der praktischen Anwendung dazu führen, dass die ETCS-Transition fehlschlägt und das Fahrzeug an der definierten

Grenze anhalten muss. Die angesprochenen Einflussgrößen haben Auswirkungen auf den vorgeschriebenen Fahrplan und die Fahrdynamik der Fahrzeuge. Beispielsweise verlängert sich der Beschleunigungsweg von schweren Güterzügen merklich, wenn diese in der Steigung wieder anfahren und beschleunigen müssen.

Weiterhin dürfen die Schnittstellen zu anderen Bereichen des Bahnkörpers nicht negativ beeinflusst werden. Hierzu zählt die Systemtrennstelle der Oberleitungsanlage, wenn beide Staaten über unterschiedliche Bahnstromsysteme auf der Oberleitung verfügen.

3.4 Technische ETCS-Ausrüstung

Aufgrund der Komplexität der ETCS-Systemarchitektur und den zahlreichen Komponenten gibt es eine Vielzahl an Schnittstellen und Kommunikationsverbindungen, deren Funktionalität bei einer ETCS-Transition sichergestellt werden muss. Die betrachteten Schnittstellen der ETCS-Systemumgebung an Landesgrenzen sind in Abbildung 3-2 dargestellt. Es sei darauf verwiesen, dass es sich um eine vereinfachte Darstellung handelt. In den folgenden Abschnitten werden die notwendigen Spezifikationen im Sinne der technischen Interoperabilität erläutert.

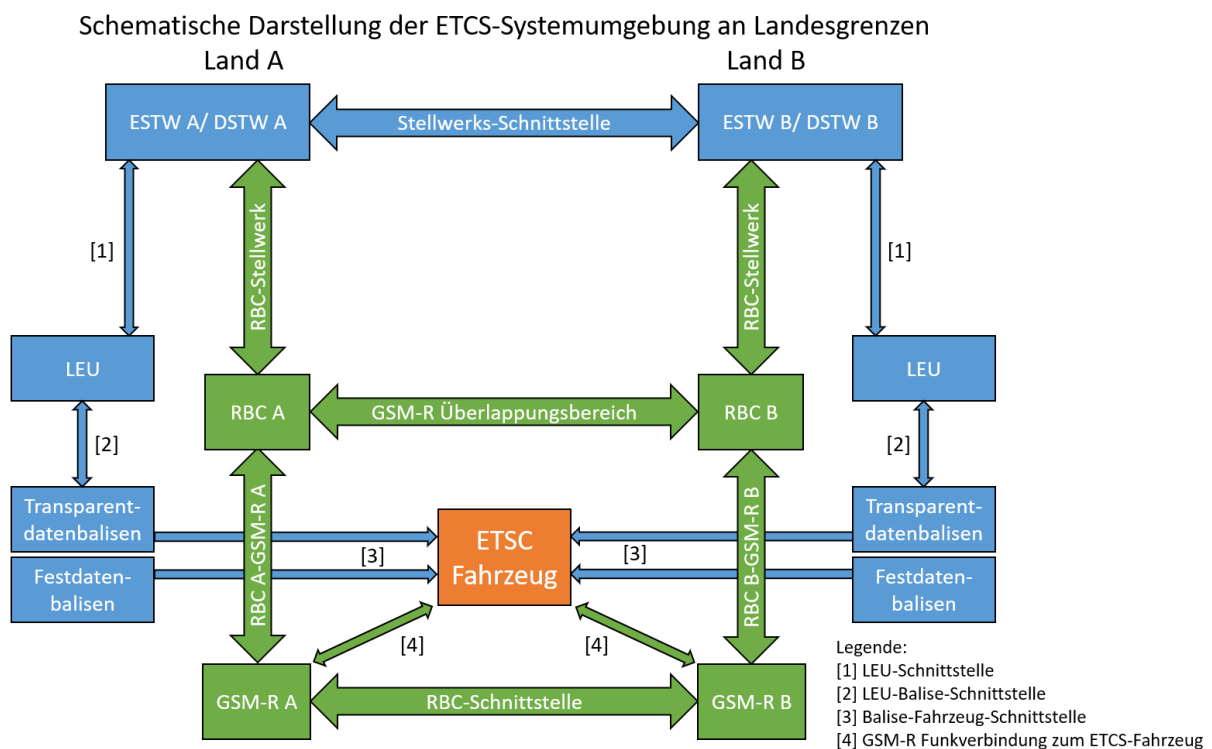


Abbildung 3-2: Vereinfachte Darstellung der möglichen Schnittstellen einer ETCS-Grenztransition

3.4.1 Kompatibilität der Streckeninfrastruktur

In den Abschnitten 2.3.2 und 2.3.3 wurde das ETCS-Versionenmanagement bereits umfangreich erläutert. Hierbei wurde dargestellt, dass nicht alle ETCS-Spezifikationen zueinander kompatibel sind. Daher muss so früh wie möglich festgelegt werden, welche ETRMS/ETCS Baseline, SRS und SV die beteiligten EIU auf ihren ETCS-Strecken einsetzen bzw. auf der Grenzbetriebsstrecke einsetzen wollen. Anhand dieser ETCS-Spezifikationen lässt sich abschätzen, welche Maßnahmen notwendig sind, um eine grundsätzliche Interoperabilität auf der Grenzbetriebsstrecke unter ETCS zu gewährleisten. Im Optimalfall setzen beide Nachbarstaaten die gleiche und kompatible Baseline, SRS und SV ein.

Unterschiedliche Baselines stellen eine schwierige Ausgangssituation dar. Diese sind grundsätzlich zueinander inkompatibel, sodass z. B. ein RBC-Handover ab ETCS Level 2 derzeit nicht möglich ist. Um dennoch die Interoperabilität zwischen einer Baseline 2 Strecke und einer Baseline 3 Strecke herzustellen, sind unterschiedliche Varianten anwendbar, welche in der Masterarbeit „Entwicklung eines ETCS-Transitionskonzepts an RBC-Wechseln und Landesgrenzen“ von D. Wendt [WEN21] untersucht und bewertet wurden. Als mögliche Lösungen kommen die Aufrüstung der Baseline 2-Strecke zur Baseline 3-Strecke, die Einrichtung eines Übergangsbereich mit dem ETCS Level NTC und die Einrichtung eines Übergangsbereich mit dem ETCS Level 1 und der Betriebsart FS in Frage. Alle Varianten beinhalten entscheidende Vor- und Nachteile, welche in der Masterarbeit [WEN21] detailliert nachvollzogen werden können. Somit lässt sich in diesem Fall keine pauschale Aussage über eine Vorzugsvariante treffen, da die Vor- und Nachteile entsprechend der Projektbedingungen abgewogen werden müssen.

Das Problem einer unterschiedlichen SV wurde bereits in Abschnitt 2.3.3 beschrieben und erläutert. Als mögliche Lösung für dieses Problem kommt eine ETCS-Transition von SV 1.Y nach SV 2.Y in Frage, welche in der ENGINEERING GUIDELINE – 66 der EEIG ERTMS Users Group beschrieben wird. Alternativ besteht die Möglichkeit bei ETCS Level 2 - Level 2 Transitionen auf eine RBC-Kopplung zu verzichten. In diesem Fall spricht man bei der ETCS Transition von einem „Simply Handover“, welcher seit dem Jahr 2020 auf der Grenzbetriebsstrecke zwischen Břeclav (Tschechien) – Bernhardsthal (Österreich) in Betrieb ist [VOJ20].

3.4.2 Kompatibilität der Fahrzeuge

Wenn ein Fahrzeug die Streckeninfrastruktur eines anderen Landes befahren soll, muss es die streckenseitigen Anforderungen erfüllen und zugelassen sein [BRU21]. Im Bereich der DB Netz AG bedeutet das, dass das Fahrzeug die Technische Netzzugangsbedingungen (TNB) erfüllen muss. In den TNB sind grundlegende Vorgaben und Anforderungen an die Schienenfahrzeuge definiert. Beispielsweise benötigen alle Fahrzeuge eine Nennspurweite von 1435 mm und Fahrzeuge mit einem elektrischen Antrieb einen Hauptstromkreis für AC 15 kV und 16,7 Hz, um das Schienennetz der DB Netz AG zu befahren. Im Sinne der Zugleit- und Sicherungstechnik formulieren die TNB in gleicher Weise die Anforderungen an die ETCS-Ausrüstung von Fahrzeugen, sowie die Nutzungsbedingungen von GSM-R. In Hinblick auf die ETCS-Grenztransition sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass im Streckennetz der DB Netz AG jedes ETCS Fahrzeug mit insgesamt zwei GSM-R ETCS-Mobilstationen (Mobile Terminals) ausgerüstet sein muss, welche wiederum aus einem GSM-R-Funkmodul (ETCS Data only Radio - EDOR) und einer eigenen GSM-R-Antenne bestehen. Hierbei wird weiterhin auf die Technischen Spezifikationen für Interoperabilität (TSI) mit den zutreffenden SUBSET verwiesen [DBN22]. Auf diese Weise wird die technische Kompatibilität zwischen ETCS-Fahrzeug und ERTMS/ETCS-Streckenausrüstung sichergestellt.

Die TNB setzen voraus, dass die EVU die Baseline/SRS und Kompatibilität ihrer ETCS-Fahrzeugflotte kennen, um problemlos auf den ETCS-Grenzstrecken verkehren zu können. Falls neben ETCS noch die konventionellen und nationalen Zugbeeinflussungssysteme verbaut und im Betrieb sind und das Fahrzeug über ein entsprechendes STM-Modul verfügt, ist es alternativ möglich das Klasse-B-System zu verwenden.

3.4.3 Stellwerk

Anhand von Abbildung 3-2 ist ersichtlich, dass Stellwerke unter ETCS weiterhin eines der zentralen Elemente für die Leit- und Sicherungstechnik im Schienenverkehr sind. Aufgrund der komplexen Schnittstellen zum RBC und zu benachbarten Stellwerken kommen in der Praxis lediglich die Stellwerksbauformen des Elektronischen Stellwerks (ESTW) und des Digitalen Stellwerks (DSTW) für ETCS-Strecken in Frage. Theoretisch ist die Anbindung eines RBC an ein Relaisstellwerk technisch möglich, jedoch steht der Projektierungs- und Migrationsaufwand in keinem Verhältnis zum

Hochrüsten auf ein ESTW oder DSTW. Auf Grenzstrecken sind daher die vorhandene Stellwerksbauform und deren Hochrüstbarkeit unbedingt vorab zu prüfen [KA20].

In Abschnitt 2.3.5 wurde darauf eingegangen, dass lediglich die Schnittstelle zwischen Stellwerk und Eurobalisen in SUBSET-036 und die Schnittstelle zwischen Stellwerk und Euroloop in SUBSET-044 spezifiziert sind. Weitere Schnittstellen, wie z. B. zwischen RBC und Stellwerk, sind nicht in den ETCS Spezifikationen der ERA definiert. Diese Schnittstellen und Komponenten unterliegen zumeist den Vorgaben der EIU und werden z. B. im DB Lastenheften beschrieben [EUG-76; BTSF6.5].

Das Stellwerk ist bei ETCS Level 1 Strecken zusätzlich mit der Lineside Electronic Unit (LEU) verbunden. Die ETCS-Spezifikationen der ERA machen keine Vorgaben bezüglich der Schnittstelle zwischen den Stellwerken. Speziell an Landesgrenzen sollte frühzeitig ein Austausch mit dem benachbarten EIU und den gewählten Ausrüstern über die geplante Stellwerksbauform und den notwendigen Datenaustausch stattfinden. Bei einer angestrebten ETCS Level 1 - Level 1 Transition erfolgt der notwendige Datenaustausch über die abgestimmte Schnittstelle zwischen den Stellwerken [EUG-76].

Bei einer Transition im Zusammenhang mit ETCS Level 2 übernimmt das RBC den grenzübergreifenden Datenaustausch und stellt die Informationen letztlich dem Stellwerk zur Verfügung. Es werden beispielsweise Informationen über die korrekte ETCS-Ausrüstung der Fahrzeuge benötigt, sodass diese die Grenze befahren können. Auf diese Weise wird das Einstellen von Fahrstraßen für Fahrzeuge ohne passende ETCS-Ausrüstung verhindert [EY15]. Im Sinne der ETCS-Transition gilt es explizit, die Stellwerksgrenzen festzulegen, da diese sich je nach ETCS-Ausbaustufe und Fahrtrichtung durchaus unterscheiden können. Die verbindliche Grenze wird zumeist durch ein Grenzsignal und eine Grenzbalisengruppe definiert.

3.4.4 Signalisierung und Zugbeeinflussungssystem

Auf ETCS-Strecken ist die Art der Signalisierung von dem angestrebten ETCS Level und dem möglichen Einsatz eines nationalen Zugbeeinflussungssystems abhängig. Grundsätzlich sind ortsfeste Signale nur bis ETCS Level 1 notwendig. Ab ETCS Level 2 steht die Führerraumsignalisierung zur Verfügung und es kann auf ortsfeste Signale verzichtet werden. Die beschriebene Ausbaustufe ETCS Level 2 ohne Signale kommt im Bereich der DB Netz AG auf der VDE 8 zum Einsatz und wird für weitere

Projekte geplant. Die Ausrüstungsform von ETCS Level 2 mit Signalen ist ebenfalls möglich und wurde in Abschnitt 2.3.9 behandelt.

Bestehende Grenzübergänge sind zumeist mit konventionellen Zugbeeinflussungssystemen und ortsfesten Signalen ausgerüstet. In diesem Fall gilt es abzuwägen, ob ein Rückbau des bestehenden Systems sinnvoll ist. Ein Rückbau sollte in Erwägung gezogen werden, wenn dadurch der Instandhaltungsaufwand und die damit verbundenen Kosten erheblich gesenkt werden können. Sind die verbaute Technik und die notwendigen Komponenten durch den Hersteller noch nicht abgekündigt, so kann eine Weiternutzung des nationalen Systems, parallel zum ETCS, sinnvoll sein. Die Ausbaustufe ETCS Level 2 mit Signalen kommt im Bereich der DB Netz AG vor allem beim Ausbau von Bestandsstrecken mit ETCS Level 2 zum Einsatz. Der Vorteil ist, dass das nationale System als Rückfallebene bei einem Ausfall des ETCS genutzt werden kann und Fahrzeuge, welche ausschließlich mit dem nationalen System ausgerüstet sind, die Strecke weiter befahren können. Aus diesem Grund findet diese Konstellation oftmals Zuspruch durch die betroffenen EVU, da diese vorerst nicht gezwungen sind, ihre Fahrzeuge mit ETCS ausrüsten zu müssen. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass durch die Doppelausrüstung von Strecken der Instandhaltungsaufwand zunimmt.

3.4.5 Gleisfreimeldung

Das Stellwerk ist bis ETCS Level 2 für die Gleisfreimeldung z. B. mithilfe von klassischer Achszählertechnik verantwortlich. Ab ETCS Level 3 ist die starre Blockteilung durch die Gleisfreimeldung nicht mehr notwendig, da die Fahrzeuge durch ihre Zugvollständigkeitsmeldungen die befahrene Strecke selbstständig freimelden. Wie bereits in Abschnitt 2.3.5 beschrieben, kann die Zugvollständigkeit bisher nur von Triebzügen sichergestellt werden. In Zukunft soll die Digitale Automatische Kupplung die Zugvollständigkeitsprüfung auch für Güterzüge ermöglichen. Das Projekt Digitale Automatische Kupplung befindet sich zum aktuellen Stand jedoch noch in Entwicklung [BMDV23]. Folglich wird der Einsatz der bisherigen Gleisfreimeldung auf ETCS-Strecken mit Mischverkehr weiterhin notwendig sein, bis dieser neuartige Kupplungstyp flächendeckend in Europa eingeführt und eingesetzt wird.

3.4.6 GSM-R-Funksystem

Erreicht das ETCS-Fahrzeug die Landesgrenze, so endet in der Regel neben dem Verwaltungsbereich des aktuellen RBC auch die Funkabdeckung durch das nationale GSM-R-Netz. Die vorhandenen GSM-R-Netze sind aktuell national getrennt, sodass in Grenznähe ein Wechsel des GSM-R-Netzes erfolgen muss. Für eine reibungsfreie Befahrung ist an der Landesgrenze ein ausreichend großer GSM-R-Überlappungsbereich zu planen (siehe Abbildung 3-3).

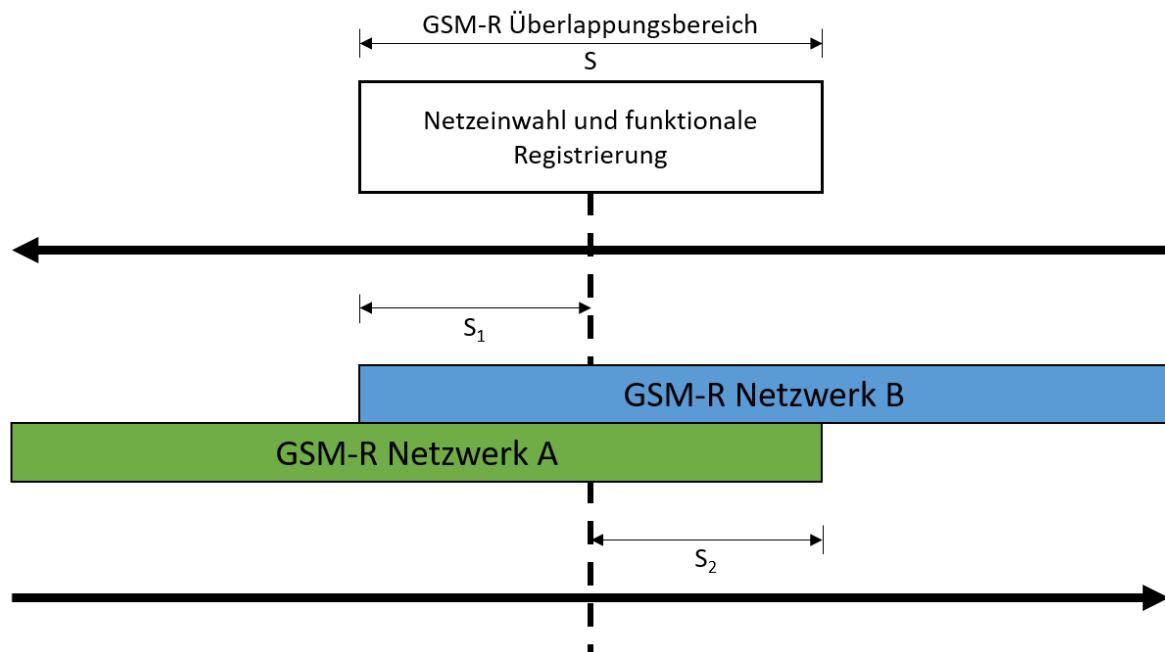


Abbildung 3-3: Überlappungsbereich der GSM-R-Netze für RBC-Handover
vgl. [DB1202]

Der Bezeichner S in Abbildung 3-3 kennzeichnet die verfügbare Länge des GSM-R-Netzwerkes über die RBC-Grenze hinaus. Der Überlappungsbereich der GSM-R-Funkzellen ist in diesem Fall besonders sensibel, da das ETCS-Fahrzeug eine Verbindung zum neuen GSM-R-Funknetz aufbaut und anschließend die Verbindung zum alten GSM-R-Funknetz beendet [WEN21]. Die DB-Richtlinie 859.1202 schreibt vor, dass die Überlappungszone in Abbildung 3-3 der GSM-R-Netze so lang ist, dass notfalls ein zweiter Verbindungsaufbauversuch innerhalb der Überlappungszone erfolgen kann [DB1202]. Die zu projektierende Länge des GSM-R-Überlappungsbereich hängt von der zulässigen Maximalgeschwindigkeit der Strecke und einer möglichen Kopplung der GSM-R-Netze mittels Inter PLMN Handover (IPHO) ab [ABE22].

Der Einsatz eines IPHO bei ETCS-Grenztransitionen ermöglicht es, den GSM-R-Überlappungsbereich, welcher auch als Dual Network Coverage Area (DNCA) bezeichnet wird, signifikant zu verkürzen. Dies ist möglich, da beim IPHO das GSM-R ETCS-Funkmodul 1 (ETCS Data only Radio - EDOR) die Verbindung (V1) zum aktuellen RBC über das aktuelle GSM-R-Netz aufrecht erhält und das EDOR 2 über das gleiche GSM-R-Netz eine neue Verbindung (V2) zum neuen RBC aufbaut. Der IPHO ermöglicht schlussendlich ein Transferieren beider Verbindungen in das neue GSM-R-Netz. Nach dem erfolgreichen RBC-Handover wird die Verbindung (V1) zum alten RBC abgebaut und beide EDOR in das neue GSM-R-Netz umgebucht [KAM19]. Das Projekt European Integrated Railway Radio Enhanced Network (EIRENE), als auch die UIC geben Empfehlungen für die maximale Zeitdauer des IPHO [ABE22].

Tabelle 2: Unterschiedliche Zeitvorgaben für Inter PLMN Handover [ABE22]

	EIRENE SRS	FFFS
$T_{\text{Inter PLMN Handover}} [\text{s}]$	0,5	6
$t_{\text{DNCA}} = t_{\text{Inter PLMN Handover}} [\text{s}] \cdot 2$	1	12

Ist eine derartige Kopplung der GSM-R-Netze nicht möglich, so muss im Grenzbereich eine klassische Einwahl des zweiten Mobile Terminals in das neue GSM-R des Nachbarlandes stattfinden. Diese Variante ist vergleichbar mit einem klassischen ETCS Level 2 Einstieg. Das EDOR 1 hält über das aktuelle GSM-R-Netz die Verbindung zum aktuellen RBC aufrecht. In ausreichender Distanz zur ETCS-Grenztransition übermittelt eine Balise oder eine Radio Message Paket 45 an das Fahrzeug, woraufhin sich das EDOR 2 in das bereits vorhandene, neue GSM-R-Netz des Nachbarlandes einwählt. Der Funkaufbau zum neuen RBC wird dem Fahrzeug über eine Balise mit Paket 131 oder einer entsprechenden Radio Message vom aktuellen RBC an das Fahrzeug kommandiert. Die sequenzielle Netzeinwahl und der darauf folgende Funkaufbau dauern deutlich länger, wodurch die Länge der DNCA signifikant größer wird [KAM19].

In der DB-Richtlinie 819.1344A02 bzw. 819.1344A03 (Entwurfsstand vom 06.12.2022), dem BTSF3 Lastenheft v3.0 mit CR1244 und einer Präsentation von Bernd Kampschulte sind unterschiedliche Zeitangaben zur Netzeinwahl und zum Funkaufbau angegeben (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Einwahl- und Funkaufbauzeit der DB Netz AG [BTSF6.5; DB1344; KAM19]

	Einwahl (-98 dBm) [s]	Funkaufbau (-95 dBm) [s]
DB Ril 819.1344A03	80	25 – 60
BTSF3 / DB CR1244	41,5	Übergebendes RBC kommandiert den Funkaufbau an das annehmende RBC zeitig genug, sodass bei Streckenhöchstgeschwindigkeit noch 10 s Fahrzeit bis zur NRBC-Grenze für den Datenaustausch verbleiben
Kampschulte	30	20

In der Abbildung 3-4 sind die zugehörigen GSM-R-Bereiche und Balisen-/Radio Message-Positionen abgebildet.

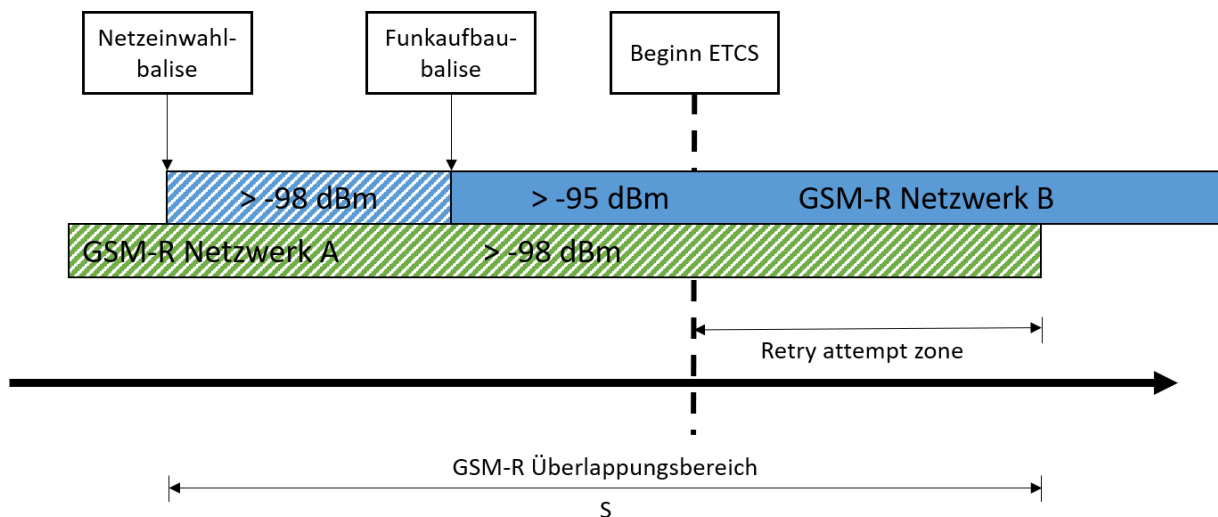


Abbildung 3-4: GSM-R-Überlappungsbereich bei getrennten GSM-R-Netzen vgl. [DB1202]

Die der Länge des notwendigen Überlappungsbereichs (DNCA) lässt sich unter Einbezug der zulässigen Streckengeschwindigkeit [m/s] abschätzen.

$$DNCA = (2 \cdot (t_{\text{Netzeinwahl}} + t_{\text{Funkaufbau}})) \cdot v_{\text{max}} \quad (1)$$

Die Retry attempt zone spiegelt sich im Faktor 2 der Gleichung (1) wider und dient einem zweiten Einwahlversuch, falls der Erste gescheitert ist [KAM19]. Bei der Ausrüstung von GSM-R-Überlappungsbereichen für einen RBC-Handover ist ein Redundanzkonzept empfehlenswert, um die Verfügbarkeit der technischen Systeme deutlich zu erhöhen.

Beim GSM-R-Funknetz wurde bisher ausschließlich der Datenfunk unter ETCS betrachtet. Es ist zu beachten, dass jedes Fahrzeug zudem über GSM-R-Zugfunk

verfügt, wodurch der Tf beispielsweise in der Lage ist, Gespräche mit dem Fdl zu führen. Bei einem Wechsel des GSM-R-Netzes sind entlang der Strecke genormte Umschalttafeln mit der Kennzeichnung des nachfolgenden Netzes aufzustellen. Der Tf beendet alle aktiven Gespräche, führt die Netzeinwahl manuell durch und wird nach der erfolgreichen Einwahl und Registrierung der Zugnummer aus dem alten GSM-R-Netz entfernt.

3.4.7 RBC-Handover

Der RBC-Handover ist, durch den Zuständigkeitswechsel der RBC, eine kritische Prozedur in ETCS, da eine Unterbrechung der GSM-R-Funkverbindung zum Scheitern des RBC-Handover führen kann und das ETCS-Fahrzeug folglich gezwungen ist, vor der Zuständigkeitsgrenze des neuen RBC anzuhalten. Um die kontinuierliche Kommunikation zwischen den RBC sicher zu überwachen, tauschen die RBC mit Message 223 regelmäßig Life Sign-Benachrichtigungen aus [SUB-039].

Die ablaufende RBC-Handover-Prozedur zwischen dem abgebenden RBC (Handing over RBC – HOV RBC) und dem annehmenden RBC (Accepting RBC – ACC RBC) ist im SUBSET-039 spezifiziert. Die Spezifikation stellt die Anforderungen, dass die RBC in der Lage sind:

- mehrere RBC-Handover sequenziell durchzuführen,
- mehrere RBC-Handover gleichzeitig auf mehrgleisigen Gleisen (unabhängig von der Befahrungsrichtung) stattfinden zu lassen und
- RBC-Handover-Prozedur abubrechen, ohne das ein Fahrzeug die RBC-Grenze überfährt [SUB-039].

Der sequenzielle Ablauf der Kommunikation zwischen den HOV RBC und dem Fahrzeug bzw. dem ACC RBC und dem Fahrzeug sind in der Engineering Guideline 74. der EUG dargestellt. Der gesamte Handover lässt sich in mehrere Phasen unterteilen und ist im Anhang 11 als schematischer Ablaufplan dargestellt. In diesem Ablaufdiagramm ist der reguläre RBC-Handover eines ETCS-Fahrzeugs mit zwei mobilen GSM-R-Geräten abgebildet. Die relevanten Ausschnitte aus Anhang 11 sind in Abbildung 3-5 bis Abbildung 3-9 für die entsprechende Phase dargestellt. Die Messages, welche zwischen den RBC ausgetauscht werden, sind in SUBSET-039 definiert. In SUBSET-026-7 und -026-8 sind die Pakete und Messages für die Kommunikation zwischen Fahrzeug und RBC festgelegt.

Phase 1: Pre-Announcement/Vorankündigung

Im ersten Schritt wird eine Bedingung für den Anstoß der Handover-Prozedur definiert. Diese kann beispielsweise das Einstellen einer Fahrstraße auf die Grenzbetriebsstrecke oder eine Positionsmeldung des Fahrzeugs durch Radio Message 136 mit dem Paket 0 (Position Report) sein. Ist die Anstoßbedingung erfüllt, wechselt das HOV RBC in den HOV Status und sendet ein Pre-Announcement mit der RBC Message 201 an ACC RBC. Nach dem Erhalt der RBC Message hat das ACC RBC die Möglichkeit, das Pre-Announcement mit der RBC-Message 205 (Acknowledgement) zu quittieren oder mit der RBC-Message 204 (Cancellation) abzulehnen. Letzteres ist beispielsweise der Fall, wenn der Gleisabschnitt von einer vorherigen Grenzbefahrung noch belegt ist. Bei der Bestätigung des Pre-Announcements wechselt das ACC RBC in den ACC Status. [SUB-039; WEN21].

Phase 2: Verlängerung der MA

Das HOV RBC hat dem ETCS-Fahrzeug bereits eine Movement Authority (MA) für seinen Zuständigkeitsbereich zur Befahrung der Grenzbetriebsstrecke übermittelt. Die übermittelte MA reicht somit zunächst nur bis zur RBC-RBC-Grenze. Für die Weiterfahrt ist es notwendig, dass das ACC RBC die übermittelte MA in seinen Bereich verlängert.

Folglich sendet das HOV RBC eine RBC Message 202 (Route Related Information Request - RRIR) und fordert Informationen über die Strecke hinter der RBC-Grenze von dem ACC RBC ab. Das ACC RBC übermittelt die Fahrweginformationen über den gesicherten und freien Fahrweg hinter der RBC-Grenze mithilfe der RBC Message 221 (Route Related Information - RRI) an das HOV RBC. In der RBC Message 221 sind Paket 15 mit der ETCS Level 2/3 MA, Paket 21 mit dem Gradientenprofil der Strecke, Paket 27 mit dem zulässigen Geschwindigkeitsprofil (Static Speed Profil – SSP) und Paket 5 mit den Linking-Informationen der nächsten BG hinter der RBC-Grenze enthalten. Das HOV RBC quittiert den Erhalt der RRI analog mit RBC Message 205 (Acknowledgement) und leitet die erhaltenen Informationen als Radio Message 3 an das ETCS-Fahrzeug weiter.

Die Route Related Information können durch das ACC RBC aktualisiert werden, wenn sich fahrwegbezogene Informationen hinter der RBC-Grenze ändern. In diesem Fall sendet das ACC RBC einer erneute RBC Message 221 und teilt HOV RBC z. B. eine Verlängerung der MA mit [SUB-039; SCH22]. Eine Verlängerung der MA ist jederzeit

problemlos möglich. Bei einer angeforderten Verkürzung der MA muss das HOV RBC zunächst prüfen, ob der Zug innerhalb des verkürzten Fahrwegs zum Stehen kommen könnte und die Verkürzung bestätigen.

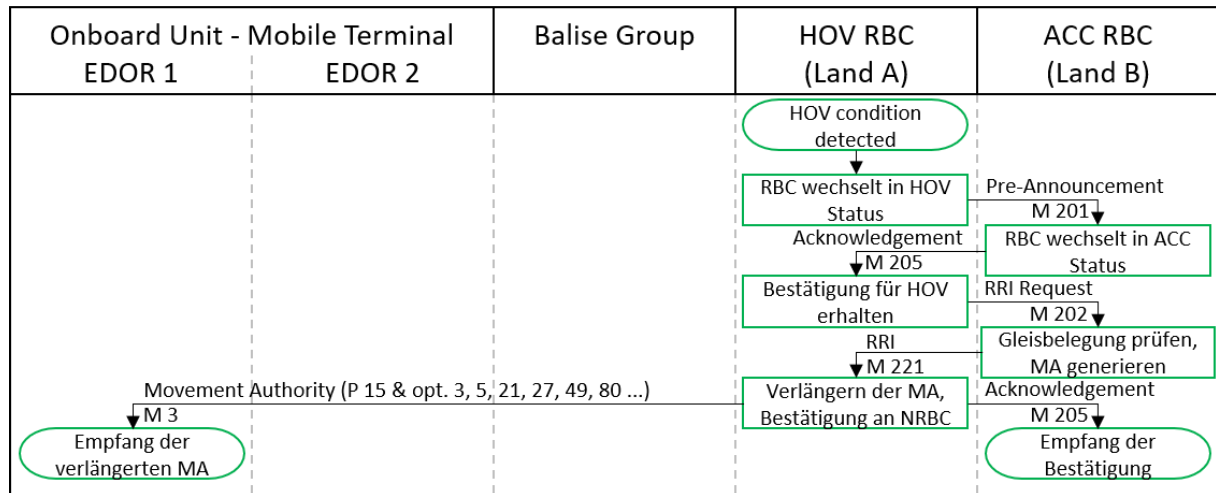


Abbildung 3-5: Phase 1 und 2 des RBC-Handover vgl. [SUB-039; EUG-74]

Phase 3: Einwahl in das GSM-R-Funknetz des Nachbarlandes

Die Einwahl in das GSM-R-Funknetz des Nachbarlandes ist zeitlich nicht an die vorherigen Phasen geknüpft und kann somit vor oder parallel zur bisherigen Kommunikation zwischen HOV RBC und ACC RBC stattgefunden haben bzw. stattfinden. Die Netzeinwahl kann durch eine im Gleis verlegte Balisengruppe oder durch eine Radio Message des HOV RBC an das Fahrzeug mit dem Paket 45 (Radio Network registration) kommandiert werden [EUG-74].

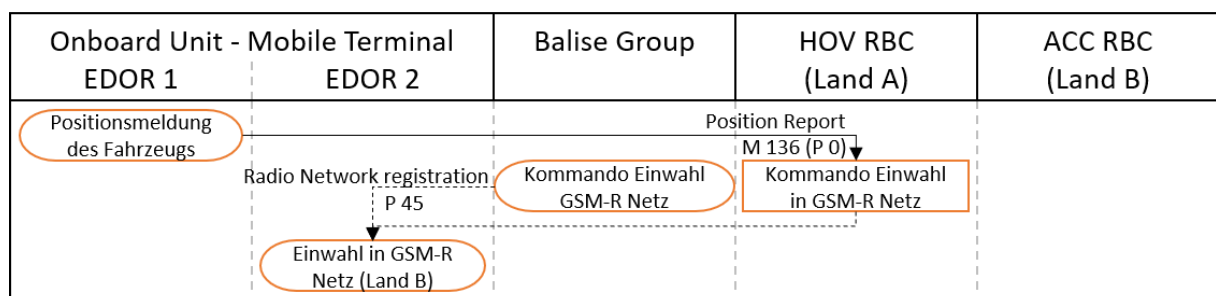


Abbildung 3-6: Phase 3 des RBC-Handover vgl. [SUB-039; EUG-74]

Phase 4: Ankündigung des RBC-Wechsels und Funkaufbau

Anschließend an die Einwahl erfolgt die Ankündigung des bevorstehenden RBC-Handover an das Fahrzeug. Hierzu wird das Paket 131 (RBC transition order) in der Radio Message 24 oder einem Balisentelegramm übertragen. Das Paket 131 teilt dem Fahrzeug die Entfernung zur Grenzbalisengruppe, die Identifizierungsnummer der

Region oder des Landes hinter der RBC-Grenze, die Identifizierungsnummer des ACC RBC und dessen NID_RADIO-Nummer (Radio Subscriber number) mit. Mit Letzterer ist es dem Fahrzeug möglich, eine konkrete Funkverbindung zu der ersten GSM-R-Basisstation des Nachbarlandes aufzubauen und mit dem Datenaustausch zu beginnen. Das Fahrzeug sendet hierzu die Message 155 (Initiation of a communication session) an das ACC RBC, welches mit Message 32 (RBC/RIU System Version) antwortet und dem Fahrzeug seine SV mitteilt. Das Fahrzeug bestätigt den Funkverbindungs Aufbau mit der Message 159 (Session established) und seine kompatible SV mit Paket 2 (System Version from OBU). Im weiteren Verlauf erfolgt bereits ein Datenaustausch zwischen ACC RBC und Fahrzeug. Hierbei teilt das Fahrzeug dem ACC RBC seine Zugdaten mit Message 129 und Paket 11 (Validated train data), sowie in regelmäßigen Abständen seine Position mit Message 136 und Paket 0 (Position Report) mit. Das ACC RBC bestätigt die Zugdaten mit Message 8 (Acknowledgement of Train Data) [EUG-74].

Nach dem erfolgreichen Funkaufbau zum ACC RBC steht das Fahrzeug in kontinuierlichem Funkkontakt mit beiden beteiligten RBC. Es übermittelt in dieser Phase beispielsweise alle Positionsdaten sowohl an das HOV RBC, als auch an das ACC RBC. Die Sicherheitsverantwortung über das Fahrzeug verbleibt jedoch ausschließlich beim HOV RBC.

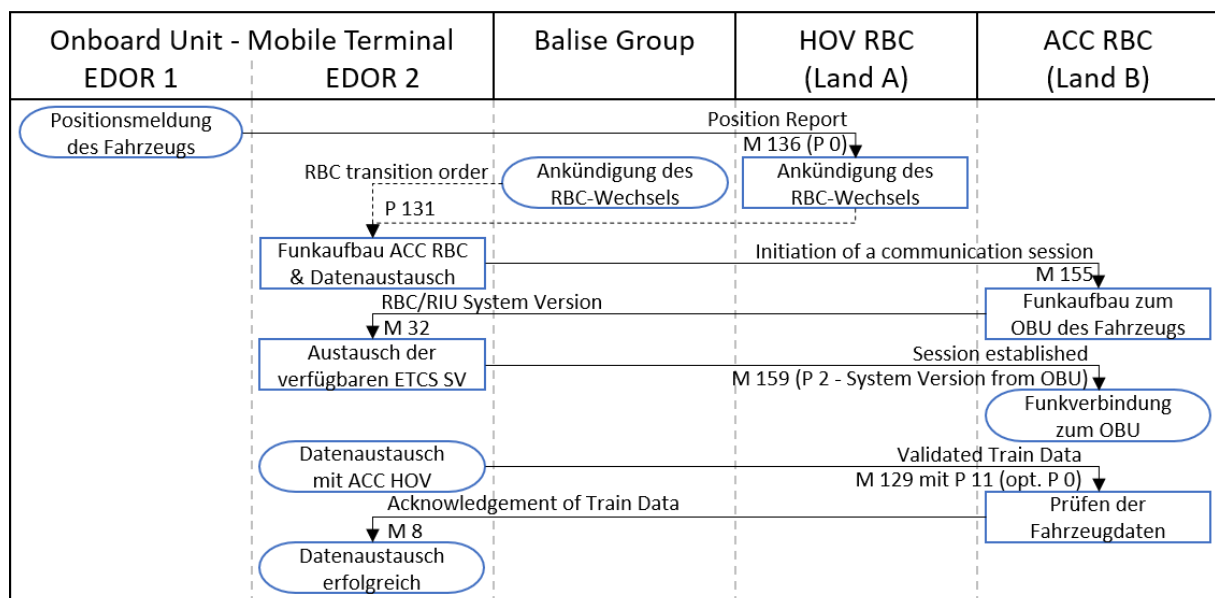


Abbildung 3-7: Phase 4 des RBC-Handover
vgl. [SUB-039; EUG-74]

Phase 5: Announcement/RBC-Wechsel

In dieser Phase findet der Grenzübergang statt. Bei der Befahrung der Grenzbalisengruppe liest die Fahrzeugantenne das dortige Balisentelegramm aus. An deutschen Staatsgrenzen werden durch die Grenzbalisengruppe die National Values des Nachbarlandes mit Paket 3, die Einwahldaten für das GSM-R-Netz des Nachbarlandes mit Paket 45 und die sofortige RBC Transition Order mit Paket 131 übermittelt. Das Paket 45 wird vom Fahrzeug nur beachtet, falls der erste Einwahlversuch fehlgeschlagen ist [DB1344].

Bedingt durch die Befahrung der Grenzbalisengruppe sendet das ETCS-Fahrzeuggerät eine Positionsmeldung mit Message 136 und Paket 0 an beide RBC. Das HOV RBC sendet daraufhin die RBC Message 203 (Announcement) an das ACC RBC und teilt diesem mit, dass die Zugspitze die definierte RBC-Grenze überfahren hat. Parallel reagiert das ACC RBC ebenfalls auf die Positionsmeldung des Fahrzeugs und bestätigt die Übernahme der Sicherheitsverantwortung für das ETCS-Fahrzeug durch das Senden des Message 222 (Taking Over Responsibility) an das HOV RBC. Von diesem Moment an ignoriert das Fahrzeug alle weiteren Befehle des HOV RBC und nutzt lediglich die gespeicherten Daten für Überwachungsfunktionen. Beide RBC gehen anschließend in den IDLE Status über, in welchem kein weiterer RBC-Handover stattfindet [SUB-039].

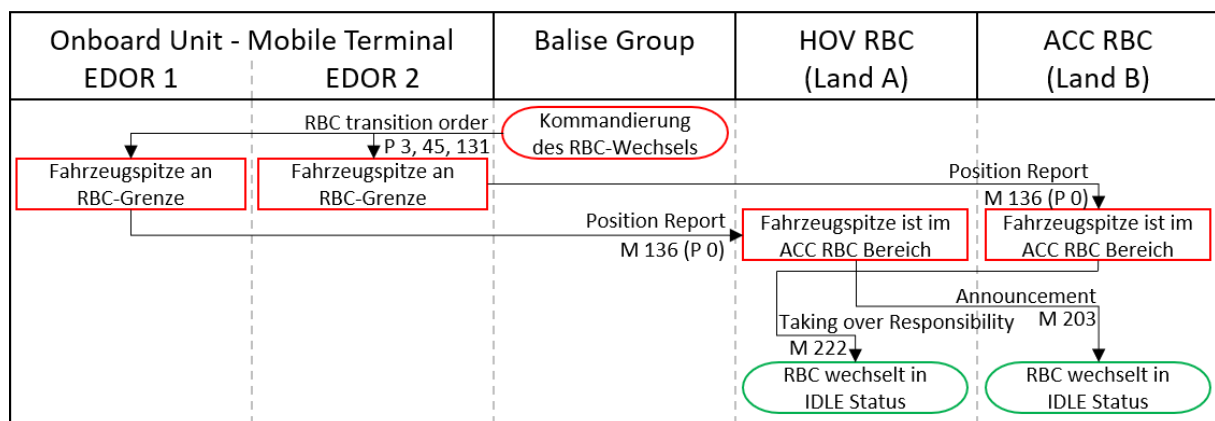


Abbildung 3-8: Phase 5 des RBC-Handover vgl. [SUB-039; EUG-74]

Phase 6: Abbau der Funkverbindung zum HOV RBC

Nach dem erfolgreichen Handover sendet das Fahrzeug eine weitere Positionsmeldung an das HOV RBC, welches daraufhin mit einer allgemeinen Message 24 antwortet, welche das Paket 42 (Session Management) enthält. Der Abbau der Funkverbindung kann alternativ durch eine Balisengruppe mit dem Paket

42 kommandiert werden. Der Zug beendet die Funkkommunikation zum HOV RBC durch das Senden der Radio Message 156 (Termination of communication session). Das HOV RBC bestätigt den Verbindungsabbau durch die Radio Message 39 (Acknowledgement of termination of a communication session) [EUG-74].

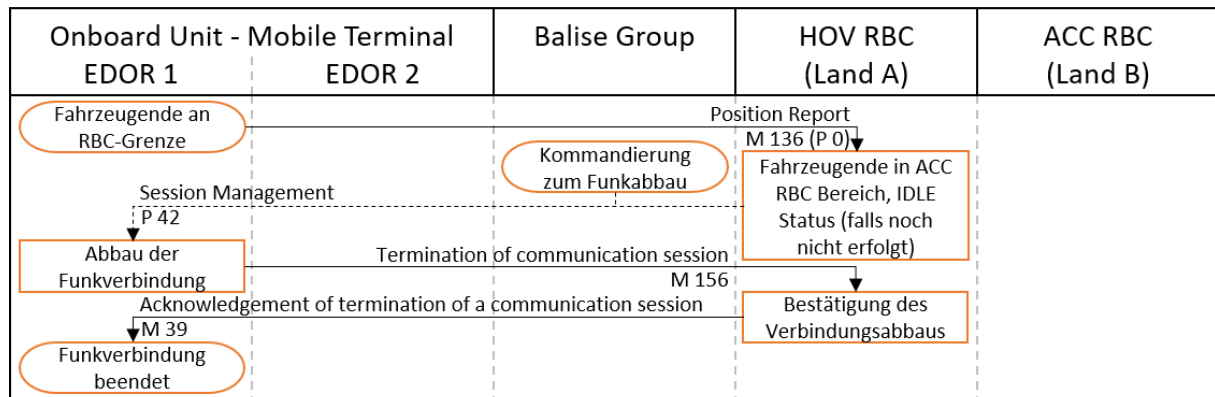


Abbildung 3-9: Phase 6 des RBC-Handover
vgl. [SUB-039; EUG-74]

Während des RBC-Handover können zwischen den RBC weiter Messages übertragen und ausgetauscht werden. Die möglichen Nachrichten, deren Übertragungsrichtung und Bedeutung sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Verfügbare RBC Messages bei einem RBC-Handover [SUB-039]

Nummer	RBC Message-Name	Richtung
201	Pre-Announcement	HOV RBC → ACC RBC
202	Route Related Information request	HOV RBC → ACC RBC
203	Announcement	HOV RBC → ACC RBC
204	Cancellation	HOV RBC ↔ ACC RBC
205	Acknowledgement	HOV RBC ↔ ACC RBC
206	RRI Confirmation	HOV RBC → ACC RBC
207	Train Data	HOV RBC → ACC RBC
208	Train Running Number	HOV RBC → ACC RBC
221	Route Related Information	HOV RBC ← ACC RBC
222	Taking Over Responsibility	HOV RBC ← ACC RBC
223	Life Sign	HOV RBC ↔ ACC RBC
224	Request for RRI Confirmation	HOV RBC ← ACC RBC

3.4.8 Weitere Schnittstellen

Bei der Erstellung des ETCS-Transitionskonzepts gilt es eine Vielzahl weiterer Schnittstellen und Variablen zu berücksichtigen. Von entscheidender Bedeutung ist beispielsweise die Anordnung und Ausführung der Systemtrennstelle der Oberleitung. Zudem muss ein Zug vor einer Befahrung einer ETCS-Strecke der Baseline 3 auf sein kompatibles Traktionssystem, Lichtraumprofil und seiner Achslasten geprüft werden [DBN23a].

3.5 Weitere Sachverhalte auf ETCS-Grenzbetriebsstrecken

3.5.1 ETCS-Levelwechsel und -Betriebsart

Die Ausrüstung der ETCS-Strecken und die Inbetriebnahme der ETCS-Transition sollten zwischen den EIU der Nachbarstaaten zeitlich abgestimmt werden. Erfolgt dies nicht, kann es vorkommen, dass ein Land A den Termin zur Inbetriebnahme der ETCS-Strecke des zweiten Landes B nicht einhalten kann. In diesem Fall muss zusätzlich eine ETCS-Transition von einem Klasse-B-System zu ETCS implementiert werden. Erst wenn die Ausrüstung der ETCS-Strecke von Land A abgeschlossen ist, kann die neue Klasse-A (ETCS zu ETCS)-Transition implementiert werden. An ETCS-Grenztransitionen kann es zu ETCS-Levelwechseln kommen. Das ETCS Level richtet sich hauptsächlich nach den geforderten Streckengeschwindigkeiten und den betrieblichen Anforderungen der beiden Länder.

Relevante Klasse A – ETCS Transitionen:

- ETCS-Transition von Level 1 nach Level 1
- ETCS-Transition von Level 1 nach Level 2
- ETCS-Transition von Level 2 nach Level 2

Relevante Klasse-B – ETCS Transitionen:

- ETCS-Transition von Level NTC nach Level 1
- ETCS-Transition von Level NTC nach Level 2

Der § 3a der EBO bietet an dieser Stelle die Möglichkeit, ETCS Level bzw. ETCS Betriebsarten auf Grenzbetriebsstrecken einzusetzen, welche flächendeckend nicht in Deutschland ausgebaut werden. Ein weiterer Aspekt ist die Festlegung der zu verwendenden ETCS-Betriebsarten und der betrieblichen Rückfallebene. Diese sollte auf Basis der geplanten, grenzüberschreitenden Betriebsabläufe abgestimmt werden.

3.5.2 Nationale Werte

Die Nationalen Werte (National Values - NV) sind spezielle Variablen, welche es ermöglichen, das Verhalten der ETCS Onboard Unit (OBU) in Abhängigkeit von nationalen Bereichen oder Regionen (NID_C) individuell zu konfigurieren. Bei den Variablen handelt es sich um Vorgaben der EIU zu ausgewählten Geschwindigkeiten, Zeitparametern, Entfernungen bzw. Abständen und sonstigen Fahrzeugreaktionen [KA20].

In Anhang 9 sind die unterschiedlichen NV, deren Bedeutung und die spezifischen Werte der EIU DB Netz AG und Správa železnic dargestellt. Die EIU sind dafür verantwortlich, dass die Streckenkomponenten die korrekten NV für die Fahrzeuge im aktuellen Bereich bereitstellen. Die NV können von ortsfesten Balisen oder dem RBC an das Fahrzeug übertragen und dort gespeichert werden. Für die Übermittlung stehen in SV 1 und 2 das Paket 3 zur Verfügung. Auf Baseline 3 Strecken mit einer SV 1.1 wird das Paket 203 zur Übermittlung der NV genutzt. Die Übertragung der NV erfolgt an definierten Stellen, wie z. B. der Grenze zwischen ETCS-Ausrüstungsbereichen, an Landesgrenzen oder an den Übergabegleisen von Instandhaltungsstellen für ETCS-Fahrzeugeinrichtungen [EUG-23; SCH22].

Speziell an Landesgrenze sollte der Wechsel der NV in Abhängigkeit von den Betriebsabläufen überprüft werden. Es ist zu überprüfen, welche Einflüsse die Änderung der NV auf das Verhalten des Fahrzeuges haben.

3.5.3 ETCS-Bremskurvensprünge

Es gibt einige Einflussfaktoren, wie z. B. die allgemeinen Zugdaten, allgemeine Streckendaten, bremsspezifische Zugdaten, die Baselines und die NV, welche die Berechnung und Ausprägung der ETCS-Bremskurven beeinflussen. Der Einfluss dieser einzelnen Parameter wurde umfangreich in der Diplomarbeit von R. Schwenzer zum Thema „Auswirkungen unterschiedlicher ETCS-Bremskurven an Landesgrenzen“ untersucht und bewertet [SCH21]. In Bezug auf ETCS-Grenztransitionen gilt es, im Vorfeld zu untersuchen, welchen Einfluss die unterschiedlichen NV und geplanten Baselines auf die ETCS-Bremskurven haben, um ungewünschte Fahrzeugreaktionen bei der Grenzüberfahrt zu vermeiden. Es ist zu berücksichtigen, dass zwischen ETCS und dem Klasse-B-System ebenfalls unterschiedliche Bremskurven gelten können.

3.5.4 Streckenbedingungen und weitere Aspekte

Das Static Speed Profile (SSP) bezeichnet das Verzeichnis der maximal zulässigen Höchstgeschwindigkeit für einen Streckenabschnitt. Es kann durch die Lage von Gleisbögen, Weichen, Tunneln, Brücken usw. beeinflusst werden [SUB-026-3]. Vorübergehende Langsamfahrstellen werden im ETCS als Temporary Speed Restrictions (TSR) bezeichnet. Diese können, wenn es der Streckenzustand erfordert, vom zuständigen EIU ausgesprochen werden und direkt hinter der Transitionsgrenze, im Zuständigkeitsbereich des Nachbar EIU, liegen. Folglich müssen das statische Geschwindigkeitsprofil und die temporären Geschwindigkeitsrestriktionen auf der anderen Seite der Grenze vor der Befahrung kommuniziert und dem Tf bzw. der OBU rechtzeitig mitgeteilt werden. Gleiches gilt für statische Streckeneigenschaften, wie z. B. Tunnel, nicht elektrifizierte Streckenabschnitte, große Metallmassen im oder in der Nähe des Gleises [EY15].

Besondere Anforderungen an die Größe des ETCS-Transitionsbereichs und der GSM-R-Funknetzabdeckung stellt der Beginn einer Zugfahrt (Start of Mission) hinter der ETCS-Grenze an das ETCS-Transitionskonzept. Derartige betriebliche Besonderheiten müssen im Vorfeld diskutiert und zwischen den Nachbarstaaten abgestimmt werden [EY15].

3.6 Varianten an ETCS-Grenztransitionen

Die unterschiedlichen Varianten an ETCS-Grenztransitionen sind in Abbildung 3-10 schematisch als Flussdiagramm und in Anhang 12 als Detaildarstellung abgebildet. Hierbei wird von einer grundsätzlichen Kompatibilität des Fahrzeugs bezüglich seiner Baseline und ETCS-Ausrüstung ausgegangen. Das ETCS-Level 3 wird in nicht behandelt, da es an Grenzübergängen bisher keine Relevanz hat.

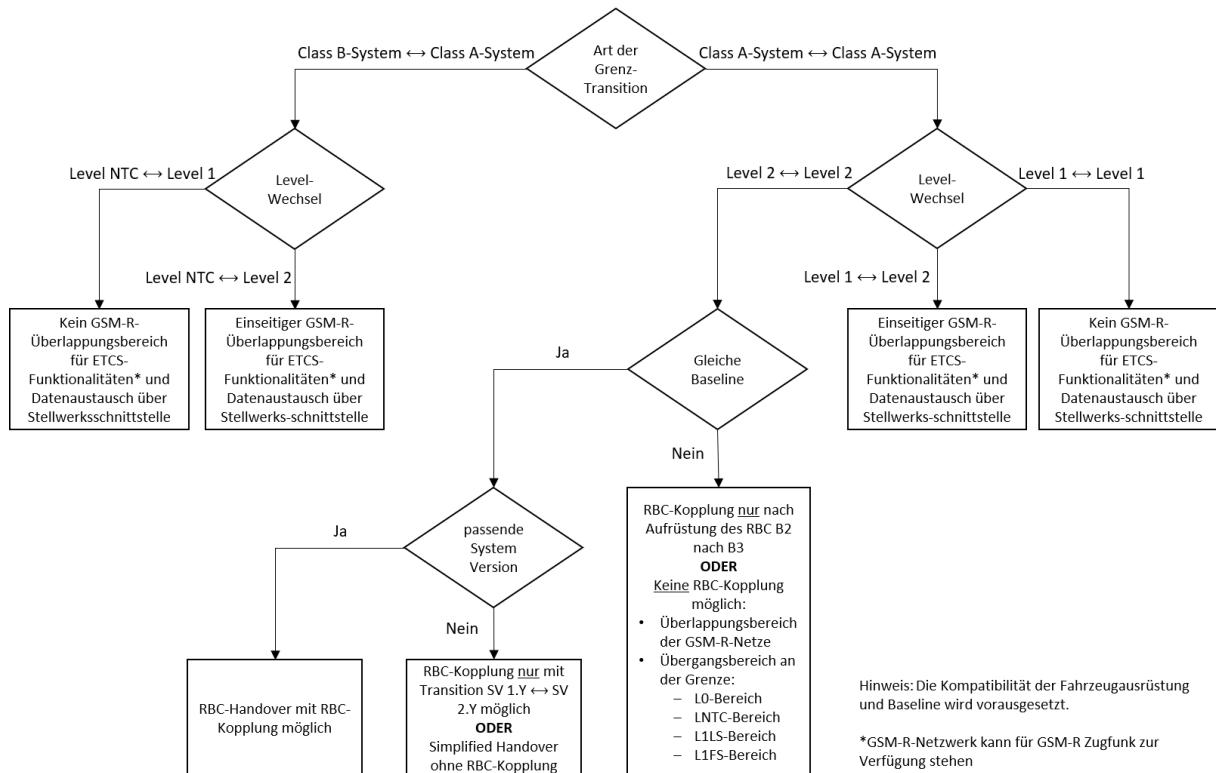


Abbildung 3-10: Varianten für eine ETCS-Grenztransition

Abschließend ist festzuhalten, dass ETCS-Grenztransition niemals isoliert betrachtet werden können. Es gilt alle relevanten Aspekte (rechtlich, geographisch, technisch und betrieblich) zu untersuchen und in Abstimmung mit dem Nachbarland, die im Sinne der Interoperabilität, bestmögliche Variante auszuwählen [GRÜ21]. In Abbildung 3-11 ist eine Gesamtübersicht der behandelten Aspekte einer ETCS-Grenztransition dargestellt.

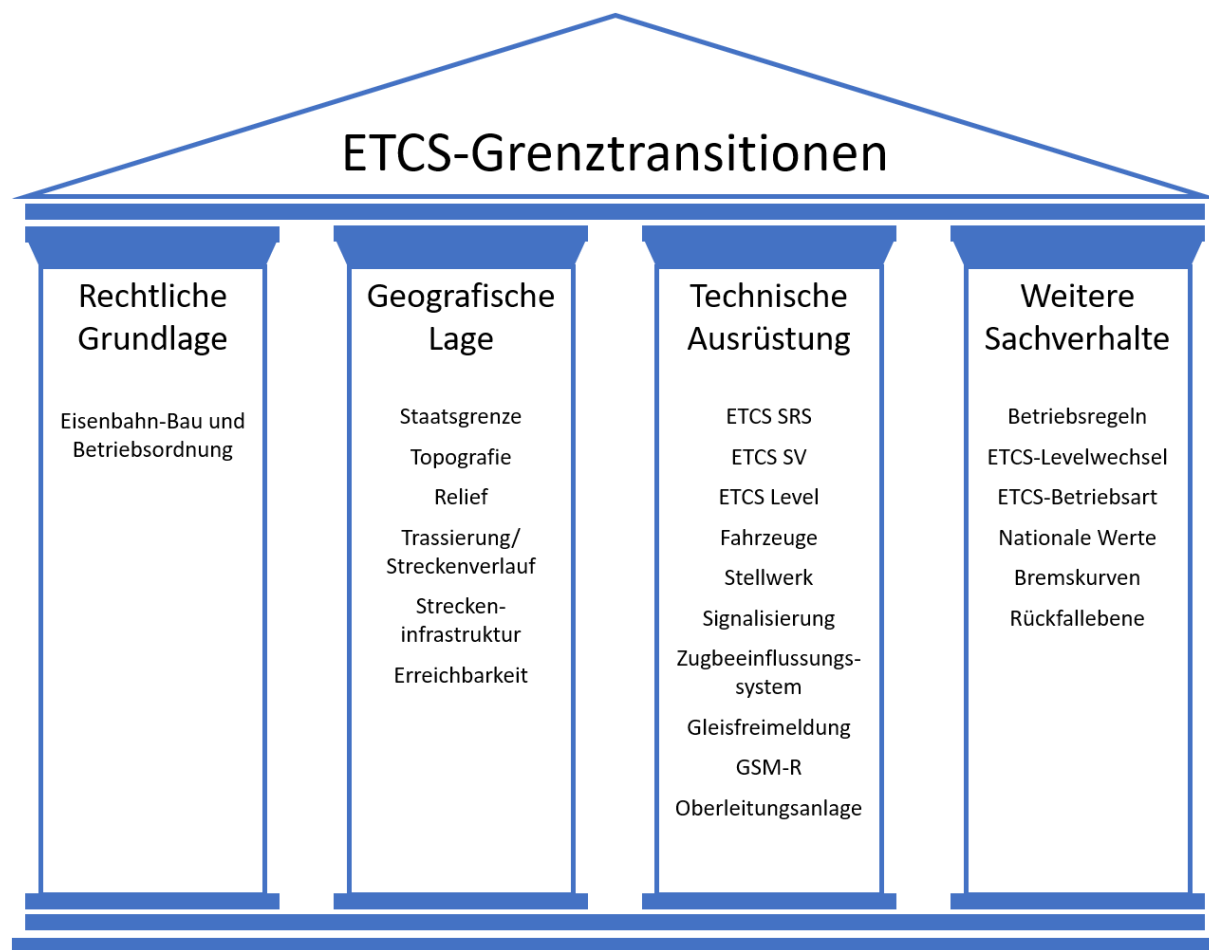


Abbildung 3-11: Gesamtübersicht zu ETCS-Grenztransitionen

4 ETCS-Grenztransition der Neubaustrecke Dresden-Prag

4.1 Die Planung der Neubaustrecke Dresden-Prag

Die Strecke Berlin – Dresden – Prag stellt ein wichtiges Bindeglied für den Schienenverkehr zwischen Deutschland, Tschechien und weiteren Nachbarstaaten innerhalb der EU dar. Um zukünftig mehr Kapazitäten im Schienengüterverkehr zwischen Deutschland und Tschechien zu realisieren und die Fahrzeit zwischen Dresden und Prag signifikant zu reduzieren, wird der Bau einer Neubaustrecke zwischen Heidenau und Ústí nad Labem geplant. Dies ist notwendig, da die Bestandsstrecke 6240 von Dresden nach Děčín durch das Elbtal führt und die Kapazitätsgrenze erreicht hat. Ein Ausbau oder die Erweiterung dieser Strecke ist aus umweltrelevanten und topografischen Gesichtspunkten nicht möglich.

Die NBS Dresden-Prag ist ein internationales Schieneninfrastrukturprojekt der DB Netz AG und der Správa železnic. Sie wird Bestandteil des Transeuropäischen Verkehrsnetzes (TEN-V) sein und zukünftig als hochwassersichere Eisenbahnverbindung außerhalb des Elbtals mehr Flexibilität und Verfügbarkeit entlang des Trans-European Transport Network (TEN-T) Korridors Orient / Östliches Mittelmeer bieten. Die Streckenführung sieht vor, dass die NBS die Bestandsstrecke 6240 im Bereich Heidenau-Großsedlitz verlässt und in Ústí nad Labem auf tschechischem Staatsgebiet wieder in das Bestandsnetz mündet. Die Gesamtlänge der NBS soll etwa 44 km betragen und mit einer Geschwindigkeit von 200 km/h (optional 230 km/h) befahren werden. Das Kernstück des Projekts ist der Bau des Erzgebirgstunnels, welcher bei der Fertigstellung der längste Eisenbahntunnel Deutschlands sein wird. Die direkte Verbindung zwischen Heidenau und Ústí nad Labem soll dazu beitragen, die Fahrzeit von Dresden nach Prag auf etwa eine Stunde reduzieren.

Die genaue Trassierung ist zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit noch nicht festgelegt, sodass in Abbildung 4-1 mehrere mögliche Trassierungsvarianten dargestellt sind.

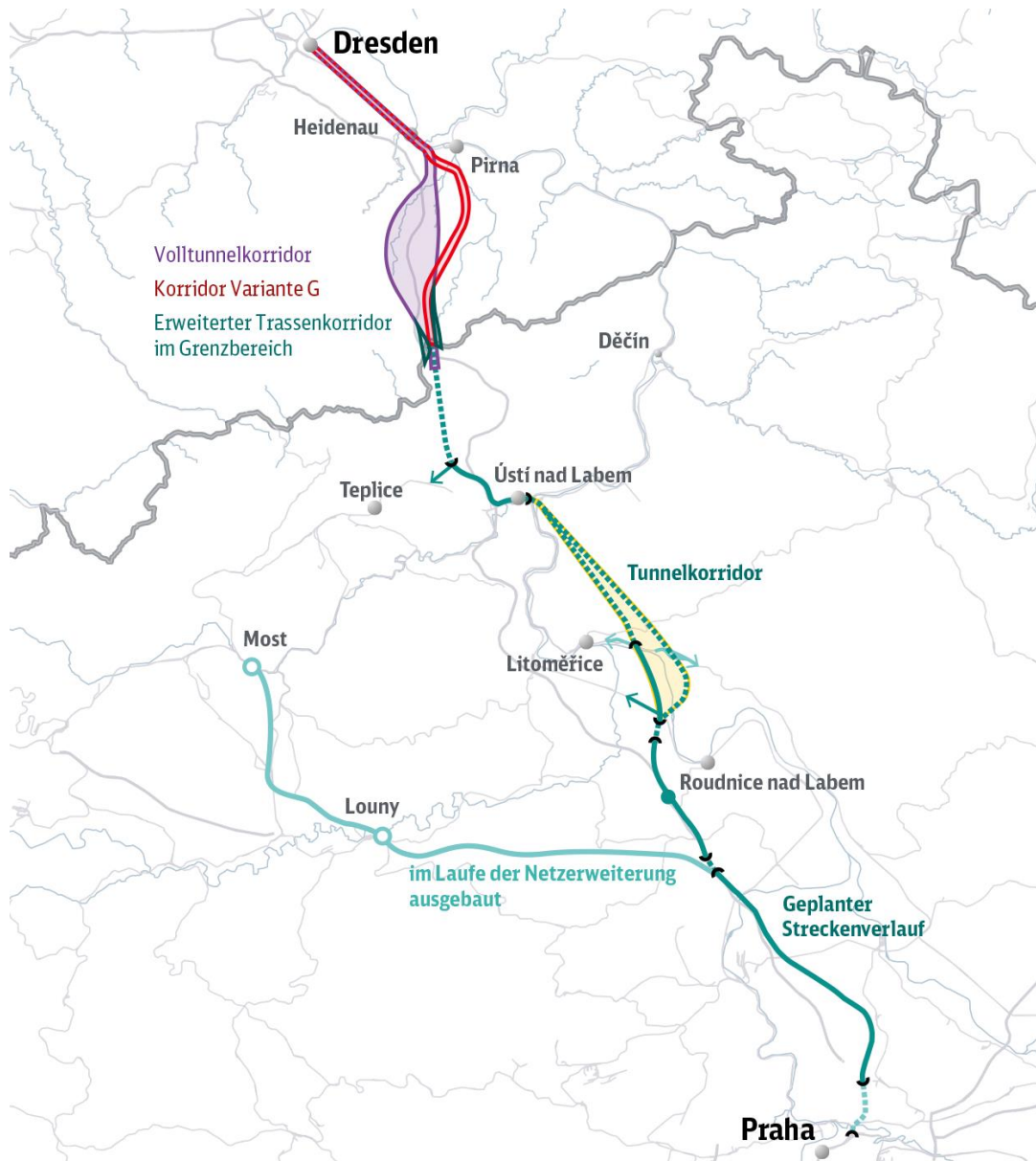


Abbildung 4-1: Trassierungsmöglichkeiten der NBS Dresden-Prag [DBN23d]

Aufgrund des begrenzten zeitlichen Rahmens dieser Diplomarbeit wurde entschieden, die Volltunnelvariante als einen von zwei möglichen Trassierungsvarianten zu untersuchen. Ziel der Untersuchung ist es, ein mögliches ETCS-Transitionskonzept für die Volltunnelvariante der NBS Dresden-Prag zu erstellen.

Die Planung NBS Dresden-Prag befindet sich aktuell in der Vorplanungsphase. In Bezug auf die Ausrüstung werden seitens der DB Netz AG und der Správa železnic grundlegende Annahmen getroffen, welche dem aktuellen Kenntnisstand entsprechen, sich jedoch im Laufe des Projekts weiterentwickeln und verändern können.

4.2 Geographische Lage der Transition

Ausgehend vom Bahnhof Heidenau in Richtung Pirna und tschechische Grenze wird eine neue Abzweigstelle entstehen. Die NBS Dresden-Prag wird durch den Einbau von zwei Weichen in der Nähe von Heidenau-Großsedlitz aus der Bestandsstrecke im Elbtal ausbinden (siehe Abbildung 4-2).

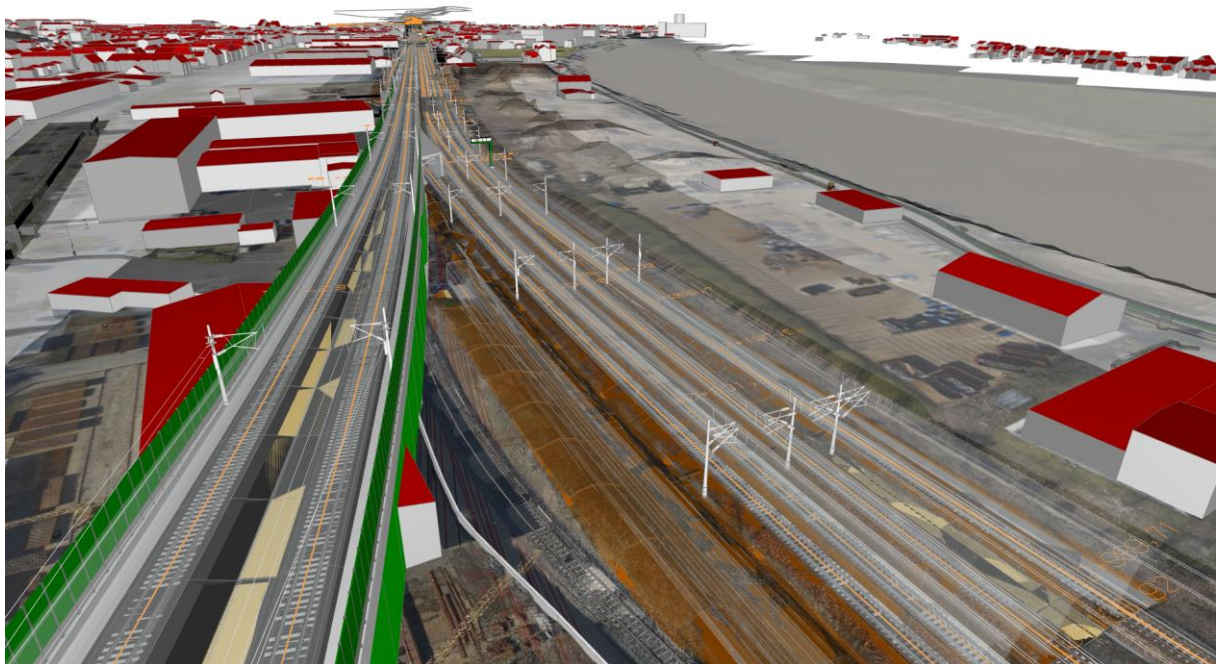


Abbildung 4-2: BIM-Darstellung der Ausbindung in Heidenau-Großsedlitz mit Blick in Richtung Bahnhof Heidenau (Stand: Vorplanung)
[Darstellung aus Großprojekt NBS Dresden-Prag]

Die vorläufige Ausgestaltung der Abzweigstelle sieht vor, dass die durchgehenden Hauptgleise mit bis zu 200 km/h befahren werden können und auf die NBS Dresden-Prag führen. Bei einer Fahrt im abzweigenden Weichenstrang führt die Fahrt auf die Bestandsstrecke 6240. Die NBS führt auf eine Rampe und zwei anschließende Brückenbauwerke, sodass sie das Fernbahngleis der Bestandsstrecke von Dresden nach Pirna niveaufrei kreuzen kann. Die Brückenbauwerke führen über die Staatsstraße 172 und weiten sich etwas auf, sodass der Gleisabstand zunimmt. Am Ende der Brückenbauwerke befinden sich zwei Tunnelportale, welche den Eingang zu den separaten Tunnelröhren mit einer Gesamtlänge von über 30 km bilden (siehe Abbildung 4-3).

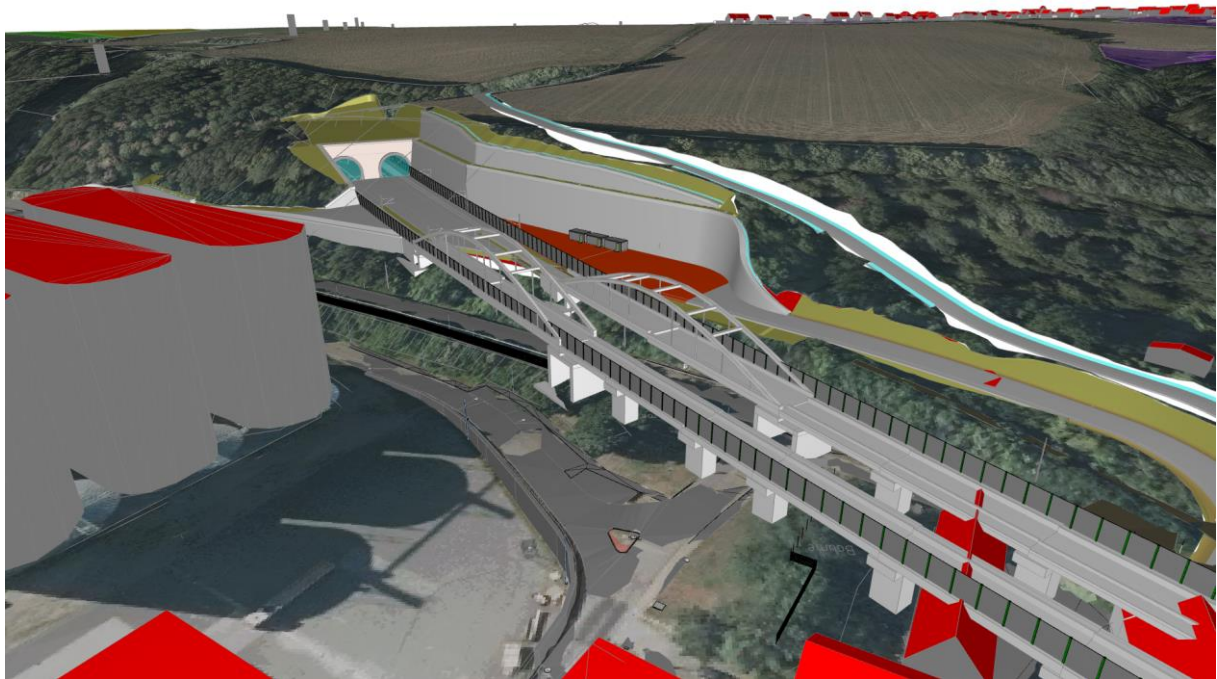


Abbildung 4-3: BIM-Darstellung der Brückenbauwerke und Tunnelportale in Heidenau (Stand: Vorplanung)
[Darstellung aus Großprojekt NBS Dresden-Prag]

Der Tunnel wird unter dem Erzgebirge hindurch verlaufen, wobei sich die geographische Grenze zwischen Deutschland und Tschechien innerhalb des Tunnels befinden wird. Beide Tunnelröhren werden eine leichte Steigung und Gefälle besitzen, sodass ein Hochpunkt im Tunnel entsteht und Wasser auf natürliche Weise abfließen kann. Die maximale Gradienten der NBS beträgt 7 ‰ [DBN23b].

Der Tunnelausgang wird sich auf tschechischer Seite befinden und ist in Abbildung 4-4 dargestellt. An dieser Stelle wird ebenfalls eine Abzweigstelle entstehen, wobei sich die NBS Dresden-Prag niveaufrei nach Chabařovice bzw. Ústí nad Labem verzweigt.

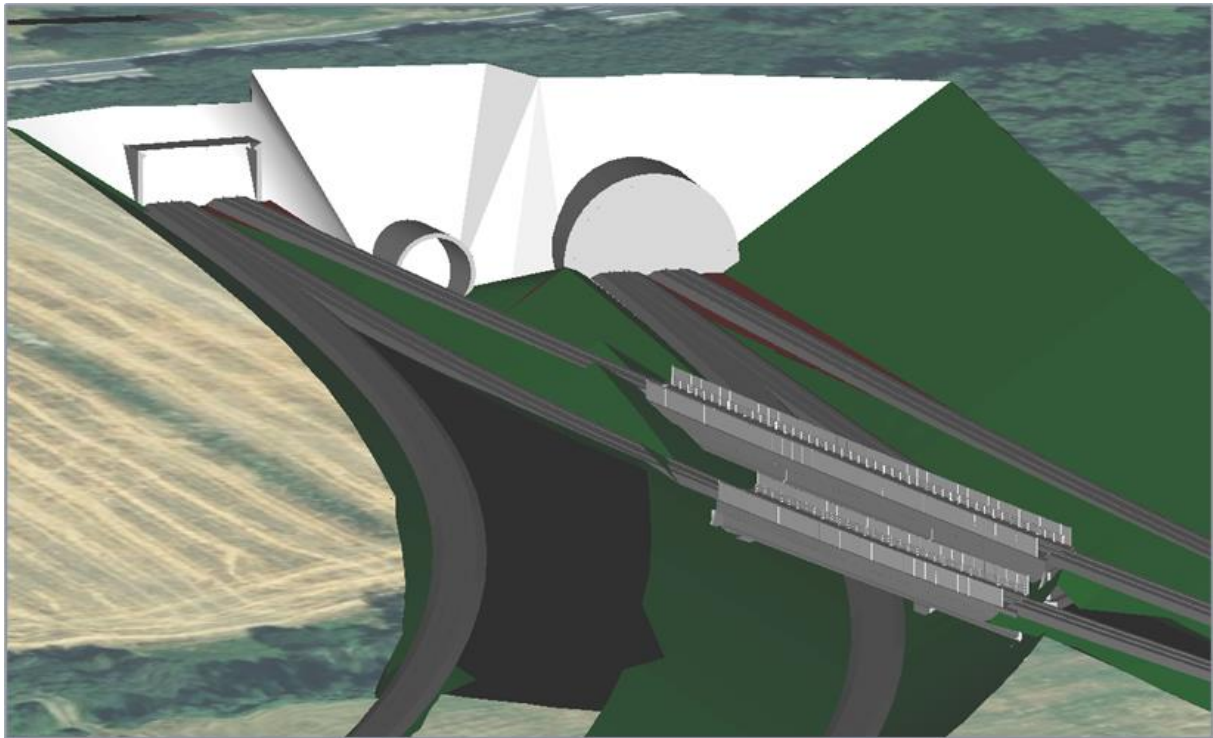


Abbildung 4-4: BIM-Darstellung der Tunnelportale nahe Stradov
[Darstellung aus Großprojekt NBS Dresden-Prag]

4.3 ETCS-Ausrüstung der NBS Dresden-Prag

In diesem Abschnitt werden die technischen Rahmenbedingungen und Festlegungen für die Ausrüstung der NBS Dresden-Prag mit ETCS erläutert. Das Kapitel 3 dient als Ausgangspunkt, um die projektrelevanten Aspekte aus dem allgemeinen ETCS-Transitionskonzept abzuleiten und auf die Eigenschaften der NBS Dresden-Prag anzuwenden.

Auf dem deutschen Staatsgebiet soll derzeit mindestens die aktuelle ETCS-Ausrüstung der Baseline 3 Release 2 mit SRS Version 3.6.0 und GSM-R Baseline 1 mit einer System Version 2.Y eingesetzt werden. Die aktuelle Vorzugsversion ist die SV 2.1. Im Bereich der Bestandsstrecke vom Dresdner Hauptbahnhof bis zur Abzweigstelle in Heidenau-Großsedlitz ist das konventionelle Zugbeeinflussungssystem PZB mit ortsfesten Signalen im Einsatz. Die ortsfeste Signalisierung, sowie das nationale System PZB sollen, laut aktueller Vorplanung, erhalten bleiben. Daraus ergibt sich, dass dieser Streckenabschnitt mit ETCS Level 2 mit Signalen ausgerüstet wird und das PZB als betriebliche Rückfallebene und Zugbeeinflussungssystem für Fahrzeuge ohne ETCS-Ausrüstung zur Verfügung steht. Ab der Abzweigstelle in Heidenau-Großsedlitz und speziell in den beiden Tunnelröhren wird auf das Klasse-B-

System verzichtet und die Strecke ausschließlich mit ETCS Level 2 ohne Signale ausgerüstet.

Die Správa železnic verfolgt das Ziel, ERTMS/ETCS auf den europäischen Verkehrskorridoren (Trans-European Transport Network - TEN-T) einzusetzen und wird das nationale Klasse-B-System LS nicht neu implementieren. Im Zuge dieser Aufrüstungen verfügt das Streckennetz der Správa železnic bereits über einige Strecken mit ETCS-Ausrüstung. Auf diesen Strecken steht ETCS Level 2 in Baseline 3 Release 2 mit SRS Version 3.6.0 mit der System Version 1.1 zur Verfügung. Diese SV bietet den Vorteil, dass die operierenden EVU sowohl ETCS-Fahrzeuge der Baseline 3 als auch der Baseline 2 einsetzen können. In Hinblick auf die Interoperabilität zum Streckennetz der DB Netz AG stellt dies ein grundlegendes Problem dar, da diese SV zueinander inkompatibel sind (siehe Abschnitt 2.3.3) [KON21].

An der Ausrüstung von Bestandsstrecken mit der SV 1.1 soll derzeit festgehalten werden. Im Hinblick auf zukünftige ETCS-Projekte, welche zeitlich vor der NBS Dresden-Prag realisiert werden sollen, gibt es seitens der Správa železnic die Überlegung, ETCS-Streckenausrüstung der SV 2.Y einzusetzen. Die SV 2.2 ist für das tschechische EIU von besonderem Interesse, da sie die Grundvoraussetzung für das autonome Fahren unter ETCS (ATO over ETCS) bietet. Aus diesem Grund ist die Aufrüstung von ETCS-Strecken der SV 1.1 auf die SV 2.Y in Zukunft vorgesehen. Den beteiligten Projektparteien ist bewusst, dass eine einheitliche SV die technische Interoperabilität maßgeblich vereinfacht und die angesprochenen Kompatibilitätsprobleme umgangen werden [DVO23]. Aus diesem Grund kann bei der weiteren Betrachtung von einer einheitlichen SV und einer RBC-Kopplung zwischen deutscher und tschechischer Seite ausgegangen werden.

Aufgrund der Festlegung der DB Netz AG hinsichtlich einer Ausrüstung der Streckeninfrastruktur in der Baseline 3, ist die NBS Dresden-Prag nur für Fahrzeuge mit gleicher oder höherer Baseline befahrbar. Für einen reibungslosen Ablauf des RBC-Handover sollten diese über zwei mobile GSM-R-Geräte an Bord verfügen und die technischen Netzzugangsbedingungen der beiden Nachbarstaaten erfüllen.

4.3.1 Stellwerk

Neben der angestrebten RBC-Kopplung ist eine Stellwerksschnittstelle zwischen dem geplanten Digitalen Stellwerk (DSTW) Heidenau und dem tschechischen Stellwerk notwendig. Das bestehende ESTW Heidenau wird durch den Neubau eines DSTW ersetzt und rückgebaut. Seit 01. Januar 2023 ist die Správa železnic dem Verband EULYNX beigetreten, welcher die Schnittstellen und die Architektur von DSTW definiert. Der Einsatz von DSTW im Zuständigkeitsbereich der Správa železnic soll zunächst in einem Pilotprojekt überprüft werden. Grundsätzlich verfolgen somit beide EIU das Ziel, die NBS Dresden-Prag mit der Stellwerkstechnik eines DSTW auszurüsten [DVO23]. Es ist noch zu prüfen, welche Stellentfernungen zukünftig mit einem DSTW realisiert werden können und welche Stellwerksgrenzen sich daraus ergeben.

4.3.2 Signalisierung und Gleisfreimeldung

Der Abschnitt der Volltunnelvariante wird ausschließlich mit ETCS Level 2 oS geplant, wodurch die Führerstandssignalisierung zum Einsatz kommt und lediglich ortsfeste Signaltafeln entlang der Strecke aufgestellt werden. Die Gleisfreimeldung der NBS Dresden-Prag soll mithilfe konventioneller Achszähler realisiert werden. Um den verkehrlichen Anforderungen in Zukunft gewachsen zu sein, wird von einer 500 m Blockteilung ausgegangen. Die Leistungs- und Funktionsfähigkeit dieser Blockteilung wäre im Rahmen von weiteren Untersuchungen zu überprüfen.

4.3.3 Verfügbares Funksystem, RBC-Handover & Systemtrennstelle

Sowohl die DB Netz AG, als auch die Správa železnic, setzen auf ihren ETCS-Strecken GSM-R als Funksystem ein. Folglich wird die NBS durchgehend mit GSM-R bzw. perspektivisch mit FRMCS ausgerüstet [TES17]. Die mögliche Abdeckung der GSM-R-Netze und die Lage des Handover-Bereichs sollen im Folgenden näher betrachtet werden.

Unter Berücksichtigung der geplanten Volltunnelvariante erscheint es zunächst sinnvoll, den GSM-R-Überlappungs- und Handover-Bereich vor den Tunnelportalen auf deutscher oder auf tschechischer Seite einzurichten. Der Vorteil wäre, dass die ETCS-Grenztransition vor dem eigentlichen Tunnel stattfindet, wodurch die Betriebsverhältnisse und Zuständigkeitsbereiche eindeutig festgelegt sind. Eines der beiden EIU wäre für die Ausrüstung der gesamten Tunnelröhren mit GSM-R und für

die Betriebsführung zuständig. Das zuständige EIU müsste dementsprechend eine GSM-R-Funkstation am anderen Ende des Tunnels errichten. In der aktuellen Planungsphase lässt sich noch nicht feststellen, ob eine Kopplung der GSM-R-Netze einen IPHO ermöglicht, wodurch die verfügbaren Gleislängen von etwa 3 km zwischen dem Bahnhof Heidenau und den Tunnelportalen in Heidenau-Großsedlitz nicht ausreichend lang sein könnten. Dieser Platzmangel herrscht ebenfalls auf tschechischer Seite. Die tschechischen Tunnelportale sollen südlich der Kreuzung der Fernverkehrsstraße 13 und 30 nahe Chabařovice entstehen. Aus diesem Grund gehen die tschechischen Planer aktuell davon aus, dass die Abzweigweichen nach Chabařovice noch im Tunnel eingebaut werden müssen, um die notwendigen Radien der Gleisbögen einhalten zu können. Aufgrund des Platzmangels ist eine ETCS-Transition in diesem Bereich nicht möglich. In Abschnitt 3.3 wurde aufgezeigt, dass die Errichtung und Instandhaltung von umfangreicher, physischer Streckeninfrastruktur auf fremdem Staatsgebiet nur durch den Abschluss eines Staatsvertrags möglich sind. Die Aushandlung eines solchen Vertrags kann mehrere Jahre in Anspruch nehmen. Aus den genannten Gründen wird diese Anordnung der ETCS-Grenztransition in der Nähe der Tunnelportale aktuell nicht favorisiert.

Die Alternative bildet die Umsetzung der ETCS-Grenztransition im Tunnel im Bereich des Tunnelhochpunkts. Aufgrund der begrenzten Funkreichweite und Verwaltungskapazität der RBC wird es ein RBC auf deutscher Seite und ein RBC auf tschechischer Seite geben. Diese Anordnung würde sich mit der Vorgabe der DB Richtlinie (Ril) 859.1202 decken, welche besagt, dass bei Tunnellängen > 9000 m die Einstrahlung des GSM-R-Netzes an beiden Tunnelenden durch jeweils eine Basisstation sowie mindestens zwei Basisstationen im Tunnel zu erfolgen hat. Eine RBC-Kopplung mit funktionsfähigem RBC-Handover soll die verkehrliche Leistungsfähigkeit der Strecke sicherstellen.

Die Systemtrennstelle der Oberleitung ist eine weitere, zentrale Problemstellung der technischen Ausrüstung der NBS, da sie viele Schnittstellen zur ETCS-Streckenausrüstung aufweist und die Fahrdynamik auf der Strecke maßgeblich beeinflusst. Die Systemtrennstelle der Oberleitung ermöglicht den Übergang zwischen den unterschiedlichen Bahnstromsystemen. Die tschechische Oberleitung wird mit AC 25 kV und einer Frequenz von 50 Hz betrieben. Auf deutscher Seite hingegen wird die Oberleitung mit AC 15 kV und 16,7 Hz gespeist. Die durchgeführte, fahrdynamische Untersuchung der DB Netz AG hat ergeben, dass die Anordnung der

Systemtrennstelle in Regelfahrtrichtung hinter dem Hochpunkt des Tunnels (auf tschechischer Seite) den betrieblichen Anforderungen gerecht wird. In Abbildung 4-5 ist die favorisierte Lage der Systemtrennstelle der Oberleitung und das Höhenprofil der Tunnel vereinfacht dargestellt.

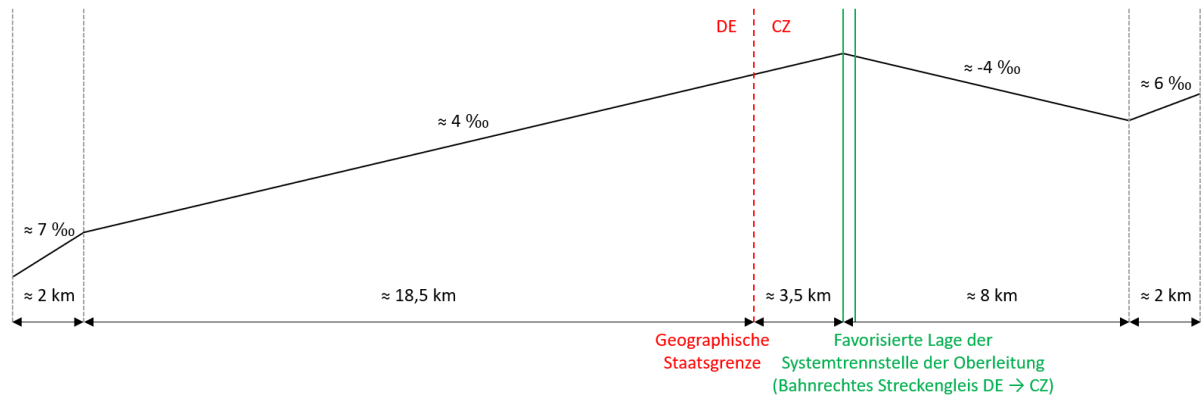


Abbildung 4-5: Schematische Darstellung des Höhenprofils des Tunnels und favorisierte Lage der Systemtrennstelle

Die fahrdynamische Untersuchung hat ergeben, dass das letzte Hauptsignal bzw. die ETCS-Halt-Tafel (Ne 14) ca. 1250 m vor der Systemtrennstelle aufgestellt werden muss, damit ein stehender Güterzug ausreichend Beschleunigungsweg hat, um den stromlosen Bereich sicher durchfahren zu können. Diese Variante ermöglicht es, die Schnittstellen der ETCS-Grenztransition und der Systemtrennstelle zusammenzufassen und in unmittelbarer Grenznähe umzusetzen [LEN23].

4.3.4 Grenztransitionskonzept der NBS

Im Folgenden wird ein mögliches ETCS-Grenztransitionskonzept der NBS Dresden-Prag erläutert. Die Grundidee besteht darin, die favorisierte Lage der Systemtrennstelle der Oberleitung und die sich daraus ergebenden Standorte der ETCS-Halt-Tafeln als Ausgangspunkte zu nutzen. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass sich die Systemtrennstelle bei einer Regelbefahrung hinter dem Tunnelhochpunkt im Gefälle und auf tschechischem Staatsgebiet befindet. Im Folgenden wird der iterative Prozess beschrieben, in welchem insgesamt drei Varianten entstanden sind, von denen letztendlich die Dritte im Abschnitt 6.4 simuliert wird. Die Anordnung der Komponenten ist detailliert in Anhang 13 bis Anhang 15 dargestellt. Die Darstellungen in Abbildung 4-6 bis Abbildung 4-8 enthalten aus Platzgründen keine Erläuterungen zu den gewählten Zeiten und Abständen, sollen jedoch das Verständnis des Entwurfs erleichtern. Die berechneten Abstände beziehen sich auf die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 200 km/h. Der dritte Entwurf ist als

funktionsfähiges ETCS-Transitionskonzept zu verstehen, welches durchaus Optimierungsbedarf, beispielsweise durch die Implementierung einer GSM-R Inter PLMN Handover (IPHO), besitzt. In Abbildung 4-6 ist der erste Entwurf dargestellt.

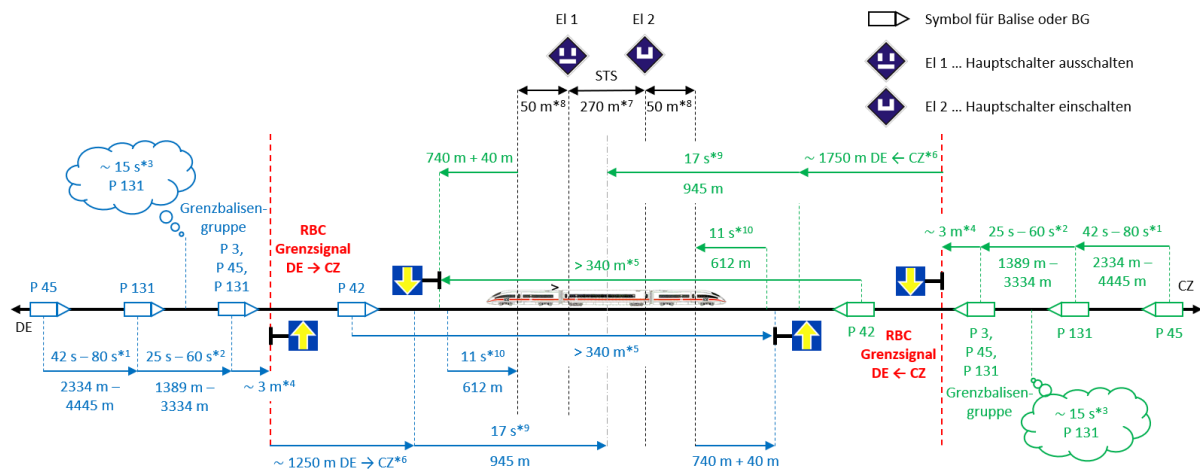


Abbildung 4-6: Erster Entwurf der ETCS-Grenztransition der NBS Dresden-Prag

Im Regelfall befährt das Fahrzeug die NBS Dresden-Prag mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Im ersten Schritt kommandiert eine Balisengruppe mit Paket 45 die Netzeinwahl in das tschechische GSM-R-Netz. Für die Netzeinwahl wird eine Maximaldauer von 42 s – 80 s (DB Lastenheft und DB Ril 819.1344) angenommen. Die Zeitangaben zur Netzeinwahl und zum Funkaufbau aus der Präsentation von Bernd Kampschulte (Tabelle 3) werden für die weitere Betrachtung nicht berücksichtigt. Nach der erfolgreichen Netzeinwahl kündigt eine Balisengruppe mit Paket 131 den bevorstehenden RBC-Handover an der Grenze an, wobei dem Fahrzeug die Daten für den Funkaufbau zum tschechischen ACC RBC und der Ort des Grenzbalisengruppe mitgeteilt werden. Bei der Vorankündigung des Orts des RBC-Handover muss laut DB Lastenheft zusätzlich der doppelte maximale Ortungsfehler zzgl. 19 m eingeplant werden. Die Vorankündigung des RBC-Handover wird zusätzlich per Radio Message wiederholt, sodass vor der Befahrung der Grenzbalisengruppe mindestens 10 s lang Daten zwischen dem Fahrzeug und dem tschechischen ACC RBC ausgetauscht werden können. Der tatsächliche Zuständigkeitswechsel des RBC erfolgt mit der Befahrung der Grenzbalisengruppe am RBC-Grenzsignal, wobei Paket 3 (National Values), 45 (falls notwendig zweiter Einwahlversuch in das tschechische GSM-R-Netz) und 131 (sofortiger RBC-Wechsel) übertragen werden. Hinter der RBC-Grenze befindet sich zudem eine Balisengruppe mit dem Paket 42, welche den Funkaufbau zum ACC RBC wiederholt. Das DB Lastenheft fordert bei einer projektierten SR-Geschwindigkeit von 40 km/h einen

Abstand größer 340 m zwischen der BG mit dem Paket 42 und dem nächsten Hauptsignal/ETCS-Halt-Tafel//Blockkennzeichen, um sicherzustellen, dass der Zug am nächsten Signal wieder in das Level 2 und die Betriebsart FS aufgenommen werden kann. Bei einer Anhebung der SR-Geschwindigkeit auf 50 km/h oder 100 km/h vergrößert sich dieser Abstand auf über 420 m bzw. über 840 m [DB1344; BTSF6.5].

Das RBC-Grenzsignal bildet den Ausgangspunkt für den Blockabschnitt der Systemtrennstelle, welche immer nur von einem Fahrzeug befahren werden darf. Hinter dem RBC-Grenzsignal folgt ein Beschleunigungsbereich für anfahrende Güterzüge. Dieser ist notwendig, damit ein Zug den spannungsfreien Oberleitungsabschnitt mit der vorgeschlagenen Mindestgeschwindigkeit von 40 km/h durchrollen kann, falls dieser gezwungen war, vor dem RBC-Grenzsignal anzuhalten. Die Längen der Beschleunigungsbereiche, welche im Zuge einer fahrdynamischen Untersuchung der DB Netz AG ermittelt wurden, unterscheiden sich je nach Fahrtrichtung, da die Systemtrennstelle folglich in der Steigung oder im Gefälle durchfahren werden muss [LEN23]. Die Vorankündigung der Systemtrennstelle bzw. der Bedienhandlung „Hauptschalter aus“ erfolgt laut SUBSET-040 17 s bzw. 11 s vor der Befahrung der Systemtrennstelle. Hinter der Systemtrennstelle ist ein Bereich von 780 m bis zur nächsten ETCS-Halt-Tafel zu planen, sodass ein nachgeschobener Güterzug mit einer maximalen Länge von 740 m sicher in diesem Gleisbereich zum Stehen kommen könnte [SUB-040; DB0301].

Der beschriebene Ablauf wäre bei einer Fahrt in Gegenrichtung (aus Tschechien kommend) identisch, jedoch muss die Systemtrennstelle in der Steigung durchrollt werden. Die Besonderheit an diesem Entwurf ist, dass die RBC-Grenze von der Fahrtrichtung abhängig ist. Dies stellt ein Problem dar, da somit die Zuständigkeit über die Systemtrennstelle ebenfalls durch die Fahrtrichtung bedingt ist. Dies ist in der Anwendung nicht praktikabel. Hinzu kommt, dass der etwa 5000 m lange Bereich zwischen den RBC-Grenzsignalen zusätzlich von beiden GSM-R-Netzen überlappt werden muss, was bei einer „Rücken-an-Rücken“-Anordnung der RBC-Grenzsignale nicht der Fall wäre. Unter diesen Gesichtspunkten wurde ein erster Optimierungsversuch unternommen, welcher in dem zweiten Entwurf mündet und in Abbildung 4-7 dargestellt ist.

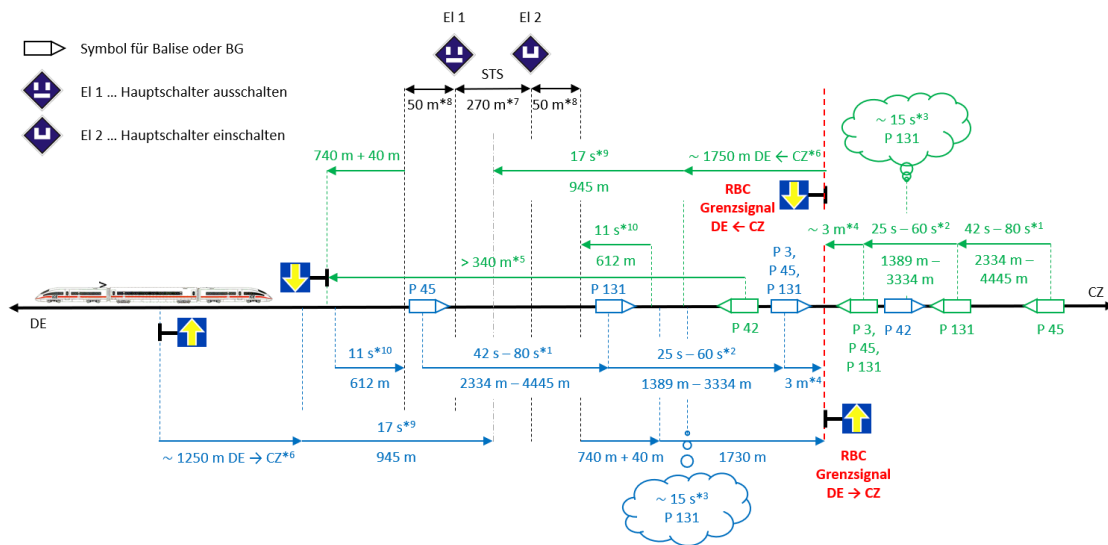


Abbildung 4-7: Zweiter Entwurf der ETCS-Grenztransition der NBS Dresden-Prag

Die Idee hinter dem zweiten Entwurf besteht darin, die RBC-Grenzsignale an einem gemeinsamen Standort in einer „Rücken-an-Rücken“-Anordnung zu positionieren. Hierzu wurde das RBC-Grenzsignal für die Fahrtrichtung von Deutschland nach Tschechien hinter die Systemtrennstelle verschoben. Dies bietet den Vorteil, dass bei einem notwendigen Halt vor der RBC-Grenze der Zug im Gefälle steht, was das anschließende Anfahren erleichtern würde. Anhand von Abbildung 4-7 ist ersichtlich, dass dieser Bereich 1730 m lang ist. Folglich könnte dieser mit Achszählern, ETCS-Blockkennzeichen und Balisen ausgerüstet werden, sodass eine Blockteilung von ca. 500 m projiziert werden könnte. Zudem wird der notwendige GSM-R-Überlappungsbereich, durch den gemeinsamen RBC-Grenzsignalstandort erheblich reduziert. Aus dieser Anordnung ergibt sich jedoch ein entscheidender Nachteil. Unabhängig von der Befahrungsrichtung wäre der deutsche Fahrdienstleiter für die Befahrung der Systemtrennstelle zuständig. Dies widerspricht jedoch einer bereits getroffenen Abrede zwischen den deutschen und tschechischen Ingenieuren der Oberleitungsanlage. Diese haben sich darauf verständigt, dass die tschechischen Bediener die Schalthoheit über die Systemtrennstelle erhalten sollen, da sie sich auf tschechischem Staatsgebiet befinden soll.

Folglich wurde in einem weiteren Optimierungsvorgang die gemeinsame RBC-Grenze, aus deutscher Sicht, vor die Systemtrennstelle verschoben. Der dritte Entwurf ist in Abbildung 4-8 zu sehen.

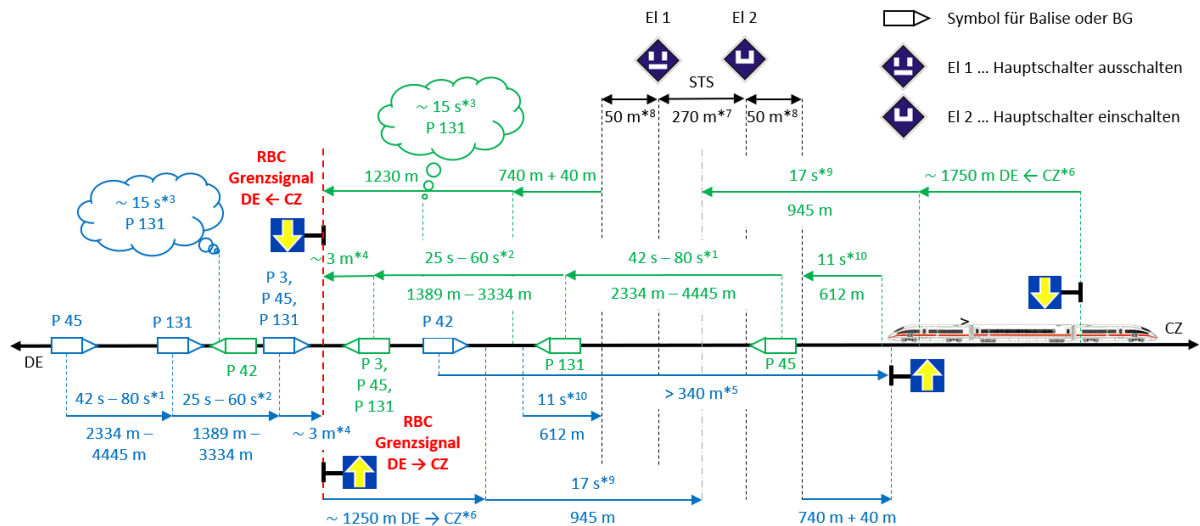


Abbildung 4-8: Dritter Entwurf der ETCS-Grenztransition der NBS Dresden-Prag

Bei einer Fahrt im Regelgleis von Deutschland nach Tschechien findet zunächst der RBC-Wechsel in der Steigung statt. Das RBC-Grenzsignal dient gleichzeitig als ETCS-Halt-Tafel für den dahinterliegenden Blockabschnitt mit der Beschleunigungsstrecke und Systemtrennstelle. In Abschnitt 6.3 wird eine Simulationsreihe des RBC-Handover an der RBC-Grenze in Abhängigkeit von der Streckenneigung durchgeführt, um nachzuweisen, dass die Lage der RBC-Grenze in der Steigung den betrieblichen Regelbetrieb nicht negativ beeinflusst.

Bei einer Fahrt in Gegenrichtung wird zuerst die Systemtrennstelle durchfahren und anschließend der RBC-Handover vollzogen. In dieser Fahrtrichtung wäre es analog zum zweiten Entwurf möglich, den 1230 m Streckenabschnitt zwischen Systemtrennstelle und RBC-Grenze mit Achszählern, ETCS-Blockkennzeichen und Balisen auszurüsten. Der dritte Entwurf umgeht die erläuterten Nachteile des ersten und zweiten Entwurfs, wird weiterverfolgt und in Abschnitt 6.4 als Simulation umgesetzt.

4.4 Betriebliche Anforderungen an die NBS Dresden-Prag

Wie bereits erwähnt beträgt die geplante Höchstgeschwindigkeit auf der NBS Dresden-Prag 200 km/h (optional 230 km/h). Es soll ETCS im Level 2 ohne Signale eingesetzt werden. Auf der NBS Dresden-Prag soll der Mischverkehr, bestehend aus Fern-, Regional- und Güterverkehr stattfinden.

Das vorgeschlagene ETCS-Grenztransitionskonzept bedingt, dass jeweils ein Fahrdienstleiter (Fdl) für einen Tunnelabschnitt (Regel- und Gegengleis) bis zum RBC-Übergang verantwortlich ist. Dies stellt besondere Anforderungen, welche bei der Erstellung des Sicherheits- und Rettungskonzepts zu beachten sind. Durch das Zusammenfassen der RBC-Schnittstelle und der Systemtrennstelle gilt es zu beachten, dass der Triebfahrzeugführer (Tf) bei der Befahrung nicht zu viele Bedienhandlungen gleichzeitig durchführen muss. Beispielsweise muss der GSM-R-Zugfunk manuell durch den Tf umgestellt werden, sodass dieser den tschechischen Tf telefonisch erreichen kann. Fahrzeuge, welche für Maximalgeschwindigkeiten von unter 160 km/h zugelassen oder älterer Bauart sind, können außerdem zusätzlich eine Bedienhandlung des Tf beim Aus- und Einschalten des Hauptschalters erfordern. In einer weiterführenden Arbeit sollte untersucht werden, ob die Zusammenlegung von RBC-Handover und Systemtrennstelle den Tf überfordern könnte.

5 Modellierung der Volltunnelvariante der Neubaustrecke Dresden–Prag

5.1 ETCS-Simulationssoftware des DZSF

Die verwendete Simulationssoftware vom Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) bietet für ETCS eine Testumgebung, in welcher Strecken mit ETCS-Ausrüstung konfiguriert, Betriebsszenarien simuliert und anschließend ausgewertet werden können. Die Software besteht aus unterschiedlichen Modulen und bietet eine Vielzahl von Einstellungsmöglichkeiten. Eine allumfassende Erläuterung der Simulationssoftware, ihrer Module und Funktionalität würde den Rahmen dieser Diplomarbeit überschreiten. Aus diesem Grund werden ausschließlich die Einstellungsmöglichkeiten erläutert, welche für die Erstellung der ETCS-Grenztransition essenziell sind.

In den folgenden Abschnitten soll es konkret um die Modellierung der Volltunnelvariante der NBS Dresden-Prag gehen. Anschließend ist es möglich anhand des erstellten Modells Simulationen durchzuführen, konkrete Problemstellungen zu analysieren und beispielsweise die Funktionalität des dritten Entwurfs der ETCS-Grenztransition nachzuweisen.

5.2 Erstellung eines Streckenmodells

Den Ausgangspunkt bildet das Anlegen einer passenden Projektstruktur. In dieser werden anschließend die zwei notwendigen RBC hinzugefügt und entsprechend konfiguriert (Abbildung 5-1).

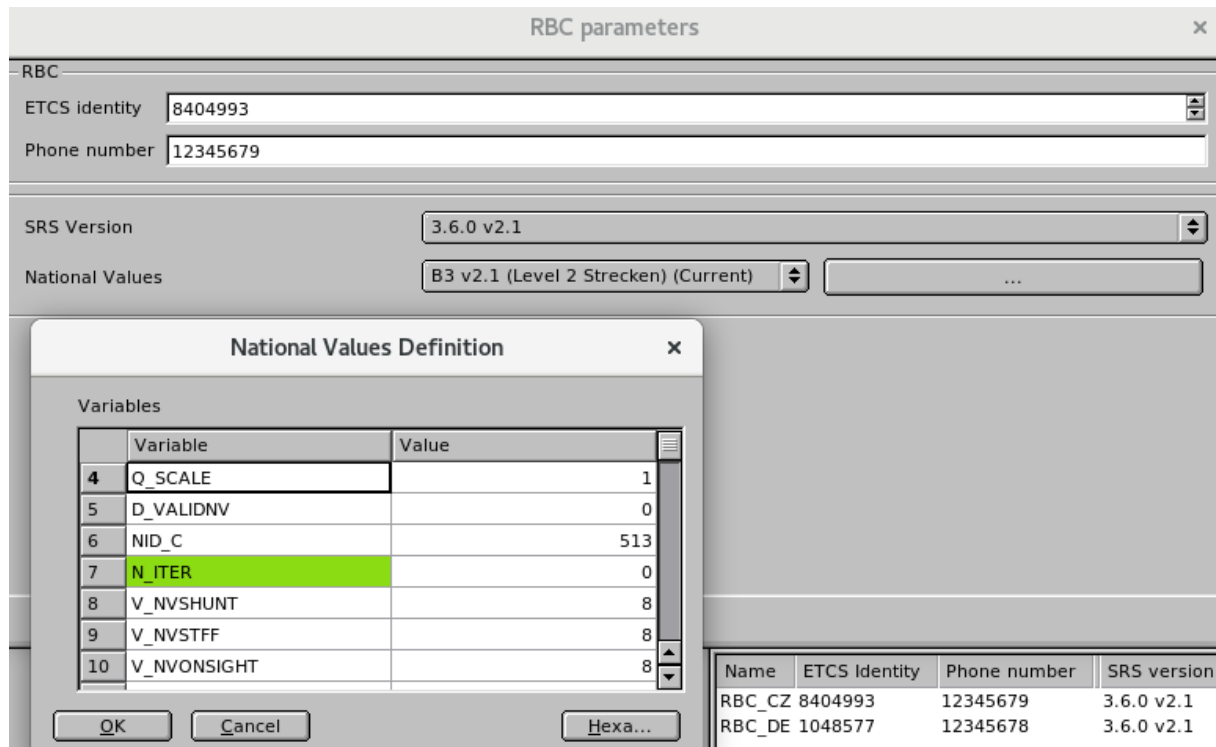


Abbildung 5-1: Konfiguration der RBC und deren National Values

Die in Abbildung 5-1 dargestellte ETCS Identity des RBC setzt sich aus der Bereichskennung (NID_C) und der RBC-Kennung (NID_RBC) zusammen. Die Wertebereiche der NID_C sind durch die ERA für jedes Land festgelegt und in Europa einheitlich abgestimmt. Die NID_C kann im Bereich der DB Netz von 64 – 127 reichen, wobei die 105 beispielsweise für die Berliner S-Bahn reserviert ist. Für das Netz der Správa železnic ist der Wertebereich 513 -519 reserviert [ERA23]. Jedes RBC erhält eine Telefonnummer, über welche das ETCS-Fahrzeug eine Funkverbindung zum RBC aufbauen kann. Für die NBS Dresden-Prag wird die SRS 3.6.0 und SV 2.1 angewendet. Die geltenden National Values (NV) der DB Netz AG und der Správa železnic für ETCS Level 2 Strecken werden in das Modell implementiert.

Im zweiten Schritt folgen das Anlegen der Gleisabschnitte und die Konfiguration der Gleisfreimeldung. Bei den Gleisabschnitten werden zunächst die Länge und die fortschreitende Kilometrierung der Strecke festgelegt. Der Kennzeichnung „62G01099“ können beispielsweise folgenden Informationen entnommen werden:

- 62 Bereichskennung der Strecke
- G01 Gleis 1 (beispielsweise bahnrechtetes Tunnelgleis)
- 099 Gleisabschnitt 99

Die Länge der Gleisabschnitte und die Lage der Weichen wurden den Planunterlagen und Spurplanskizzen der Vorplanung entnommen. Die Konfiguration der Achszähler für die Gleisfreimeldung ist in Abbildung 5-2 zu sehen. Anhand des Namens der Achszähler ist zu erkennen, welche Gleisabschnitte dieser voneinander trennt. Zudem werden die Lage des Achszählers im Gleissegment und die Zugehörigkeit der Gleisabschnitte zu den RBC festgelegt. Diese Zuordnung ist besonders im Überlappungsbereich des RBC-Handover von entscheidender Bedeutung für die spätere Funktionalität.

Track circuit joint name		Az 62G01099/62G01100	
On segment	62G01099	at 250.00 metres	Mileage 250.00 metres
Track Circuits: Entrance		Exit	
Detection	AxleCounter	Detection	AxleCounter
ILS	ILS0	ILS	ILS0
RBC	RBC_DE	RBC	RBC_DE

Abbildung 5-2: Erstellung der Gleisabschnitte und Konfiguration der Achszähler

Im Bereich von Weichen ist zu beachten, dass der Achszähler mindestens 3 m vor der Weichenspitze bzw. mindestens 6 m hinter dem Grenzzeichen der Weiche anzuordnen ist, um die Grenzzeichenfreiheit zu gewährleisten [DB1100].

In Abbildung 5-3 ist die Erstellung des Streckenprofils abgebildet. Hierbei wird zunächst das elektrische Profil der Oberleitungsanlage eingestellt, welche für den Gleisbereich gilt. Weiterhin werden die Gradienten der Strecke und die zulässige Höchstgeschwindigkeit in nominaler (von links nach rechts) und entgegengesetzter (von rechts nach links) Richtung definiert. Bei einem Wechsel des Streckenprofils kann ein weiterer „Profilpunkt“ positioniert werden, welcher die Änderung des Streckprofils beinhaltet. Jede Streckeneigenschaft wirkt von Punkt zu Punkt und in eine bestimmte Richtung. Die erstellte Gradienten wirkt beispielsweise immer in nominaler Richtung.

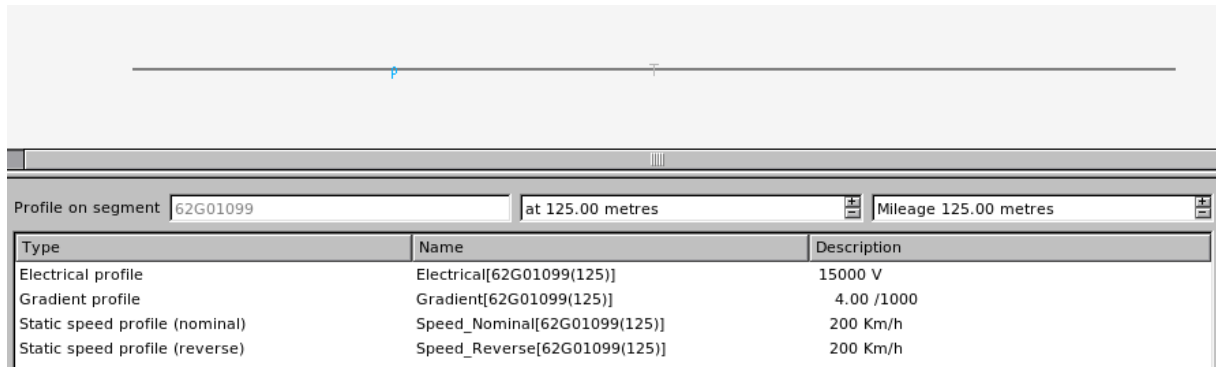


Abbildung 5-3: Festlegen des Streckenprofils

Nach der erfolgreichen Konfiguration der Achszähler und des Streckenprofils folgt die Anordnung der ETCS-Halt-Tafeln und ETCS-Blockkennzeichen. Die ETCS-Simulationssoftware ermöglicht die exakte Positionierung des Signals an der Strecke, die Einstellung der Wirkrichtung und die Zuordnung des Signals zu einem folgenden Gleisabschnitt (Abbildung 5-4).

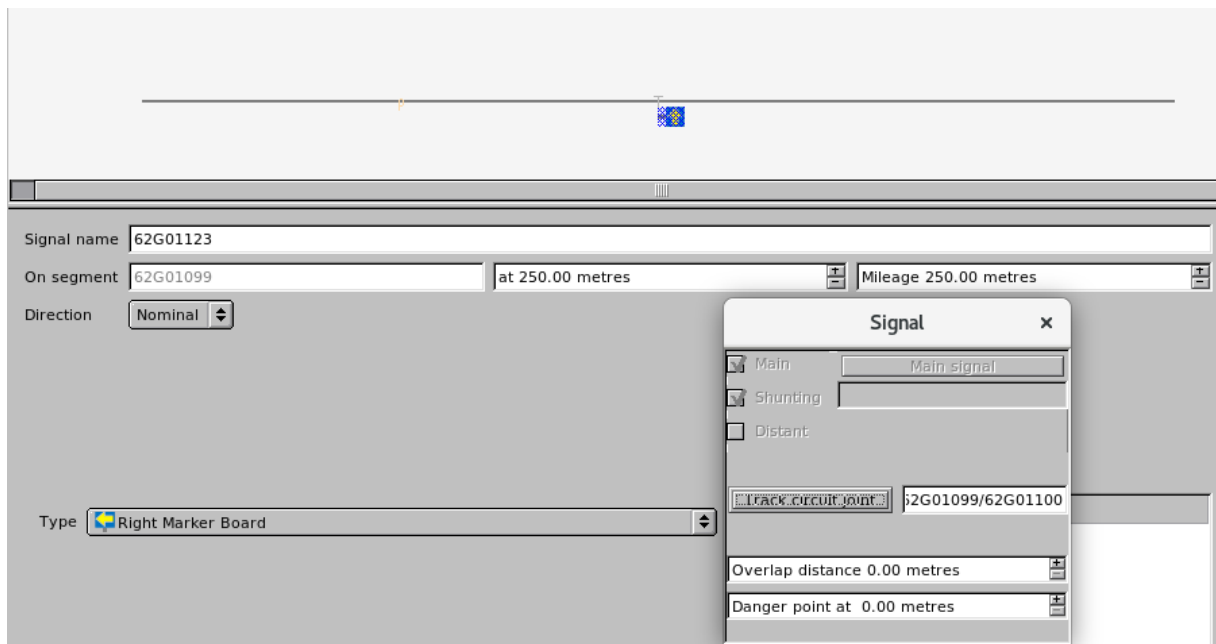


Abbildung 5-4: Konfiguration der ETCS-Halt-Tafeln und ETCS-Blockkennzeichen

Alle Signale in nominaler Richtung werden mit ungeraden Zahlen in aufsteigender Reihenfolge bezeichnet. Alle weiteren Signale in entgegengesetzter (reverse) Richtung werden mit geraden Zahlen in absteigender Reihenfolge bezeichnet.

Die Richtlinie 819.0519 macht Vorgaben zum ETCS L2 Hochleistungsblock, wie er auch auf der NBS Dresden-Prag vorgesehen ist. Der Richtlinie ist zu entnehmen, dass die Signalabstände mindestens 100 m bzw. bei Geschwindigkeiten von über 200 km/h mindestens 140 m betragen sollen. Kürzere Signalabstände sind möglich, bedürfen jedoch einer genaueren Betrachtung und Planung im Hinblick auf ETCS-

systembedingte Zwangspunkte. An ETCS-Blockkennzeichen soll ein Durchrutschweg mit separatem Freimeldeabschnitt geplant werden. Die Freimeldegrenze zwischen ETCS-Blockkennzeichen und Achszähler muss mindestens 50 m und soll 70 m betragen [DB0519]. Die Freimeldegrenze hinter Hauptsignalen bzw. ETCS-Halt-Tafeln muss auf Höhe der Signale beginnen, womit die Mitte des Signalmasts bzw. bei ETCS Level 2 ohne Signale die Position der ETCS-Halt-Tafel bezeichnet ist. Eine Montagetoleranz von +/- 3 m ist in begründeten Fällen zulässig [DB1100].

In Abbildung 5-5 ist das Einfügen und Positionieren der Balisen bzw. Balisengruppen (BG) dargestellt.

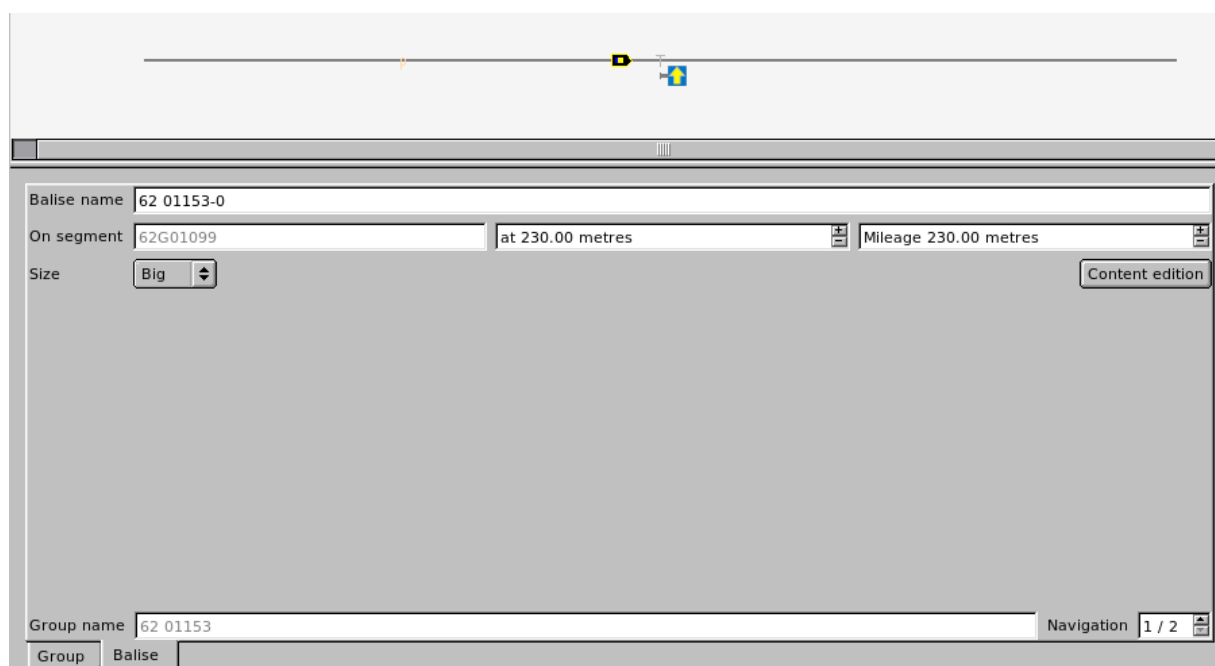


Abbildung 5-5: Schematische Anordnung der Balisen und Balisengruppen (BG)

Der Richtlinie 819.1344A02 - Grundsätze zur Erstellung der Ausführungsplanung PT1 für ETCS Level 2 sind die Vorschriften zur Anordnung und Positionierung der Balisen zu entnehmen. An Signalen und ETCS-Halt-Tafeln sind grundsätzlich eine BG, bestehend aus mindestens zwei Balisen, mit Paket 137 (Stop if in SR) zu planen. An ETCS-Blockkennzeichen ist lediglich eine einzelne Ortungsbalise notwendig. Der Abstand zwischen den Balisen einer BG muss mindestens 3 m und darf max. 12 m betragen. Grundsätzlich sollte der Wert von 3 m genutzt werden. Die erste Balise der BG darf maximal 6 m vor einem Signal oder einer ETCS-Halt-Tafel liegen. Die zweite Balise der BG muss mindestens 2,4 m vor dem Signal liegen. Eine Verlegung der Balisen näher am oder bis zu 6 m hinter das Signal ist grundsätzlich möglich, bedarf jedoch einer Begründung und weiterer Anpassungen. An ETCS-Blockkennzeichen ist

eine Verlegung der Ortungsbalise bis zu 6 m vor und, in begründeten Ausnahmefällen, bis zu 6 m hinter dem ETCS-Blockkennzeichen zulässig. Sofern in der Richtlinie keine speziellen Angaben gemacht werden, beträgt die Planungstoleranz von Balisen bzw. BG +/- 10 m. Die Toleranzen für die tatsächliche Installation der Balisen und BG im Gleis wird in Ril 892.9207Z71 behandelt [DB1344; DB1348].

Nach der Positionierung der Balisen und BG erfolgt die Programmierung der Balisentelegramme und die Auswahl der zu übertragenden Pakete. Die Bedeutung und der Inhalt der einzelnen Pakete kann dem SUBSET-026-7 entnommen werden.

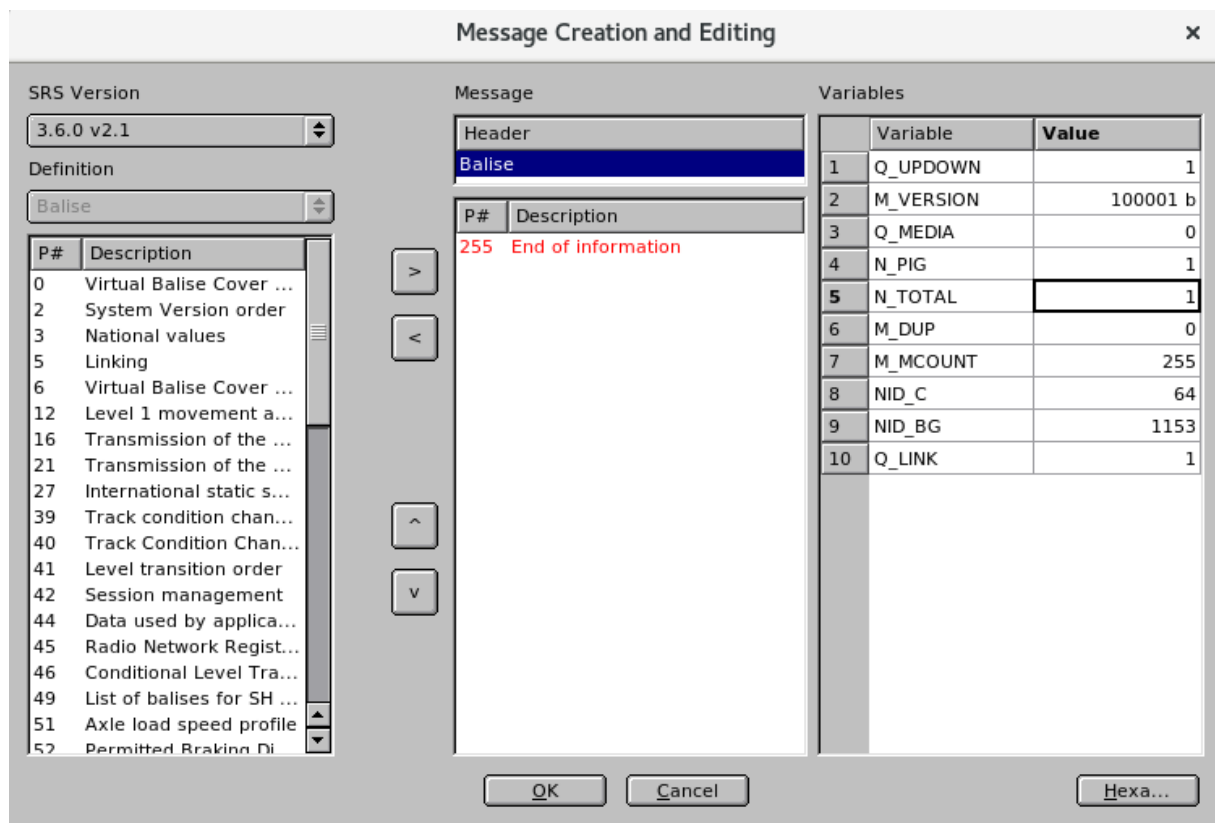


Abbildung 5-6: Konfiguration der Balisentelegramme

Das Erstellen und Positionieren von Time Table Markern ermöglicht es, feste Positionspunkte mit Ankunfts- und Abfahrtszeiten für die Simulation zu definieren. Anhand dieser Marker kann letztlich ein Fahrplan generiert werden, welcher es ermöglicht, umfangreiche Betriebssituationen automatisiert zu simulieren.

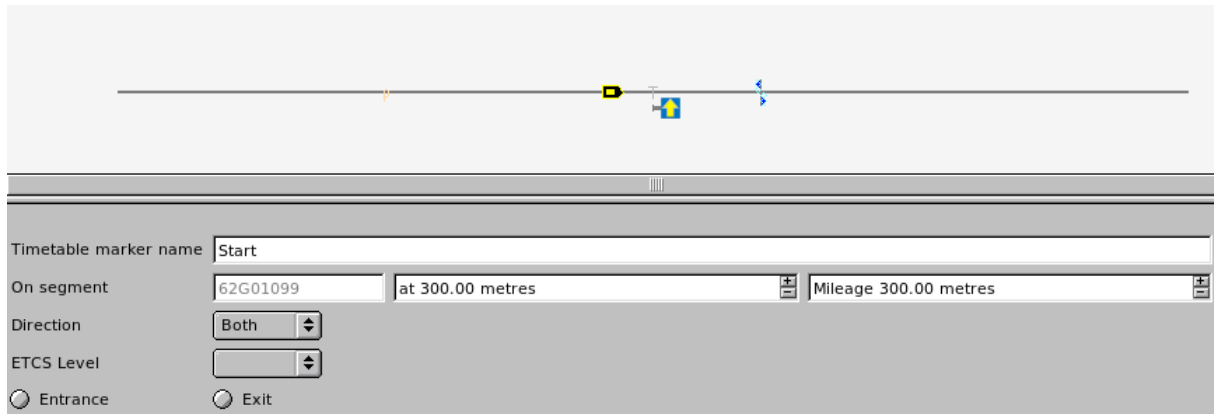


Abbildung 5-7: Erstellen von Time Table Marker für automatisierte Szenarien

Die Konfiguration der Time Table Marker kann für jedes Szenario individuell angepasst werden. Eine weite Konfigurationsmöglichkeit bietet die Einrichtung von Bereichen mit speziellen Eigenschaften. Bei diesen Bereichen kann es sich beispielsweise um vorübergehende Langsamfahrstellen (Temporary Speed Reductions – TSR), GSM-R-Funklöcher oder Streckenabschnitten mit spannungsloser Oberleitung handeln. Durch die Verwendung dieser Bereiche war es möglich, eine Vielzahl an Szenarien abzudecken und zu erproben.

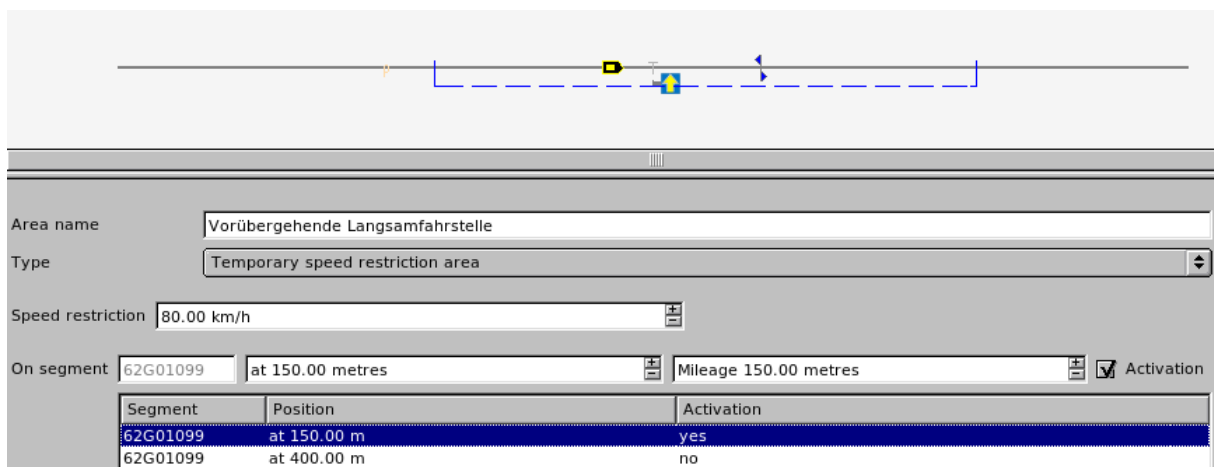


Abbildung 5-8: Festlegen von Streckenabschnitten mit speziellen Eigenschaften

5.3 Modellierung der Volltunnelvariante der NBS Dresden-Prag

Anhand der vorläufigen Planungsdaten der Volltunnelvariante ist es möglich, den Streckenverlauf und die Streckenausrüstung der NBS Dresden-Prag in einem zusammenhängenden Modell nachzubilden. Aufgrund der Länge und des Umfangs des Modells ist es nicht möglich eine zusammenhängende Darstellung anschaulich abzubilden. Aus diesem Grund sind in den folgenden Abbildung 5-9 bis Abbildung 5-11 die wichtigsten Abschnitte des Modells dargestellt.

In Abbildung 5-9 ist auf der linken Seite der Gleisbereich des Bahnhofs Heidenau teilweise abgebildet. Bei den dargestellten Gleisen handelt es sich um die durchgehenden Hauptgleise von und nach Bahnhof Dresden Hauptbahnhof und einem angedeuteten Bahnhofsgleis.

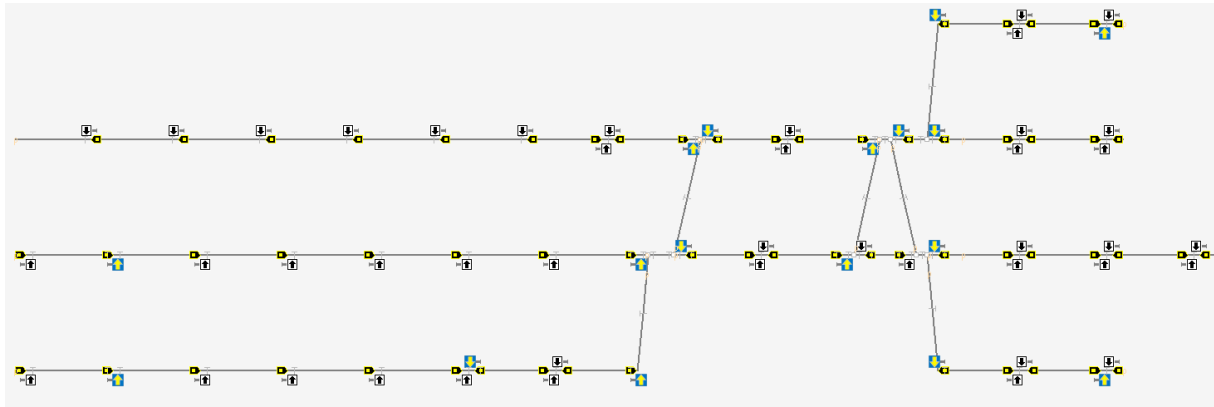


Abbildung 5-9: Gleisbereich der Abzweigstelle in Heidenau-Großsedlitz aus dem Modell der NBS Dresden-Prag

Weiterhin ist in Abbildung 5-9 eine Überleitstelle zu sehen, wodurch ein Gleiswechsel und Fahrten im Gegengleis stattfinden können. Im rechten Teil des Bildes ist die Abzweigstelle der NBS Dresden-Prag modelliert. Die NBS befindet sich im durchgehenden Hauptgleis, um die Maximalgeschwindigkeit von 200 km/h möglichst frühzeitig zu erreichen. Die Bestandsstrecke 6240 kann durch Fahrten in den abzweigenden Weichenstrang erreicht werden.

In Abbildung 5-10 ist der Streckenabschnitt im Tunnel dargestellt, an welchem die ETCS-Grenztransition stattfindet. Auf der linken Seite befinden sich die RBC-Grenzsignale. An dieser Stelle wird in der folgenden Simulation in Kapitel 6 der RBC-Handover stattfinden. Weiterhin ist der spannungsfreie Oberleitungsabschnitt der Systemtrennstelle als „Powerless Section“ definiert. Der gesamte Tunnelabschnitt ist über 30 km lang und verfügt über eine Blockteilung von 500 m. Lediglich im Bereich der Systemtrennstelle ist eine Blockteilung größer 500 m notwendig. Der Zentralblock wird durch die Anordnung von ETCS-Blockkennzeichen komplettiert.

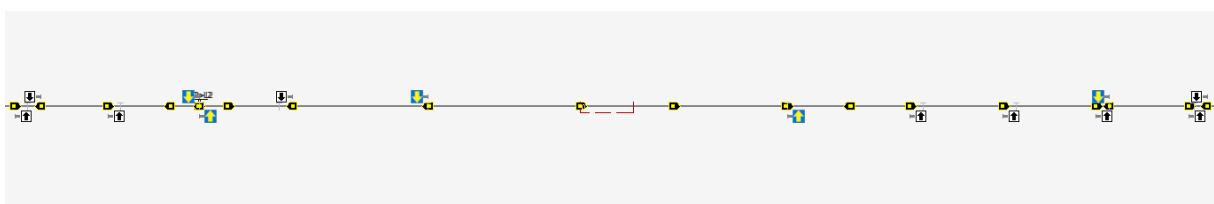


Abbildung 5-10: Ausschnitt der bahnrechten Tunnelröhre im Bereich der ETCS-Grenztransition/Systemtrennstelle aus dem Modell der NBS Dresden-Prag

Aufgrund der Streckenlänge und dem notwendigen Modellierungsaufwand wurde lediglich eine Tunnelröhre modelliert. Das ETCS-Blockkennzeichen war nicht im ursprünglichen Funktionsumfang der ETCS-Software enthalten und wird deshalb eigenständig in diese implementiert (siehe Abschnitt 5.4).

In Abbildung 5-11 sind die Gleisanlagen vor den tschechischen Tunnelportalen dargestellt. Die unteren beiden Gleise führen, ausgehend von der Abzweigstelle, nach Chabařovice. Die oberen Gleise sind die durchgehenden Hauptgleise und Bereitstellungsgleise von und nach Ústí nad Labem.

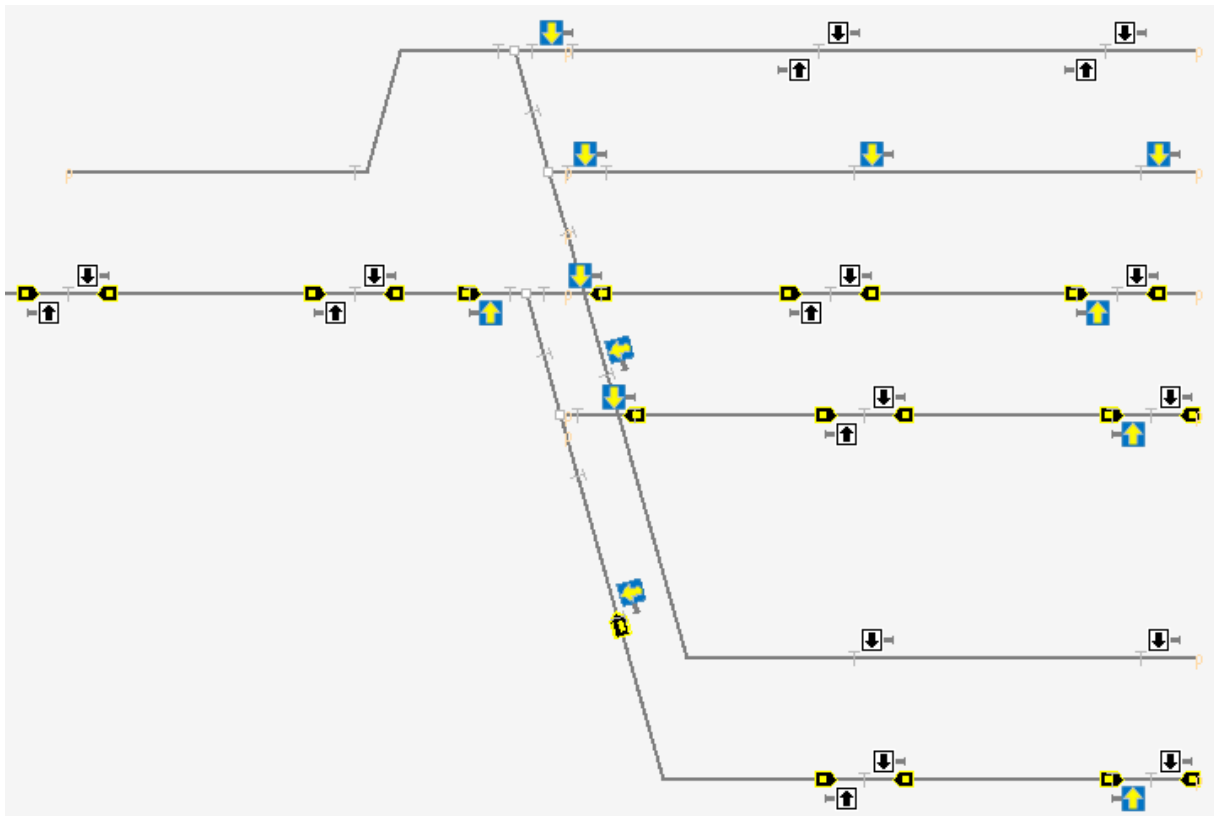


Abbildung 5-11: Gleisbereich der Abzweigstelle in Tschechien aus dem Modell der NBS Dresden-Prag

5.4 Implementierung des ETCS-Blockkennzeichen

Das ETCS-Blockkennzeichen ist nicht im ursprünglichen Funktionsumfang der ETCS-Simulationssoftware enthalten. Um die Simulationen vornehmen zu können, musste es implementiert werden. Das ETCS-Blockkennzeichen ist baulich vergleichbar mit der ETCS-Halt-Tafel und wird als statische Tafel an den Blockstellen der Strecke aufgestellt. Das ETCS-Blockkennzeichen wird oftmals als ETCS Location Marker bezeichnet und ersetzt am Aufstellungsort ein Hauptsignal. An dieser Stelle sei darauf

hingewiesen, dass ETCS-Blockkennzeichen ausschließlich von anzeigegeführten Zügen genutzt werden können.

Laut Ril 819.1344 bietet das ETCS-Blockkennzeichen gegenüber der ETCS-Halt-Tafel den Vorteil, dass am Signalstandort lediglich eine Einzelbalise zu Ortungszwecken platziert werden muss. An einer ETCS-Halt-Tafel muss hingegen eine BG positioniert werden [DB1344]. Bei einem Stückpreis von mehreren Tausend Euro pro Festdatenbalise ergibt sich für das Projekt NBS Dresden-Prag ein wirtschaftliches Einsparpotential bei den Ausrüstungskosten. Aus diesem Grund sollen entlang der Strecke ETCS-Blockkennzeichen geplant werden, deren Symbol in Abbildung 5-12 dargestellt ist.

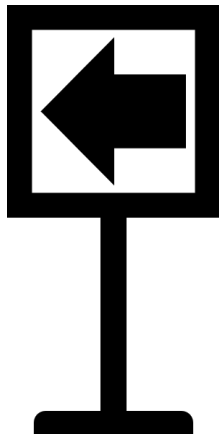


Abbildung 5-12: Symbol des ETCS-Blockkennzeichens
vgl. [DB9002]

Zum Entstehungszeitpunkt dieser Diplomarbeit sind im Streckeneditor lediglich die ETCS-Halt-Tafel und eine Auswahl an Lichtsignalen implementiert. Aus diesem Grund ist die Implementierung und Programmierung des ETCS-Blockkennzeichens in der ETCS-Simulationssoftware mit dem Signal-Type-Editor notwendig. Dieser ist in Abbildung 5-13 zu sehen.

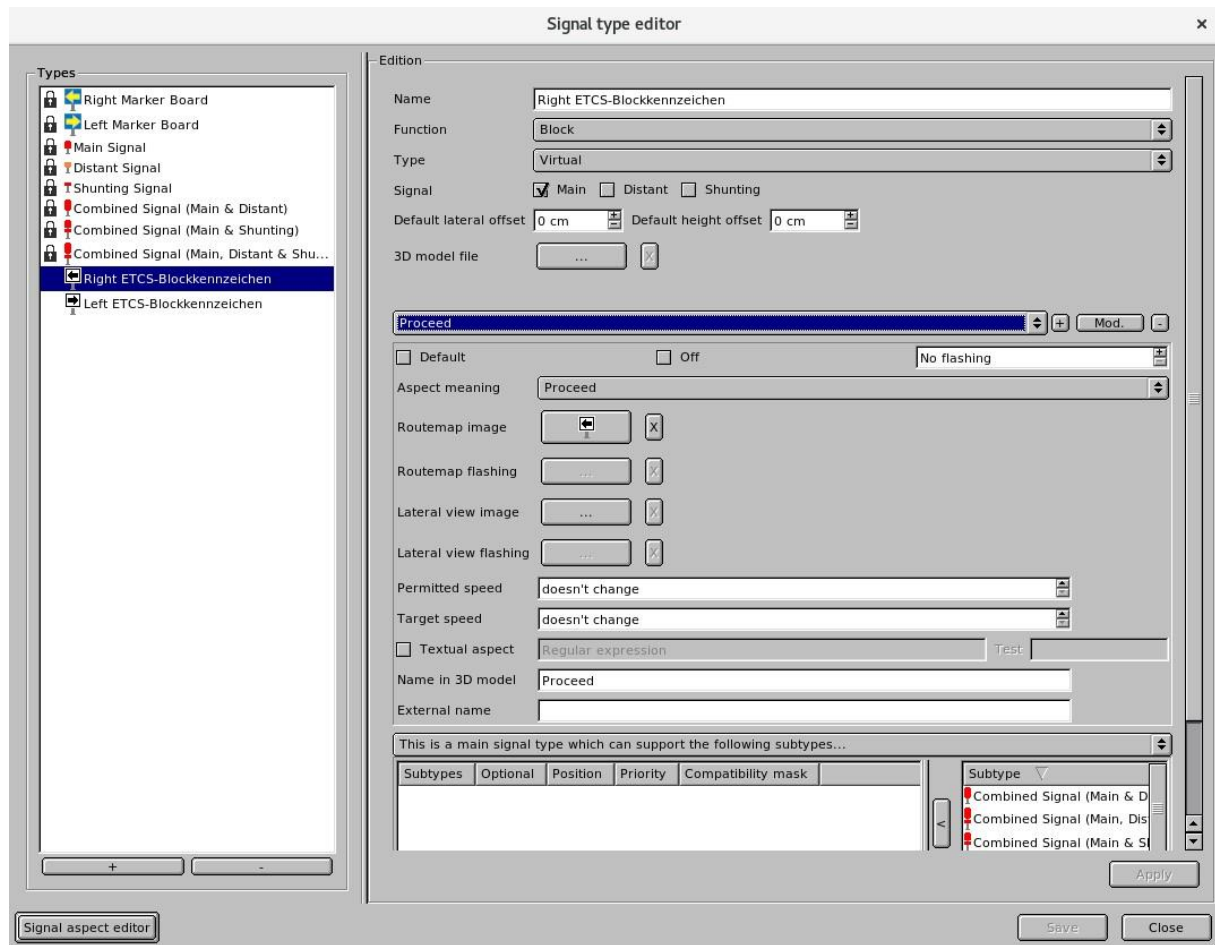


Abbildung 5-13: Implementierung des ETCS-Blockkennzeichens

In diesem Editor kann das Signalsymbol mit seinen Signalzuständen erstellt und anschließend das erforderliche Verhalten des Fahrzeugs, in Abhängigkeit vom Signalzustand, definiert werden.

5.5 Anlegen von Betriebsszenarien

Die Erstellung der Betriebsszenarien beginnt in der Regel mit dem Einfügen eines Fahrzeugs oder Zugs. Der Abbildung 5-14 ist zu entnehmen, dass zunächst ein Zugname, eine Startposition und eine SRS Version des Fahrzeugs ausgewählt wird. Weiterhin wird die Fahrtrichtung (nominal oder reverse) des Fahrzeugs festgelegt. Es ist grundsätzlich möglich, jedes Fahrzeug während der Simulation manuell zu steuern und Bedienhandlungen vorzunehmen. Die ETCS-Simulationssoftware bietet alternativ die Möglichkeit pro Zug einen automatischen Fahrer auszuwählen.

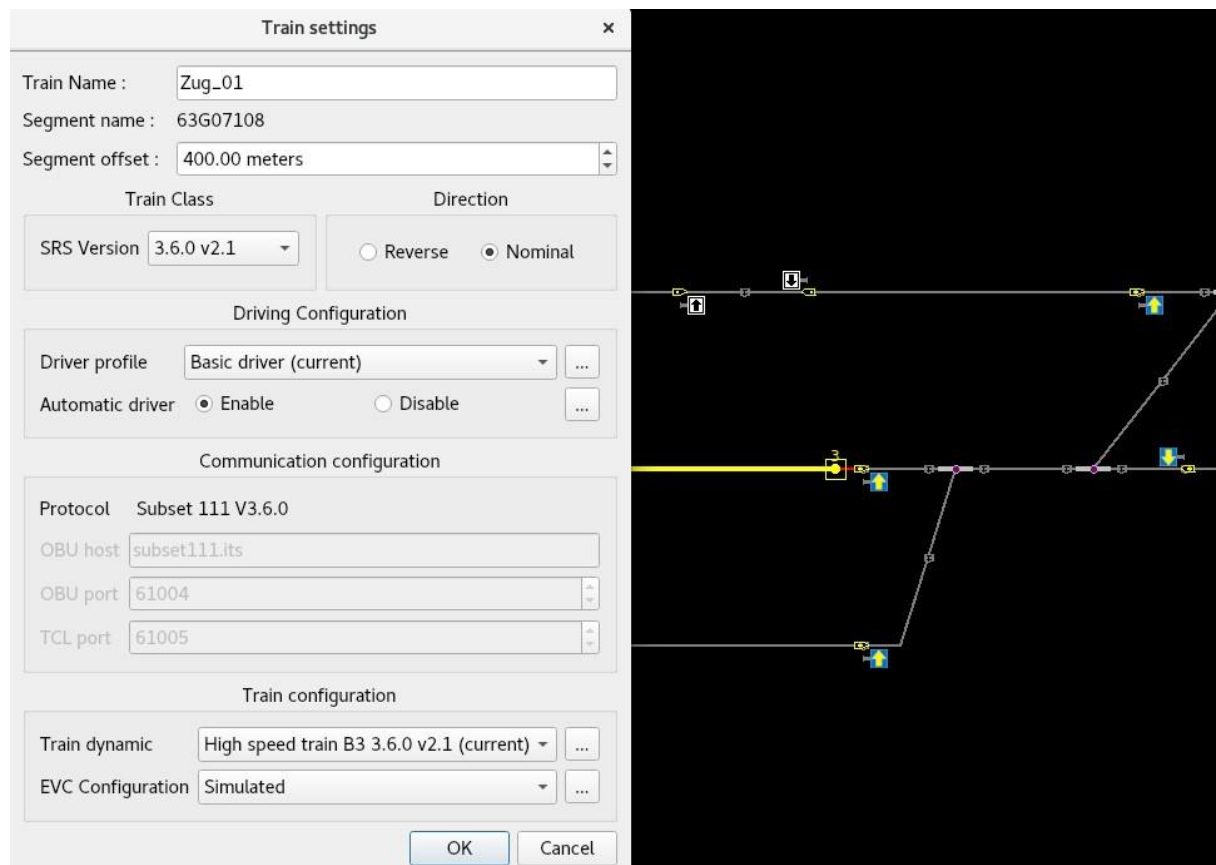


Abbildung 5-14: Einfügen des Fahrzeugs auf die Strecke

Im unteren Teil der Abbildung 5-14 kann die Art des Zugs (Train dynamic) ausgewählt und konfiguriert werden. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Diplomarbeit sind mit dem Güter-, Personen- und Hochgeschwindigkeitszug drei Züge vorimplementiert. Aufgrund des beschränkten Zeitrahmens der Diplomarbeit war es nicht möglich, z. B. die technischen Parameter eines ICE oder eines IC der DB zu ermitteln. Aus diesem Grund wird bei der Auswahl und Konfiguration der Fahrzeuge auf die vordefinierten Standardzüge der französischen Entwicklungsfirma Clearsy zurückgegriffen.

Die vorimplementierten Züge können angepasst und deren fahrdynamische und technische Parameter verändert werden. In Abbildung 5-15 ist ein Ausschnitt der Einstellungsmöglichkeiten dargestellt.

Abbildung 5-15: Technische Parameter des Hochgeschwindigkeitszugs

Die Variation der Zuglänge, Zugmasse oder zulässigen Höchstgeschwindigkeit ist beispielsweise problemlos möglich. Im letzten Konfigurationsschritt können die ETCS-Parameter der Züge eingestellt werden.

Im Menü Eurocab parameters wird die ETCS-Fahrzeugidentität (NID_ENGINE) definiert, die Anzahl der GSM-R ETCS-Mobilstationen und entsprechende Telefonnummern festgelegt. Anschließend werden die Bedingungen zum Beginn der Fahrt festgelegt. In Abbildung 5-16 verfügt der Zug bereits über eine Zugnummer und der Tf hat seine Fahrernummer (Driver ID) eingegeben. Das Fahrzeug befindet sich in einem Streckenabschnitt, welcher mit ETCS Level 2 ausgerüstet ist und die ID und Telefonnummer des zuständigen RBC ist bekannt. Lediglich die genaue Position und Entfernung zur Last Relevant Balise Groupe (LRBG) ist unbekannt. Zudem sind die erforderlichen National Values (NV) bereits im Fahrzeug gespeichert.

Eurocab Parameters [x]

Eurocab parameters

Eurocab parameters name: Default Eurocab Parameters

ETCS identity: 3

Phone numbers: 2, 524, 525

Starting conditions

Train running number: 3

Driver identity: 321

Line level: Level 2

Radio network identity: 0

RBC identity: 64, 1, 1048577

RBC phone number: 12345678

LRBG location validity: Unknown

LRBG country: 0, LRBG group: 0

LRBG direction: Nominal

LRBG distance: 0 m

Calculate LRBG values

Stored national values

B3 v2.1 (Level 2 Strecken) (Current) ...

OK Cancel

Abbildung 5-16: ETCS-Parameter eines Fahrzeugs

Damit ist die Modellierung abgeschlossen. Mit dem erstellten Simulationsmodell soll anschließend die erstellte ETCS-Grenztransition in der Simulationssoftware getestet werden.

6 Simulationen in der ETCS-Simulationssoftware

6.1 Validierung der Fahrdynamik der ETCS-Simulationssoftware

In einer ersten Simulationsreihe soll die Korrektheit der Fahrdynamik der ETCS-Simulationssoftware überprüft werden. Das Ziel dieser Simulation ist es, die Beschleunigungs- und Bremskurven von Zügen in Abhängigkeit von der Gradienten zu untersuchen und die Plausibilität der Simulationsergebnisse zu bewerten.

Hierzu wird eine 30 km lange Teststrecke mit ETCS Level 2 ohne Signale entworfen. Die Gleisabschnitte dieser Teststrecke haben jeweils eine Länge von 1000 m und sind durch Achszähler unterteilt. An den ETCS-Halt-Tafeln werden BG zur Absolutortung des Zugs angeordnet, um den Odometriefehler des Fahrzeugs zurückzusetzen. Ein Ausschnitt des erstellten Streckenlayout ist in Abbildung 6-1 dargestellt.

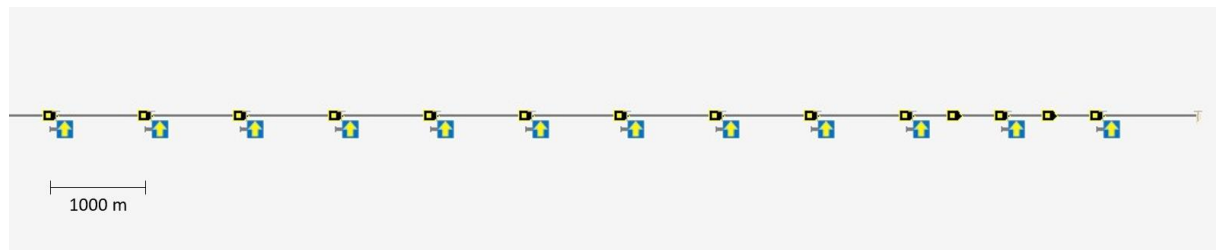


Abbildung 6-1: Ausschnitt von der Teststrecke

In der Simulation beschleunigt der Zug auf der Strecke zunächst auf die jeweilige Höchstgeschwindigkeit und führt anschließend eine Bremsung durch, sodass dieser vor dem letzten Signal zum Stehen kommt. Die Simulation wird mit allen drei verfügbaren Zugarten durchgeführt, wobei die Streckengradienten von -8‰ bis $+8\text{‰}$ variiert. Die Schrittweite der Gradienten zwischen den Simulationen beträgt $\Delta = 2\text{‰}$.

6.1.1 Fahrdynamik des Hochgeschwindigkeitszugs

Die implementierte Vorlage des Hochgeschwindigkeitszugs wird für die Simulation der entsprechenden ETCS-Bremskurven verwendet. In Abbildung 6-2 sind die Simulationsergebnisse für den Hochgeschwindigkeitszug dargestellt.

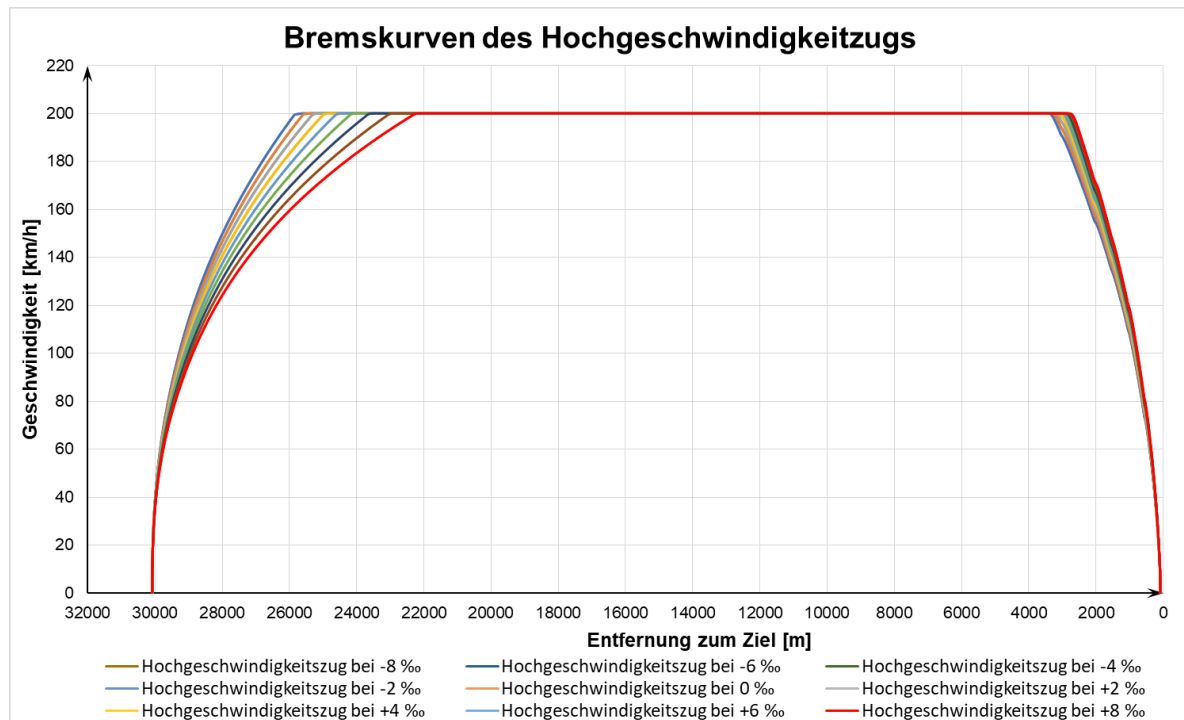


Abbildung 6-2: Beschleunigungs- und Bremskurven des Hochgeschwindigkeitszugs

Die Abbildung 6-2 liefert das erwartete Ergebnis bezüglich der fahrdynamischen Untersuchung des Hochgeschwindigkeitszugs. Anhand der Beschleunigungskurven ist ersichtlich, dass der Hochgeschwindigkeitszug im Gefälle schneller auf die Höchstgeschwindigkeit von 200 km/h beschleunigen kann, als in der Steigung. Es ist physikalisch nachvollziehbar, dass der Hochgeschwindigkeitszug mit zunehmendem Gefälle weniger Strecke benötigt, um auf die maximale Geschwindigkeit zu beschleunigen. Die Bremskurven sind in Abbildung 6-3 detaillierter dargestellt. Die Bremskurven sind nachvollziehbar, da der notwendige Bremsweg mit zunehmender Steigung abnimmt. Dies erscheint logisch, da die positive Streckengradiente die Bremsung des Zuges unterstützt. Mit steigendem Gefälle nimmt der Bremsweg entsprechend dieser Logik zu, da dieses dem Bremsvorgang entgegenwirkt.

Die Knickpunkte innerhalb der Bremskurven in Abbildung 6-3 sind korrekt und letztendlich auf die Verwendung des automatischen Fahrers in der Simulation zurückzuführen. Im Bereich vor dem Zielsignal wurden im 500 m Abstand BG verlegt, um den Odometriefehler (Confidence Intervalls) gering zu halten und die Bremsung möglichst exakt durchzuführen. Durch das Zurücksetzen des Odometriefehlers, erfolgt eine Korrektur der Position der Zugspitze, wodurch die zulässige Ist-Geschwindigkeit des Zuges steigt, welche der automatische Fahrer ausnutzt.

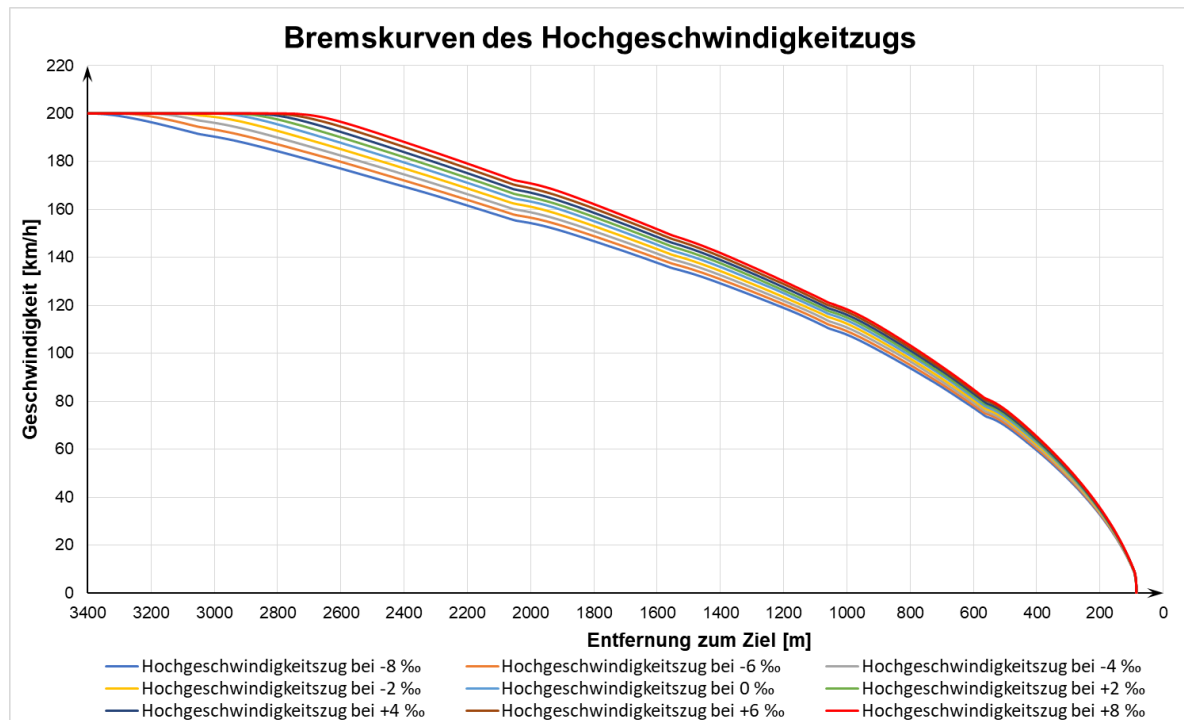


Abbildung 6-3: Detaildarstellung der Bremskurven des Hochgeschwindigkeitszugs

6.1.2 Fahrdynamik des Personenzugs

Für die Simulation der ETCS-Bremskurven eines Personenzugs wird die zulässige Höchstgeschwindigkeit des vorimplementierten Personenzugs mithilfe der technischen und ETCS-Parameter auf 160 km/h begrenzt. Die Simulationsergebnisse in Abbildung 6-4 sind mit denen des Hochgeschwindigkeitszugs vergleichbar.

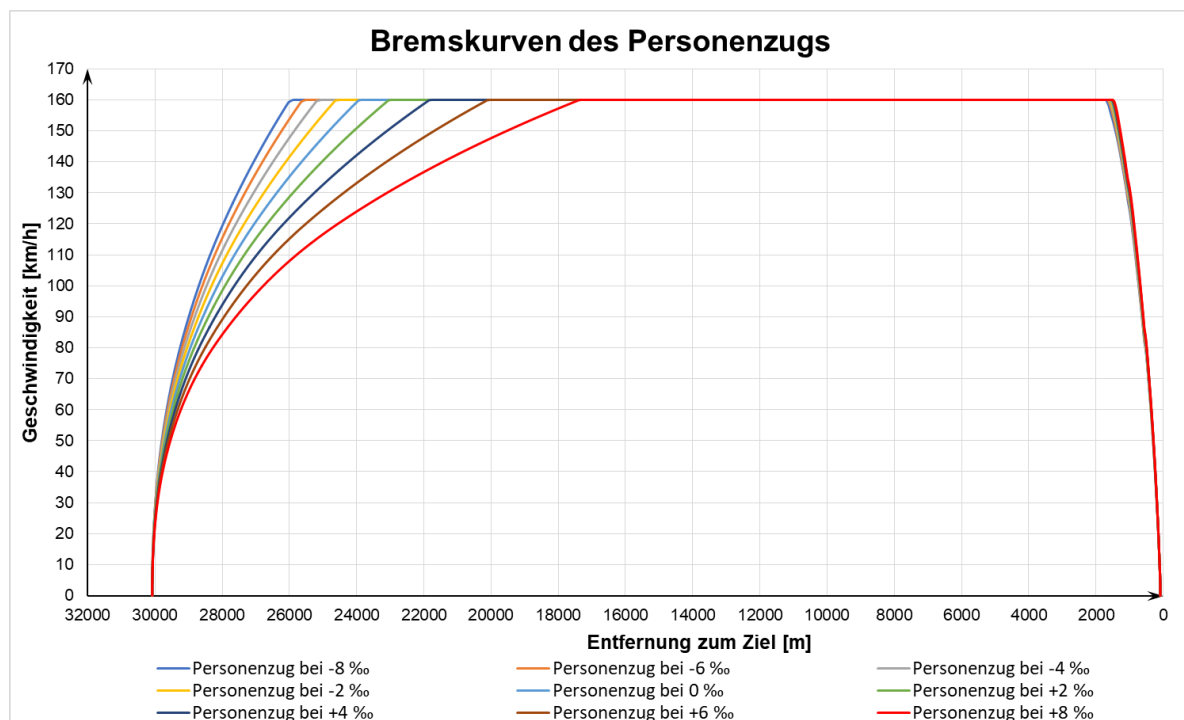


Abbildung 6-4: Beschleunigungs- und Bremskurven des Personenzugs

6.1.3 Fahrdynamik des Güterzugs

Die Simulationsergebnisse für den Güterzug sind in Abbildung 6-5 zu sehen und zeigen einen Verlauf, welcher physikalisch und logisch nicht nachvollziehbar ist. Die Beschleunigungskurven im Gefälle sind vergleichbar mit den vorherigen Simulationsergebnissen, allerdings ist unerklärlich, weshalb die Bremskurven im Gefälle exakt deckungsgleich sind. Weiterhin ist es nicht möglich, die Simulation auf der Strecke mit einer Gradienten von 0 ‰ durchzuführen. Nach dem Start des Simulationsprogramms erfolgt eine Fehlermeldung, woraufhin das Programm abstürzt. Somit ist es nicht möglich diese Simulationsreihe aufzunehmen. Es ist es nicht nachvollziehbar, dass es der Güterzug bei einer Streckengradienten von 2 ‰ nicht schafft, auf die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h zu beschleunigen und nach etwa 4000 m eine langsame, aber beständige Bremsung einleitet.

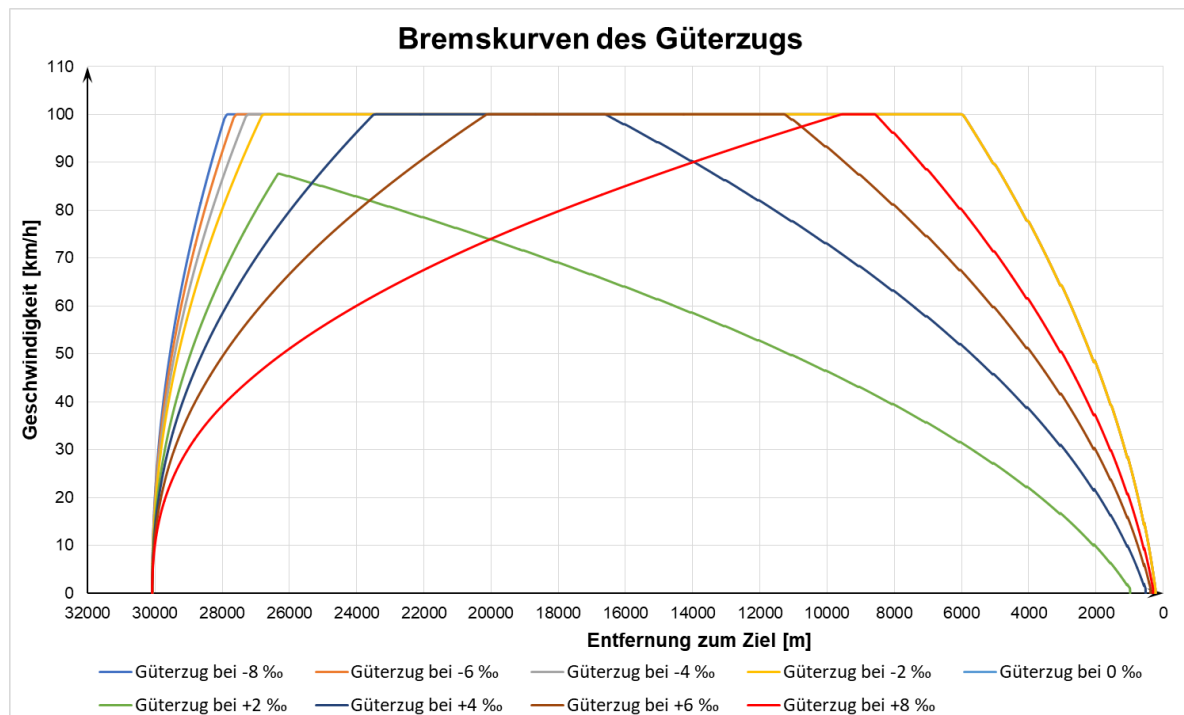


Abbildung 6-5: Beschleunigungs- und Bremskurven des Güterzugs

Im Austausch mit dem französischen Entwicklerteam konnte ermittelt werden, dass die fehlerhaften Simulationsergebnisse auf eine fehlerhafte Implementierung des Güterzugs in der Simulationssoftware zurückzuführen sind. Die fehlerhafte Implementierung konnte durch das Entwicklerteam jedoch nicht im Zeitraum der Erstellung dieser Diplomarbeit behoben werden. Durch die Simulation der Fahrdynamik konnte nachgewiesen werden, dass die eingesetzte ETCS-Software für Hochgeschwindigkeits- und Personenzüge plausible Ergebnisse liefert. Die

Validierung für diese Zugarten wurde erfolgreich durchgeführt. Für Güterzüge konnte die Simulationssoftware nicht erfolgreich validiert werden, weshalb in folgenden Simulationen auf den Einsatz dieser Zugart verzichtet werden muss.

6.2 Implementierung der National Values

Beim Grenzübertritt des Fahrzeugs unter ETCS erhält dieses die National Values (NV) des neuen Landes mit Paket 3 per Balisentelegramm oder Radio Message. Auf den Einfluss der NV wurde bereits in Abschnitt 3.5.2 eingegangen. In den NV können Korrekturfaktoren genutzt werden, um die Berechnung und den Verlauf der ETCS-Bremskurven individuell zu beeinflussen. Folglich können sich die definierten Bremskurven von Land zu Land voneinander unterscheiden. Den kritischen Fall stellt eine Fahrt dar, bei welcher das Fahrzeug eine Bremsung über die Grenze hinweg durchführt. Durch den Wechsel der NV könnte es auftreten, dass die neue Bremskurve restriktiver gestaltet ist, wodurch die zulässige Geschwindigkeit des Fahrzeugs sprunghaft reduziert wird und eine Zwangsbremmung des Fahrzeugs erfolgt. Dieser Fall wird als ETCS-Bremskurvensprung bezeichnet. Die Thematik von ETCS-Bremskurvensprüngen wird in der Diplomarbeit von Robert Schwenzer behandelt [SCH21].

In Tschechien sind bislang nur die NV für die SRS 3.6.0 und SV 1.1 definiert. Aus diesem Grund wurden die NV auf die neue SV 2.1 übertragen und die nicht vorhandenen Variablen aus Anhang 9 auf tschechischer Seite durch die Werte der DB Netz AG vervollständigt, da die Simulationssoftware keine Freistellen akzeptiert.

Die Simulation in Abbildung 6-6 wird mit dem Hochgeschwindigkeitszug durchgeführt und zeigt, dass sich die Bremskurven der SRS 3.6.0 und SV 2.1, bedingt durch die NV, zwischen Deutschland und Tschechien unterscheiden. Der Verlauf beider Bremskurven ist vergleichbar. Die tschechische Bremskurve ist jedoch etwas restriktiver, wodurch der Zug mit den tschechischen NV die Bremsung eher einleitet. Die Analyse der Simulationsergebnisse ergibt eine maximale Differenz der zulässigen Geschwindigkeit von etwa 4 km/h. Folglich ist zu untersuchen, ob diese sprunghafte Änderung eine Sicherheitsreaktion des Zugs auslösen würde.

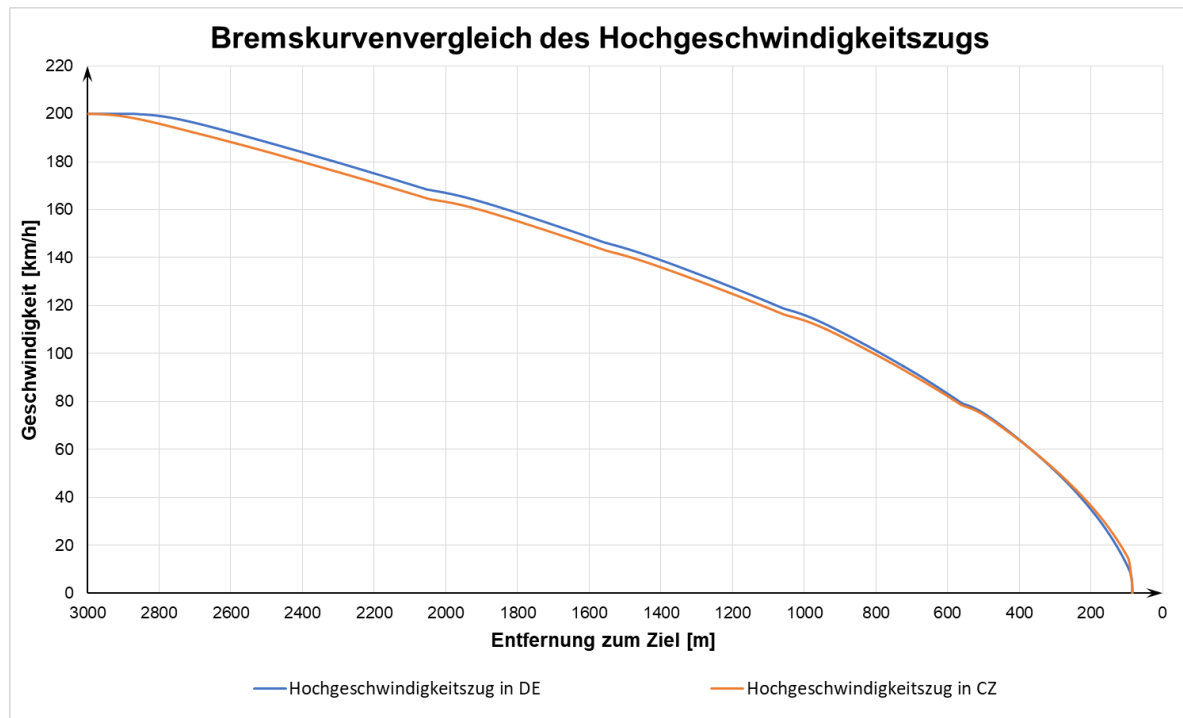


Abbildung 6-6: Bremskurvenvergleich anhand der NV in Deutschland und Tschechien

Bei einer Fahrt unter ETCS, in der Betriebsart FS, erhält der Tf Vorabinformationen über eine bevorstehende Bremsung von der OBU. Die Informationen sollen den Fahrer bei der Durchführung der Bremsung unterstützen und ein komfortables Fahren ermöglichen. Das ETCS definiert mit der Anzeige (Indication - I), der zulässigen Geschwindigkeit (Permitted speed -P), der Warnung (Warning - W) und der Betriebsbremseinsatzkurve (Service Brake Intervention - SBI) insgesamt vier Überwachungsgrenzen, welche von der OBU in Echtzeit berechnet werden. Die beschriebenen Überwachungsgrenzen sind in Abbildung 6-7 dargestellt und markiert. Die Anzeige (Indication - I) und der zugehörige Bereich sind in Abbildung 6-7 gelb dargestellt und kündigen eine bevorstehende Bremsung an. Der Tf hat ausreichend Zeit die Betriebsbremse zu betätigen. Der Bereich der Anzeige (Indication - I) endet mit der Überwachungsgrenze der zulässigen Geschwindigkeit (Permitted speed -P). Der zugehörige Bereich ist in Abbildung 6-7 orange eingefärbt und macht den Tf auf die Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit aufmerksam. Im Bereich der Warnung (Warning - W) erhält der Tf eine akustische Mitteilung, welche ihn auffordert, die Bremsung einzuleiten oder die Bremsverzögerung zu erhöhen. Geschieht dies nicht, so gelangt das ETCS-Fahrzeug in den roten Bereich der Betriebsbremseinsatzkurve (Service Brake Intervention - SBI) und führt eigenständig eine Betriebsbremsung durch [ERA20].

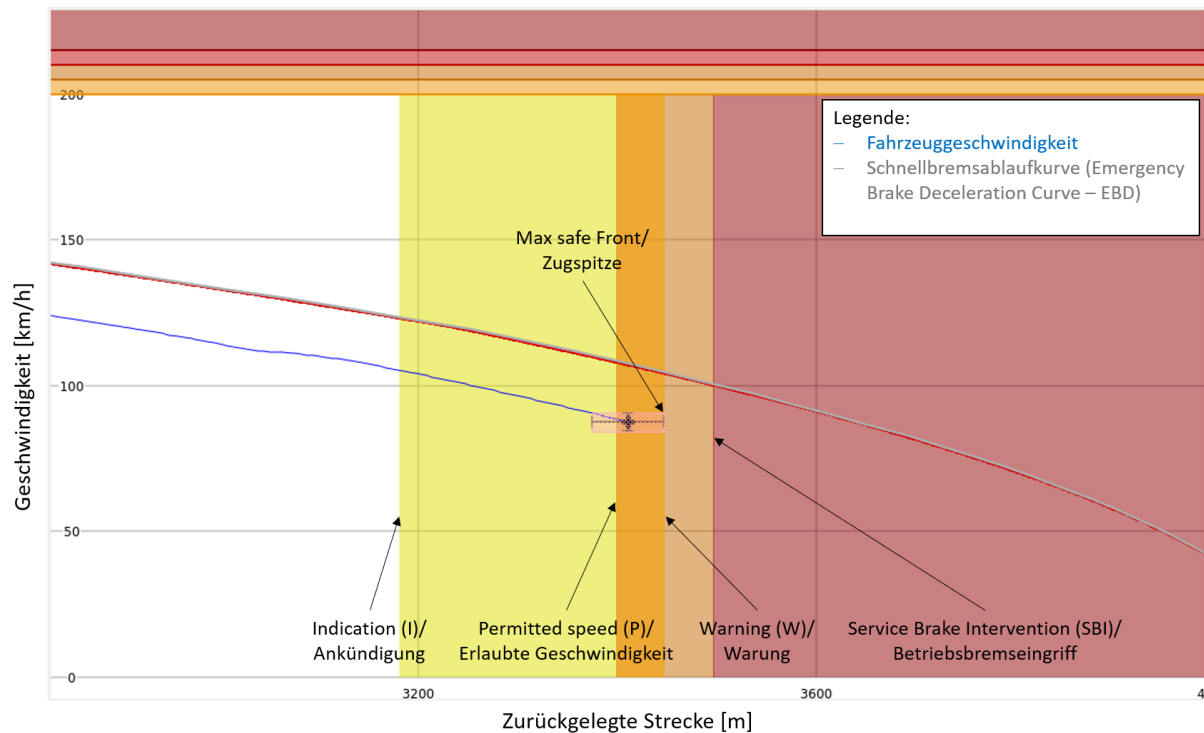


Abbildung 6-7: ETCS-Bremskurve in der Simulation

Die Programmierung in der ETCS-Simulationssoftware sieht vor, dass sich der automatische Fahrer am Bereich der erlaubten Geschwindigkeit (Permitted Speed - P) orientiert, wobei sich die Zugspitze an der Grenze zur Warnung (Warning) befindet. In der Simulation einer grenzüberschreitenden Bremsung von Deutschland nach Tschechien führten die NV zu einer sprunghaften Reduzierung der zulässigen Geschwindigkeit um etwa 4 km/h. Somit erfolgte eine sichtbare Rechtsverschiebung der Zugspitze in den Warnungsbereich, jedoch keine unmittelbare Betriebsbremsung des Fahrzeugs.

Ein reeller Tf fährt in der Regel vorausschauender und leitet eine Bremsung unter ETCS bereits im Bereich der Ankündigung (Indication - I) ein, wodurch keine Meldung im Führerstand ertönt. Die Abweichung zwischen den NV und den daraus resultierenden ETCS-Bremskurven müssen nochmals überprüft werden, sobald die tschechischen Kollegen der Správa železnic ihre NV für die SRS 3.6.0 und SV 2.1 veröffentlichen, um eine abschließende Aussage treffen zu können.

6.3 Simulation eines RBC-Handover

In Abschnitt 3.4.7 wurde der Ablauf eines RBC-Handover bereits theoretisch hergeleitet und ein entsprechendes Ablaufschema (siehe Anhang 11) erstellt. Anhand einer Simulation soll zunächst die Funktionalität des RBC-Handover in der ETCS-Simulationssoftware nachgewiesen werden. Weiterhin soll untersucht werden, ob ein ETCS Handover bei einer Blockteilung von 500 m möglich ist.

Für die Simulation wird eine eingleisige Strecke mit zwei getrennten RBC-Bereichen konzipiert. Ein Ausschnitt der Strecke ist in Abbildung 6-8 dargestellt. Die Anordnung der Gleisfreimeldung, ETCS-Halt-Tafeln bzw. ETCS-Blockkennzeichen und die Positionierung der BG entlang der Strecke orientieren sich zum Großteil am erstellten Modell in Kapitel 5. Die Teststrecke verfügt ausschließlich über eine Blockteilung von 500 m, um einen RBC-Handover simulieren zu können. Der Streckenentwurf ermöglicht es den RBC-Handover in beiden Fahrtrichtungen (nominal oder reverse) zu vollziehen. Bei der BG mit der Bezeichnung „L2>L2“ handelt es sich um die Grenzbalisengruppe, welche den RBC-Wechsel am RBC-Grenzsignal kommandiert.

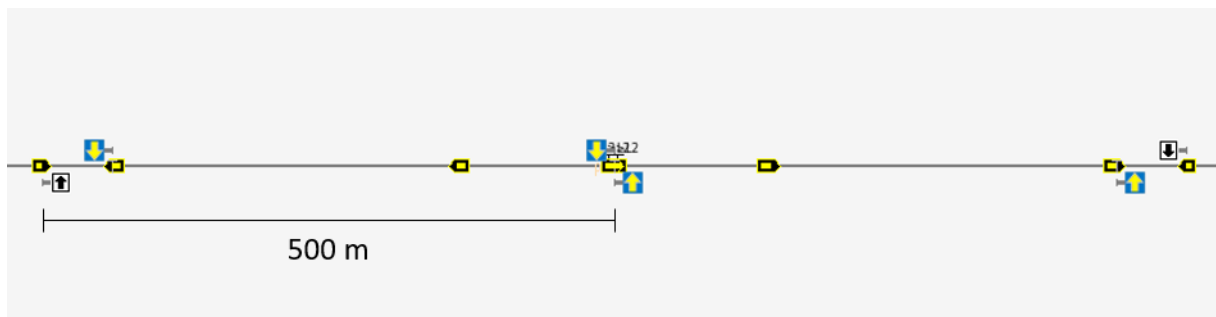


Abbildung 6-8: RBC-Grenze mit RBC-Grenzsignalen im Strecken-Editor

Die ETCS-Simulationssoftware verfügt leider über kein Modul für die Simulation des GSM-R-Netzes. Aus diesem Grund muss in der Simulation leider die Einwahl in das neue GSM-R-Netz mithilfe von Paket 45 entfallen. In den nachfolgenden Darstellungen (Abbildung 6-9 bis Abbildung 6-12) ist die Simulation des RBC-Handover schrittweise abgebildet.

Zu Beginn der Simulation befindet sich das Fahrzeug im ETCS Level 2 und der Betriebsart FS. Das Fahrzeug ist mit zwei GSM-R ETCS-Mobilstationen ausgerüstet, wovon die Erste mit dem HOV RBC verbunden ist. Anschließend wird eine Fahrstraße eingestellt, welche über die RBC-Grenze hinausführt. Daraufhin übermittelt das HOV RBC zunächst eine MA, welche bis zum entsprechenden RBC-Grenzsignal reicht und in Abbildung 6-9 zu sehen ist.

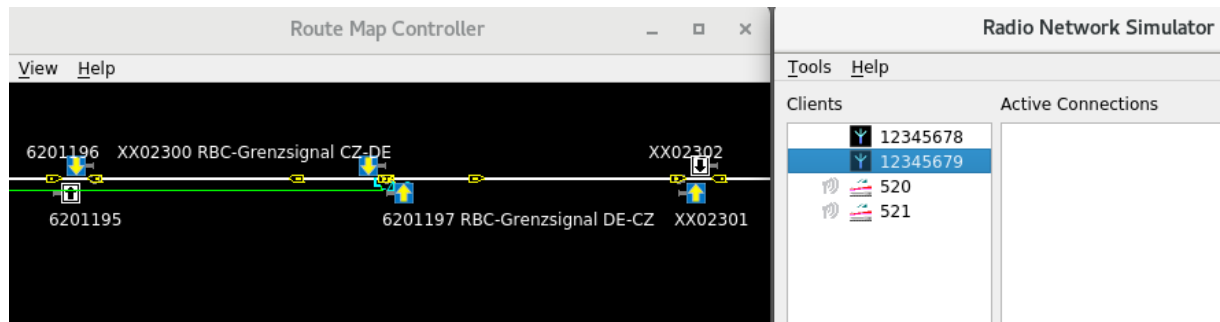


Abbildung 6-9: Einstellen einer Fahrstraße bis zum RBC-Grenzsignal

Die HOV Condition für den Start der HOV-Prozedur zwischen dem HOV RBC und dem ACC RBC ist das Einstellen einer solchen Fahrstraße in der ETCS-Simulationssoftware. Die RBC gehen anschließend in den HOV- bzw. ACC Status und tauschen die Message 201 [Pre-Announcement], Message 205 [Acknowledgement] und Message 202 [RRI Request] aus.

In der Standardkonfiguration sendet das HOV RBC eine Radio Message mit dem Paket 131 an das Fahrzeug, sobald der Abstand zwischen RBC-Grenze und Fahrzeug weniger als 2800 m beträgt. Das Fahrzeug beginnt daraufhin mit dem Aufbau einer Funkverbindung zum ACC RBC, anhand der Informationen aus dem Paket 131. Zum derzeitigen Stand der ETCS-Simulationssoftware ist die Ankündigung des RBC-Wechsels und der Aufbau der Funkverbindung zum ACC RBC nur als Radio Message implementiert. Entsprechend der Ril 819.1344A03 sollte es jedoch möglich sein, das Paket 131 ebenfalls als Balisentelegramm an das Fahrzeug zu übermitteln. Mit dem französischen Entwicklerteam wurde deshalb eine nachträgliche Implementierung in die Simulationssoftware vereinbart, welche jedoch im Zeitraum dieser Diplomarbeit nicht umgesetzt werden konnte.

Sobald das Fahrzeug die Funkverbindung zum ACC RBC erfolgreich aufgebaut hat, bestätigt das ACC RBC die Route Related Information mit Message 221 an das HOV RBC. Dieses leitet die enthaltenen Informationen als Radio Message an das Fahrzeug weiter. In Abbildung 6-10 ist die erfolgreiche Verlängerung der MA in den angrenzenden RBC-Bereich dargestellt. Das ETCS-Fahrzeug hat mit der zweiten GSM-R ETCS-Mobilstation (521) eine Funkverbindung zum ACC RBC aufgebaut.

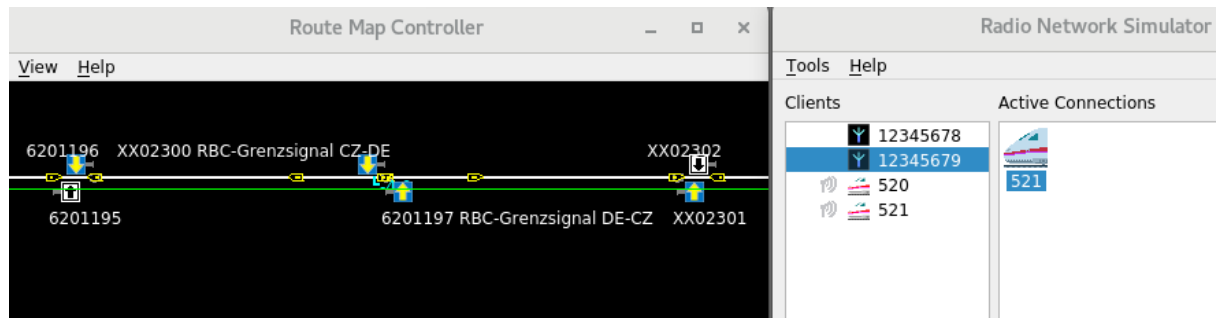


Abbildung 6-10: Verlängerung der MA in den angrenzenden RBC-Bereich

Im weiteren Verlauf der Simulation ist es dem ETCS-Fahrzeug problemlos möglich die RBC-Bereichsgrenze zu überfahren (siehe Abbildung 6-11).

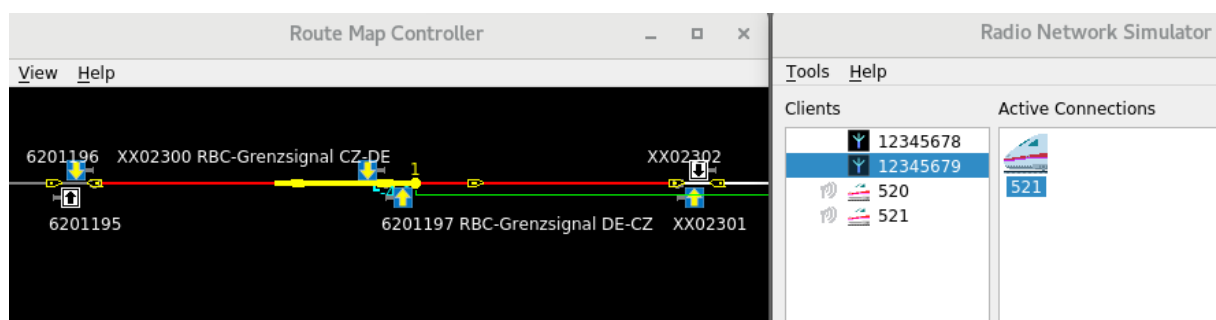


Abbildung 6-11: ETCS-Fahrzeug überfährt die RBC-Grenze

Zu diesem Zeitpunkt ist die ersten GSM-R ETCS-Mobilstation (520) des ETCS-Fahrzeugs noch mit dem HOV RBC (12345678) und die zweite GSM-R ETCS-Mobilstation (521) mit dem ACC RBC (12345679) verbunden. Sobald das Zugende die RBC-Grenze überfahren hat und sich der Zug vollständig im Bereich des ACC RBC befindet, baut das Fahrzeug die Funkverbindung zum HOV RBC ab. Dieser Zustand ist in Abbildung 6-12 zu sehen.

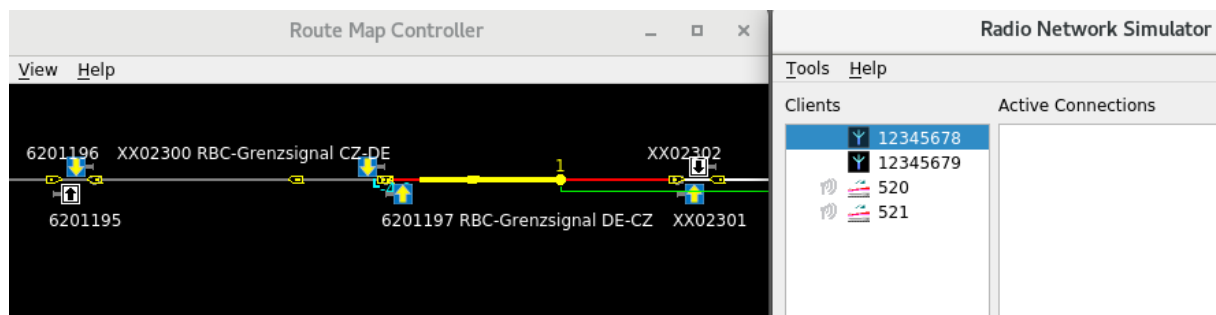


Abbildung 6-12: Erfolgreicher RBC-Handover und folgender Funkabbau

Die Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, einen RBC-Handover in der ETCS-Simulationssoftware erfolgreich durchzuführen. Mithilfe des Analysetools konnte die Kommunikation zwischen ACC RBC, HOV RBC und Fahrzeug während der Simulation nachvollzogen und die Korrektheit des erstellten Ablaufschemas in Anhang 11

bestätigt werden. Die Simulationsergebnisse lassen darauf schließen, dass eine Blockteilung von 500 m grundsätzlich kein Problem für einen RBC-Handover darstellt. Das Lastenheft der DB Netz AG macht die Vorgabe, dass die BG mit dem Paket 42 mehr als 340 m vor dem nächsten Hauptsignal, ETCS-Blockkennzeichen oder der nächsten ETCS-Halt-Tafel angeordnet werden muss (siehe Abbildung 6-13) [BTSF6.5]. In der Simulation konnte die Erkenntnis gewonnen werden, dass die Positionierung der BG 150 m hinter dem RBC-Grenzsignal ausreichend ist und die Balisentelegramme korrekt vom Fahrzeug gelesen werden können. Der Abstand zwischen der BG mit dem Paket 42 und dem Folgesignal beträgt folglich 350 m.

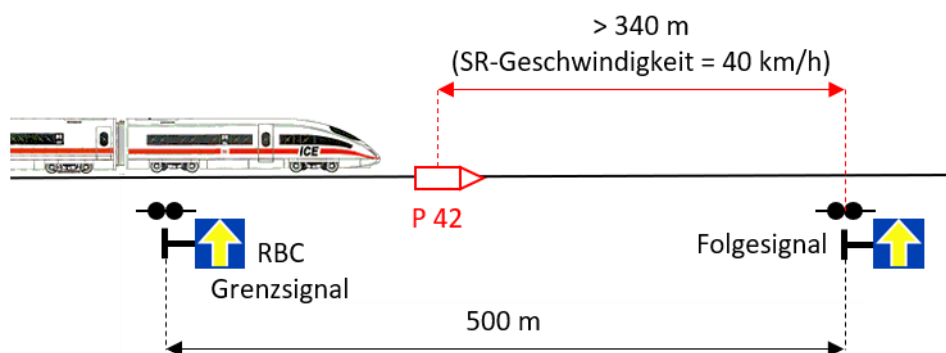


Abbildung 6-13: Positionierung der BG mit dem Paket 42 hinter dem RBC-Grenzsignal

Im Anschluss erfolgen weitere Simulationen, um den Funkaufbau zwischen Fahrzeug und ACC RBC zu optimieren. Bei einer Geschwindigkeit von 200 km/h besitzt der Hochgeschwindigkeitszug bei einer Streckenneigung von -8 ‰ einen maximalen Bremsweg von etwa 3300 m (siehe Abbildung 6-3). Fährt der Zug folglich auf das RBC-Grenzsignal zu, beginnt er in einem Abstand von etwa 3300 m zu bremsen und baut bei verwendeter Standardkonfiguration in einem Abstand von 2800 m eine Funkverbindung zum ACC RBC auf. Der verwendete Ankündigungsabstand von 2800 m aus der Standardkonfiguration ist daher für den RBC-Handover nicht sonderlich gut geeignet. In den Simulationen erwies es sich als wirksam den bevorstehenden RBC-Wechsel und den Funkaufbau zum ACC RBC in einem Abstand von 4000 m zwischen RBC-Grenze und Fahrzeug anzukündigen, um die RBC-Grenze mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 200 km/h und ohne Geschwindigkeitsverlust befahren zu können. In der praktischen Umsetzung ist zusätzlich die Einwahlzeit in das benachbarte GSM-R-Netz und die benötigte Zeitdauer für den Funkaufbau aus Tabelle 3 zu beachten.

Es lässt sich festhalten, dass der RBC-Wechsel keinen Einfluss auf die Fahrdynamik des ETCS-Fahrzeugs hat, wenn es:

- die Einwahl in das benachbarte GSM-R-Netz durchgeführt,
- die Funkverbindung zu ACC RBC aufgebaut und
- die Verlängerung der MA übermittelt bekommen hat,

bevor es den Bremspunkt vor der RBC-Grenze erreicht. Je eher die Ankündigung des RBC-Wechsels erfolgt, die Kommunikation zwischen HOV RBC und ACC RBC abgeschlossen ist und je länger der GSM-R-Überlappungsbereich ist, desto höher kann die Maximalgeschwindigkeit beim RBC-Grenzübergang sein. Unter Berücksichtigung der genannten Schlüsselfaktoren in den Simulationen lässt sich nachweisen, dass die Funktionalität des RBC-Handover, von der Streckenneigung unabhängig ist. Die Streckenneigung hat lediglich einen Einfluss auf den auszurüstenden GSM-R-Überlappungsbereich, denn in der Steigung nimmt die Länge des Bremswegs ab, wodurch sich der auszurüstende GSM-R-Überlappungsbereich gleichermaßen verkürzt.

6.4 Simulation einer möglichen ETCS-Grenztransition der NBS Dresden-Prag

In diesem Abschnitt soll das erstellte Modell der ETCS-Grenztransition aus dem Gliederungspunkt 4.3.4 simuliert werden. Das Transitionskonzept wurde bereits bei der Modellierung der Volltunnelvariante in Kapitel 5 in die ETCS-Simulationssoftware übertragen, sodass nun dessen Funktionsnachweis erfolgt. Die Grundidee des Entwurfs bestand darin, die Schnittstellen von RBC-Grenztransition und Systemtrennstelle im Tunnel an einer zentralen Stelle zusammenzulegen. Im Verlauf dieser Diplomarbeit stellte sich heraus, dass die Simulation der Systemtrennstelle nicht problemlos durchführbar ist.

Das SUBSET-111 - Interoperability Test Environment Definition spezifiziert die Interoperabilitätsanforderungen an Testumgebungen für ETCS. Die Entwickler des französischen Softwareunternehmens Clearsy haben sich bei der Programmierung der ETCS-Simulationssoftware strikt an die Vorgaben dieses SUBSET gehalten. Leider ist in der aktuellen Version des SUBSET-111-2 - „FFFIS for TCL-OBU Adaptor“ für ETCS Testumgebungen keine Möglichkeit vorgesehen, dass elektrische Streckenprofil der Oberleitung an die simulierte Onboard Unit (OBU) des Fahrzeugs

zu übermitteln [SUB-111-2]. Stattdessen haben die Entwickler ein separates Softwareskript implementiert, in welchem dem Fahrzeug die Oberleitungsspannung unabhängig von dessen Position mitgeteilt wird. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, die spannungsfreie Oberleitung der Systemtrennstelle automatisch an das Fahrzeug zu übermitteln und das Ausschalten des Hauptschalters zu kommandieren. Um den fahrdynamischen Einfluss der Systemtrennstelle dennoch zu berücksichtigen, wird der Hauptschalter während der Simulation manuell durch den Bediener aus- und eingeschaltet.

In Abschnitt 3.4.7 wurde im Detail auf die RBC-Handover-Prozedur eingegangen. In diesem Abschnitt ist erläutert, dass das HOV RBC die Route Related Information (RRI) vom ACC RBC benötigt, um die MA über die RBC-Grenze hinaus zu verlängern. Das ACC RBC muss das HOV RBC über die RBC-RBC-Schnittstelle z. B. über vorübergehende Langsamfahrstellen und die weiteren Streckenbedingungen hinter der RBC-Grenze informieren. Aufgrund der fehlenden Spezifikation in SUBSET-111-2 ist zum aktuellen Stand in der ETCS-Simulationssoftware keine Prozedur implementiert, welche es erlaubt die Lage der Systemtrennstelle und den spannungsfreien Streckenabschnitt anzukündigen.

Bei einer Befahrung der ETCS-Grenztransition von Deutschland nach Tschechien endet die Fahrt daher am deutschen RBC-Grenzsignal, da das ACC RBC nicht die notwendigen RRI an das HOV RBC übermitteln kann. Es ist jedoch möglich, die „Powerless Section“ aus dem Modell zu entfernen, einen klassischen RBC-Handover durchzuführen und anhand der Streckenkenntnis im Bereich der Systemtrennstelle die Beschleunigung auf Null zu setzen, um die Befahrung zu simulieren.

Die Befahrung der ETCS-Grenztransition in Gegenrichtung (von Tschechien nach Deutschland) ist dagegen problemlos möglich, da das tschechische RBC die Lage der Systemtrennstelle kennt. Aus diesem Grund wird die Funktionalität der erstellten ETCS-Grenztransition in dieser Befahrungsrichtung nachgewiesen. Die Simulationsergebnisse sind in Abbildung 6-14 bis Abbildung 6-20 dargestellt und erläutert.

Die Simulation beginnt mit dem Einstellen einer Fahrstraße über die Grenze des tschechischen RBC hinaus. Die Abbildung 6-14 zeigt, dass die erste GSM-R ETCS-Mobilstation (520) des Fahrzeugs mit dem tschechischen RBC (12345679) verbunden ist.

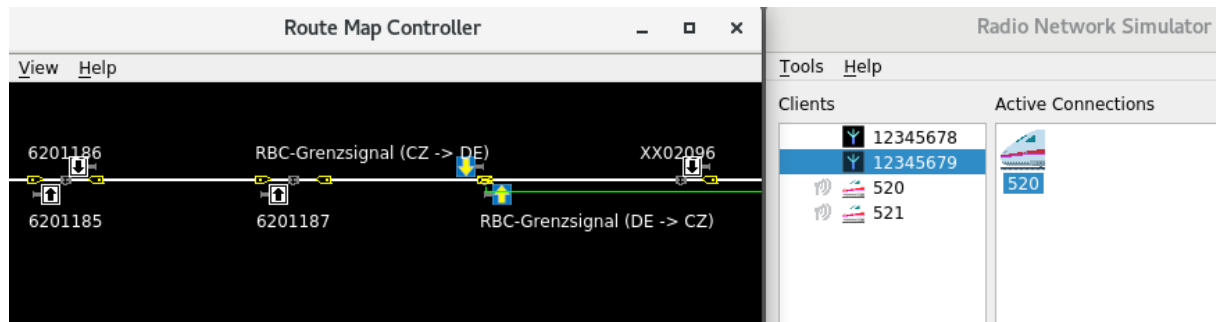


Abbildung 6-14: Einstellen einer Fahrstraße

Durch die Vorbeifahrt an der ETCS-Halt-Tafel in Abbildung 6-15 gelangt das Fahrzeug auf den Beschleunigungsbereich vor der Systemtrennstelle. Parallel erhält das Fahrzeug das Paket 131 vom tschechischen HOV RBC, wodurch dieses mit dem Aufbau einer neuen Funkverbindung zum deutschen ACC RBC (12345678) beginnt.

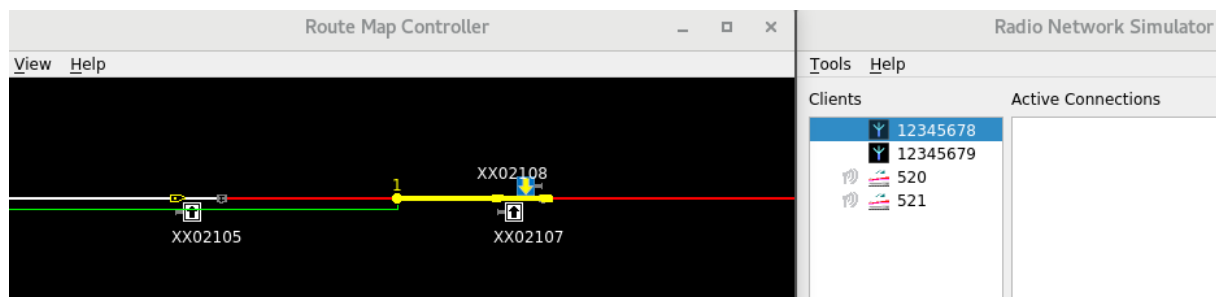


Abbildung 6-15: Fahrzeug in der Zufahrt zur Systemtrennstelle

In Abbildung 6-16 ist zu erkennen, dass die Kommunikation zwischen dem HOV RBC und dem ACC RBC erfolgreich war und die Verlängerung der MA erfolgt ist.

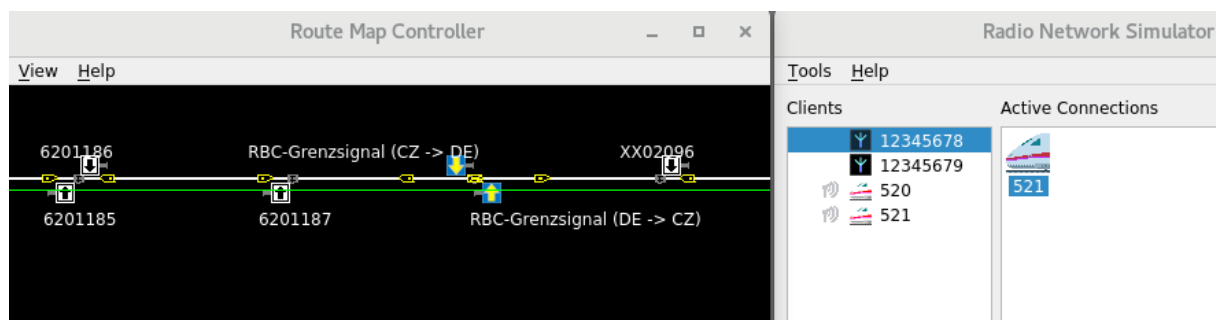


Abbildung 6-16: Erfolgreicher Funkaufbau zum ACC RBC und Verlängerung der MA

Bei der weiteren Befahrung erreicht das Fahrzeug den Bereich der Systemtrennstelle. Der Hauptschalter wird manuell ausgeschaltet und das Fahrzeug durchrollt in Abbildung 6-17 den Streckenabschnitt mit der spannungsfreien Oberleitung. In Abbildung 6-18 ist der auftretende Geschwindigkeitsverlust anhand des blauen Graphen zu erkennen. Die Steigung im Bereich der Systemtrennstelle beträgt 4 ‰ und wird mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 100 km/h durchfahren.

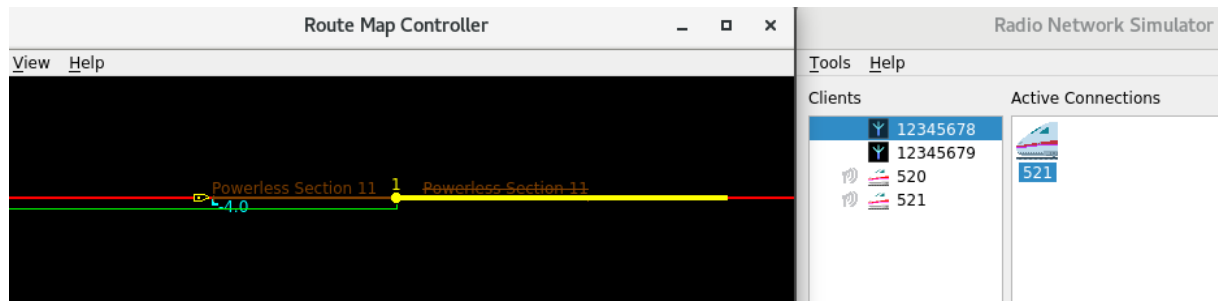


Abbildung 6-17: Befahrung der Systemtrennstelle

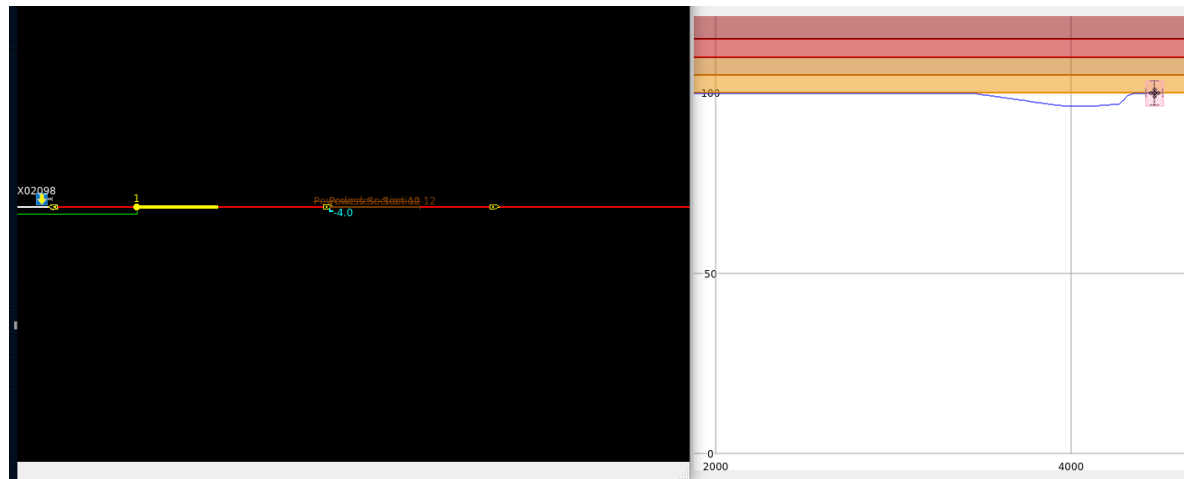


Abbildung 6-18: Auftretender Geschwindigkeitsverlust beim Durchfahren der Systemtrennstelle in der Steigung

Anschließend erreicht das Fahrzeug in Abbildung 6-19 die RBC-Grenze und erhält die notwendigen Informationen mithilfe von Paket 3, 45 und 131, um den RBC-Handover erfolgreich durchzuführen.

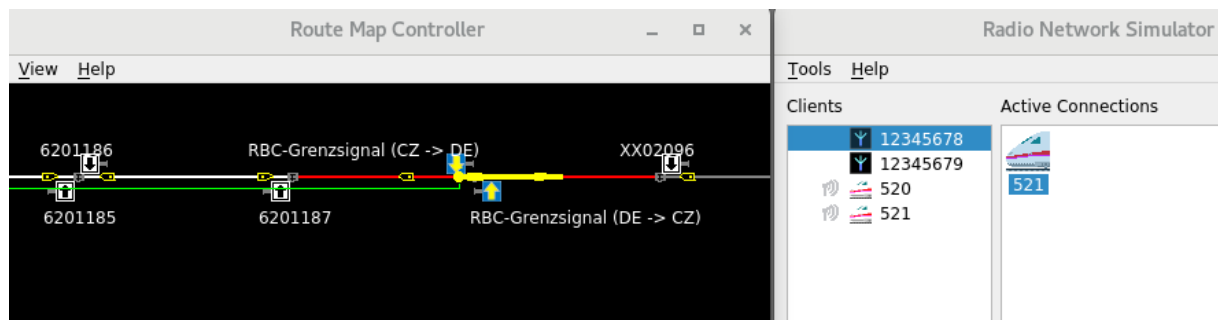


Abbildung 6-19: Erfolgreicher RBC-Handover und Befahrung der RBC-Grenze

150 m hinter dem RBC-Grenzsignal befindet sich die BG mit dem Paket 42, welche einen zweiten Funkaufbauversuch kommandieren würde, wenn dies zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht geschehen ist. Wenn das Fahrzeug mit seiner gesamten Länge die RBC-Grenze durchfahren hat, folgt der Funkabbau zum tschechischen HOV RBC in Abbildung 6-20.

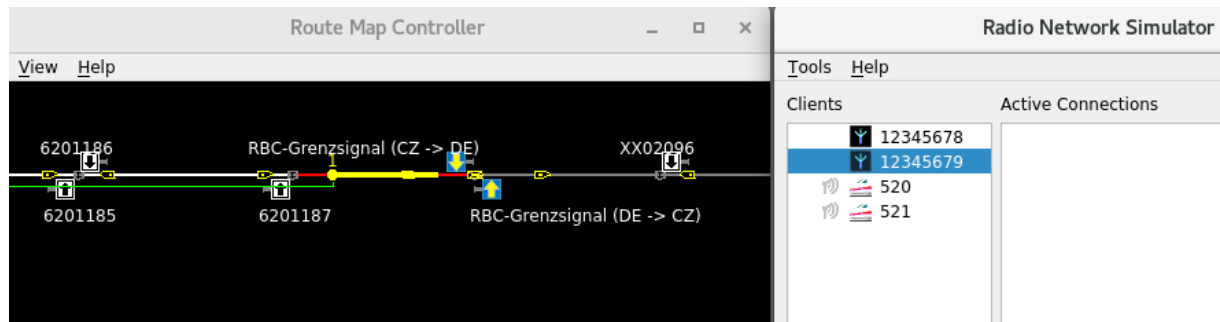


Abbildung 6-20: Funkabbau zum HOV RBC

Es lässt sich festhalten, dass die Simulation die grundsätzliche Funktionalität der entworfenen ETCS-Grenztransition in Verbindung mit der Systemtrennstelle nachgewiesen hat. Das Softwaretool „Scenario-Analyser“ der ETCS-Simulationssoftware ermöglicht die Auswertung der aufgezeichneten Kommunikationsdaten. Diese können mit dem Ablaufschema für RBC-Handover in Anhang 11 verglichen werden und bestätigen den korrekten Ablauf des RBC-Handover.

Sollte der weitere Planungsverlauf der NBS Dresden-Prag ergeben, dass eine Zusammenführung der Schnittstellen von RBC-Wechsel und Systemtrennstelle nicht favorisiert wird, ist es möglich den RBC-Wechsel in seiner Örtlichkeit zu verschieben. Die Simulationsergebnisse aus Abschnitt 6.3 haben gezeigt, dass der RBC-Wechsel unabhängig von der Streckenneigung ist und innerhalb der Tunnelröhren in Richtung der Tunnelportale in Heidenau verschoben werden kann. Hierbei sind jedoch die aufgezeigten Zwangspunkte aus Abschnitt 4.3.3 zu beachten.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Diese Arbeit behandelt den Sachverhalt von ETCS-Grenztransitionen an Staatsgrenzen und unterbreitet einen Lösungsvorschlag für die NBS Dresden-Prag.

Die ausführliche Recherche zu ETCS und ETCS-Grenztransitionen hat gezeigt, dass ETCS Level 2 der angestrebte Ausrüstungszustand von vielen ETCS-Strecken in Europa ist und viele ETCS Level 2 – Level 2 Grenzübergänge geplant werden.

Es wurde eine allgemeine Vorgehensweise für die Planung von künftigen ETCS-Grenztransitionen erstellt, die für andere Projekte verwendet werden kann. Bisher muss jeder ETCS-Grenzübergang individuell geplant werden, wodurch die Planer gezwungen sind, die projektspezifischen Parameter eigenständig zu ermitteln. Das Kapitel 3 dieser Diplomarbeit kann bei dieser Entscheidungsfindung helfen. Für die Anwendung von ETCS an Landesgrenzen wäre es besonders erstrebenswert einheitliche und landesspezifische Standards, besonders für ETCS Level 2, zu entwickeln, um so den Planungs- und Projektierungsaufwand zu verringern.

Der Kernpunkt dieser Arbeit ist, diese allgemeine Vorgehensweise auf die NBS Dresden-Prag unter Berücksichtigung der bereits getroffenen Vereinbarungen und der favorisierten Lage der Systemtrennstelle der Oberleitungsanlage anzuwenden. Die erste daraus resultierende Lösung war fehlerbehaftet und noch nicht final.

Weitere Varianten wurden in einem Prozess erarbeitet, wobei versucht wurde, erkannte Nachteile der jeweils vorhergehenden Variante zu beseitigen. Die Besonderheit des finalen, dritten Entwurfs besteht darin, dass die Schnittstellen des RBC-Grenzübergangs und der Systemtrennstelle der Oberleitungsanlage im Bereich des Tunnelhochpunkts zusammengeführt werden.

Um die Funktionalität des finalen Entwurfs mit dem RBC-Handover nachzuweisen, wurde dieser mithilfe der ETCS-Simulationssoftware des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (DZSF) modelliert, simuliert und anschließend ausgewertet. Folglich lassen sich fundierte Rückschlüsse über die Funktionsweise von ETCS ziehen und beispielsweise auf die Streckenplanung der NBS Dresden-Prag übertragen.

Außerdem konnte durch die Simulation nachgewiesen werden, dass sich die Unterschiede der Nationalen Werte (National Values – NV) der DB Netz AG und der Správa železnic auf den ETCS-Bremskurvenverlauf auswirken können. Daher ist dringend zu empfehlen die NV im Bereich der ETCS-Grenztransition während der Planung zu harmonisieren.

Dass die Streckenneigung bei einer Regeldurchfahrt keinen Einfluss auf den RBC-Handover besitzt, wurde in einer weiterführenden Simulation unter Berücksichtigung der in Abschnitt 6.3 beschriebenen Bedingungen bestätigt. Dadurch ist das Fahrzeug nicht gezwungen vor dem RBC-Übergang abzubremesen und kann das RBC-Grenzsignal mit der zulässigen Streckengeschwindigkeit passieren. Im Zusammenhang mit der Simulation eines RBC-Handover wurde bestätigt, dass der Mindestabstand von 500 m zwischen dem RBC-Grenzsignal und dem Folgesignal realisierbar ist.

Für das Projekt NBS Dresden-Prag kann diese Diplomarbeit als Ausgangspunkt für weitere wissenschaftliche Arbeiten und projektspezifische Untersuchungen während der Planung genutzt werden. In diesem Zusammenhang sollte die ETCS-Grenztransition weiter optimiert und die Wirksamkeit der angestrebten Blockteilung von 500 m weiter untersucht werden. Weiterhin ist die Funktionalität der ETCS-Grenztransition mit Güterzügen und die Befahrungsrichtung von Deutschland nach Tschechien mit der Systemtrennstelle der Oberleitung nachzuweisen. Die Planungsergebnisse, insbesondere die Lage des RBC-Handover sowie der Systemtrennstelle der Oberleitungsanlage, sollten in den weiteren Planungsphasen mithilfe der Simulation überprüft und ggf. angepasst werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Nationale Zugbeeinflussungssysteme (Klasse-B-Systeme)	5
Abbildung 2-2: Übersicht zu den aktuell verfügbaren ETCS Baselines	8
Abbildung 2-3: Abwärtskompatibilität von Fahrzeugen der SRS 3.6.0	9
Abbildung 2-4: Eingeschränkte Nutzbarkeit von Fahrzeugen der SRS 2.3.0d	10
Abbildung 2-5: Übersicht über die verfügbaren SRS und zugehörigen SV	11
Abbildung 2-6: Übersicht zur ETCS-Systemarchitektur	12
Abbildung 2-7: Schematische Darstellung der Infrastruktur ETCS Level 2 ohne Signale	14
Abbildung 2-8: Streckenausrüstung im Erfurter Hauptbahnhof für ETCS Level 2 mit Signalen in Kombination mit PZB-Ausrüstung.....	16
Abbildung 2-9: Darstellung der Subsysteme der OBU.....	16
Abbildung 2-10: Führerstand eines ICE 4 mit DMI	18
Abbildung 2-11: Darstellung der Anzeigeeinformationen auf dem DMI	18
Abbildung 2-12: Auswertung von Balisentelegrammen durch die BTM	19
Abbildung 2-13: Eingestellte Fahrstraße im Stellwerk	20
Abbildung 2-14: Bekannter Fahrweg aus Sicht des Zugs.....	20
Abbildung 2-15: Vertrauensintervall bei der Positionsbestimmung von Fahrzeugen	21
Abbildung 2-16: ETCS Level 2 ohne Signale.....	23
Abbildung 2-17: Überblick zu den ETCS Betriebsarten	25
Abbildung 2-18: Pegelverlauf einer GSM-R-Basisstation (Base Transceiver Station)	27
Abbildung 2-19: Anordnung der GSM-R-Funkzellen entlang der Strecke	28
Abbildung 3-1: Mögliche Zuständigkeitsbereiche an einer Grenzbetriebsstrecke.....	30
Abbildung 3-2: Vereinfachte Darstellung der möglichen Schnittstellen einer ETCS- Grenztransition	32
Abbildung 3-3: Überlappungsbereich der GSM-R-Netze für RBC-Handover.....	37
Abbildung 3-4: GSM-R-Überlappungsbereich bei getrennten GSM-R-Netzen	39
Abbildung 3-5: Phase 1 und 2 des RBC-Handover	42
Abbildung 3-6: Phase 3 des RBC-Handover	42
Abbildung 3-7: Phase 4 des RBC-Handover	43

Abbildung 3-8: Phase 5 des RBC-Handover	44
Abbildung 3-9: Phase 6 des RBC-Handover	45
Abbildung 3-10: Varianten für eine ETCS-Grenztransition	49
Abbildung 3-11: Gesamtübersicht zu ETCS-Grenztransitionen.....	50
Abbildung 4-1: Trassierungsmöglichkeiten der NBS Dresden-Prag	52
Abbildung 4-2: BIM-Darstellung der Ausbindung in Heidenau-Großsedlitz mit Blick in Richtung Bahnhof Heidenau (Stand: Vorplanung)	53
Abbildung 4-3: BIM-Darstellung der Brückenbauwerke und Tunnelportale in Heidenau (Stand: Vorplanung).....	54
Abbildung 4-4: BIM-Darstellung der Tunnelportale nahe Stradov.....	55
Abbildung 4-5: Schematische Darstellung des Höhenprofils des Tunnels und favorisierte Lage der Systemtrennstelle	59
Abbildung 4-6: Erster Entwurf der ETCS-Grenztransition der NBS Dresden-Prag...	60
Abbildung 4-7: Zweiter Entwurf der ETCS-Grenztransition der NBS Dresden-Prag.	62
Abbildung 4-8: Dritter Entwurf der ETCS-Grenztransition der NBS Dresden-Prag...	63
Abbildung 5-1: Konfiguration der RBC und deren National Values.....	66
Abbildung 5-2: Erstellung der Gleisabschnitte und Konfiguration der Achszähler	67
Abbildung 5-3: Festlegen des Streckenprofils	68
Abbildung 5-4: Konfiguration der ETCS-Halt-Tafeln und ETCS-Blockkennzeichen..	68
Abbildung 5-5: Schematische Anordnung der Balisen und Balisengruppen (BG)	69
Abbildung 5-6: Konfiguration der Balisentelegramme.....	70
Abbildung 5-7: Erstellen von Time Table Marker für automatisierte Szenarien	71
Abbildung 5-8: Festlegen von Streckenabschnitten mit speziellen Eigenschaften ...	71
Abbildung 5-9: Gleisbereich der Abzweigstelle in Heidenau-Großsedlitz aus dem Modell der NBS Dresden-Prag.....	72
Abbildung 5-10: Ausschnitt der bahnrechten Tunnelröhre im Bereich der ETCS- Grenztransition/Systemtrennstelle aus dem Modell der NBS Dresden-Prag.....	72
Abbildung 5-11: Gleisbereich der Abzweigstelle in Tschechien aus dem Modell der NBS Dresden-Prag.....	73
Abbildung 5-12: Symbol des ETCS-Blockkennzeichen	74
Abbildung 5-13: Implementierung des ETCS-Blockkennzeichens.....	75

Abbildung 5-14: Einfügen des Fahrzeugs auf die Strecke	76
Abbildung 5-15: Technische Parameter des Hochgeschwindigkeitszugs	77
Abbildung 5-16: ETCS-Parameter eines Fahrzeugs.....	78
Abbildung 6-1: Ausschnitt von der Teststrecke.....	79
Abbildung 6-2: Beschleunigungs- und Bremskurven des Hochgeschwindigkeitszugs	80
Abbildung 6-3: Detaildarstellung der Bremskurven des Hochgeschwindigkeitszugs	81
Abbildung 6-4: Beschleunigungs- und Bremskurven des Personenzugs	81
Abbildung 6-5: Beschleunigungs- und Bremskurven des Güterzugs	82
Abbildung 6-6: Bremskurvenvergleich anhand der NV in Deutschland und Tschechien.....	84
Abbildung 6-7: ETCS-Bremskurve in der Simulation	85
Abbildung 6-8: RBC-Grenze mit RBC-Grenzsignalen im Strecken-Editor	86
Abbildung 6-9: Einstellen einer Fahrstraße bis zum RBC-Grenzsignal	87
Abbildung 6-10: Verlängerung der MA in den angrenzenden RBC-Bereich	88
Abbildung 6-11: ETCS-Fahrzeug überfährt die RBC-Grenze	88
Abbildung 6-12: Erfolgreicher RBC-Handover und folgender Funkabbau	88
Abbildung 6-13: Positionierung der BG mit dem Paket 42 hinter dem RBC- Grenzsignal	89
Abbildung 6-14: Einstellen einer Fahrstraße.....	92
Abbildung 6-15: Fahrzeug in der Zufahrt zur Systemtrennstelle.....	92
Abbildung 6-16: Erfolgreicher Funkaufbau zum ACC RBC und Verlängerung der MA	92
Abbildung 6-17: Befahrung der Systemtrennstelle	93
Abbildung 6-18: Auftretender Geschwindigkeitsverlust beim Durchfahren der Systemtrennstelle in der Steigung.....	93
Abbildung 6-19:Erfolgreicher RBC-Handover und Befahrung der RBC-Grenze	93
Abbildung 6-20:Funkabbau zum HOV RBC.....	94

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Funkversorgung bei ETCS im Streckennetz der DB Netz AG [DB1202]..	27
Tabelle 2: Unterschiedliche Zeitvorgaben für Inter PLMN Handover [ABE22].....	38
Tabelle 3: Einwahl- und Funkaufbauzeit der DB Netz AG [BTSE6.5; DB1344; KAM19]	39
Tabelle 4: Verfügbare RBC Messages bei einem RBC-Handover [SUB-039]	45

Literaturverzeichnis

- [ABE22] Abert, Tim: Optimierung von Mobilfunk- und RBC-Handovern an Grenzbetriebsstrecken mit ETCS-Ausrüstung. Bachelorthesis. Dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg, 26.09.2022.
- [BMDV23] Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV): Projektinformation – DAC4. Hintergrund Auftragsforschung des BMDV. Homepage von DAC4EU. Online verfügbar unter <https://www.dac4.eu/projektinformation/>, zuletzt geprüft am 20.07.2023.
- [BRU21] Brune, Lars; Kahnert, Pascal; Kalkreiber, Julia; Lens, Bavo: ETCS an Landesgrenzen: Interoperabilität und Ausrüstungsvarianten. In: *SIGNAL + DRAHT* (113), August 2021.
- [BRU22] Brune, Lars; Kahnert, Pascal: ETCS an Landesgrenzen standardisieren. VDEI. DB Netz AG. Leipzig, 02.02.2022.
- [BRU23] Brune, Lars; Schwenger, Robert: Overview of relevant ETCS border crossings. Online verfügbar unter https://umap.openstreetmap.de/en/map/overview-of-relevant-etc-border-crossings_7500#6/50.296/16.172, zuletzt geprüft am 10.07.2023.
- [BTSF6.5] Ostermeier, Reiner; Haas, Jürgen; Staffel, Alexander: Lastenheft ETCS. Betrieblich-technische Systemfunktionen für ETCS SRS Baseline 3. Version 6.5, Oktober 2020.
- [DB0301] Kempf, Danilo: Richtlinie - 997.0301 - Oberleitungsanlagen; Speisung und Schaltung der Oberleitung planen. Version 2.0, 30.09.2020.
- [DB0519] Haaker, Sven: Richtlinie - 819.0519 - ETCS L2 Hochleistungsblock. Version 1.1, 01.08.2021.
- [DB0701] Philipp Pinter: Richtlinie - 483.0701 - ETCS-Fahrzeugeinrichtung bedienen. Version 4.0, 12.12.2021.
- [DB1100] Haaker, Sven: Richtlinie - 819.1100 - Planungsgrundsätze für selbsttätige Gleisfreimeldeanlagen mit Achszähltechnik. Version 6.0, 01.09.2022.
- [DB1202] Haag, Günter: Richtlinie - 859.1202 - GSM-R-Anlagen Funknetzplanung. Version 1.0, 16.11.2015.
- [DB1343] Cunha, Carlos: Richtlinie - 819.1343 - Grundsätze zur Erstellung der Entwurfsplanung zur Ausrüstung von Strecken mit ETCS Level 2. Version 1.0, 24.11.2021.
- [DB1344] Suiter, Markus: Richtlinie - 819.1344 - Grundsätze zur Erstellung der Ausführungsplanung PT1 für ETCS Level 2. Version 2.1, 12.05.2021.
- [DB1348] Niels Hohn: Richtlinie - 819.1348 - Grundsätze zur Erstellung der Ausführungsplanung für ETCS signalgeführt. Version 1.0, 15.06.2023.

- [DB9002] Wolf, Dominik: Richtlinie - 819.9002 -Symbole für sicherungstechnische Pläne. Version 3.0, 01.08.2022.
- [DBN14] DB Netz AG: European Train Control System (ETCS) bei der DB Netz AG. Die Basis der Zukunft., April 2014.
- [DBN22] DB Netz AG: Technische Netzzugangsbedingungen (TNB), Für die Infrastruktur der DB Netz AG, 11.12.2022.
- [DBN23a] DB Netz AG; Infrabel: ERTMS cross-border Checklist. Arrangements for ERTMS deployment on cross-border sections. Version 0.4, 10. Mai 2023.
- [DBN23b] DB Netz AG; Rail Business: Voll- und Teiltunnel in der engeren Auswahl. NBS Dresden-Prag. In: *BAHN-NACHRICHTEN*, Januar 2023.
- [DBN23c] DB Netz AG: Systembeschreibung und Netzarchitektur von GSM-R. Homepage der DB Netz AG. Online verfügbar unter https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/infrastrukturbetreiber/leistungen/gsm-r/GSM-R_Ueberblick-9850300#, zuletzt geprüft am 13.06.2023.
- [DBN23d] DB Netz AG: Trassierungsmöglichkeiten der NBS Dresden-Prag. Online verfügbar unter https://neubaustrecke-dresden-prag.de/wp-content/uploads/2022/05/Dresden-Prag-Planungsbereich_mit-Dresden.png, zuletzt geprüft am 21.06.2023.
- [DOR12] Dorka, Moritz: Zugbeeinflussungssysteme in Polen, der Slowakei und Tschechien. Hauptseminararbeit. Technische Universität Dresden. Fakultät Verkehrswissenschaften "Friedrich List", 31.08.2012.
- [DVO23] Dvořák, Jan: Planungsgrößen - ETCS - Tschechien, 28.04.2023. E-Mail.
- [EBO19] Bundesministerium der Justiz: Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung, EBO, 05.04.2019.
- [ERA20] ERA: ERTMS UNIT - INTRODUCTION TO ETCS BRAKING CURVES. Version 1.5, 12.08.2020.
- [ERA23] ERA: ERTMS UNIT - Assignment of Values to ETCS Variables. Version: 1.33, 24.02.2023.
- [EUG21] ERA; EEIG ERTMS Users Group: System Version (SV) Management and Backward Compatibility Analysis (BCA), Juni 2021.
- [EUG23] EEIG ERTMS Users Group: About Us. Homepage der EUG. Online verfügbar unter <https://ertms.be>, zuletzt geprüft am 21.05.2023.
- [EUG-23] EEIG ERTMS Users Group: 23. Balise Engineering for L2 and L3. ERTMS USERS GROUP - ENGINEERING GUIDELINE. Version 1.0, 10. Januar 2019.

- [EUG-74] EEIG ERTMS Users Group: 74. RBC/RBC handovers. ERTMS USERS GROUP - ENGINEERING GUIDELINE. Version 1.0, 10. Oktober 2017.
- [EUG-76] EEIG ERTMS Users Group: 76. Border Crossings. ERTMS USERS GROUP - ENGINEERING GUIDELINE. Version 3.0, 19. Mai 2020.
- [EY15] Ernst & Young; Ineco: Cross-borders agreement check list. Services of technical support for the deployment of ERTMS along the core network corridors. Version 0.5, 11. Juni 2017.
- [FEN19] Fendrich, Lothar; Fengler, Wolfgang: Handbuch Eisenbahninfrastruktur. 3. Auflage. BerlinSpringer-Verlag GmbH Deutschland, 2019.
- [GRÜ21] Grübert, Verena; Brune, Lars; Erik, Dießner: Ausrüstung von Grenzbetriebsstrecken mit ETCS. Orientierungshilfe für Projektvorhaben. Version 2.0, Januar 2021.
- [KA20] Kahl, Richard: 2 Deutsche Umsetzung von ETCS. 2.5 ETCS Level 2. In: Jochen Trinckauf, Ulrich Maschek, Richard Kahl und Claudia Krahl (Hg.): ETCS in Deutschland, 1. Auflage. 1. Auflage. Leverkusen: PMC Media House GmbH (2020), S. 197–233.
- [KAM19] Kampschulte, Bernd: GSM-R Border Crossing (BX) für Sprache und ETCS. DB Netz AG, 26.02.2019.
- [KON21] Konopáč, Tomáš: ERTMS in the Czech Republic. ERTMS in the Czech Republic. Správa železnic. Prag, 04.03.2021.
- [KUN20a] Kunze, Michael Dieter: 1 ETCS nach europäischer Spezifikation. 1.1 Motivation. In: Jochen Trinckauf, Ulrich Maschek, Richard Kahl und Claudia Krahl (Hg.): ETCS in Deutschland, 1. Auflage. 1. Auflage. Leverkusen: PMC Media House GmbH (2020), S. 27–36.
- [KUN20b] Kunze, Michael Dieter: 1 ETCS nach europäischer Spezifikation. 1.5 Infrastrukturseitiges Teilsystem. In: Jochen Trinckauf, Ulrich Maschek, Richard Kahl und Claudia Krahl (Hg.): ETCS in Deutschland, 1. Auflage. 1. Auflage. Leverkusen: PMC Media House GmbH (2020), S. 64–89.
- [KUN20c] Kunze, Michael Dieter: 1 ETCS nach europäischer Spezifikation. 1.6 Fahrzeugseitiges Teilsystem. In: Jochen Trinckauf, Ulrich Maschek, Richard Kahl und Claudia Krahl (Hg.): ETCS in Deutschland, 1. Auflage. 1. Auflage. Leverkusen: PMC Media House GmbH (2020), S. 83–89.
- [KUN20d] Kunze, Michael Dieter: 1 ETCS nach europäischer Spezifikation. 1.7 GSM-R. In: Jochen Trinckauf, Ulrich Maschek, Richard Kahl und Claudia Krahl (Hg.): ETCS in Deutschland, 1. Auflage. 1. Auflage. Leverkusen: PMC Media House GmbH (2020), S. 90–101.
- [KUN20e] Kunze, Michael Dieter: 1 ETCS nach europäischer Spezifikation. 1.8 Betriebsarten. In: Jochen Trinckauf, Ulrich Maschek, Richard Kahl und

- Claudia Krahl (Hg.): ETCS in Deutschland, 1. Auflage. 1. Auflage. Leverkusen: PMC Media House GmbH (2020), S. 102–110.
- [LEN23] Lentz, Jannis: NBS Dresden - Prag. Fahrdynamik an der Systemtrennstelle, Juni 2023.
- [PIN22] Pinter, Philipp: National Values für ETCS in Deutschland. Übersicht der nationalen Werte für ETCS auf den Strecken der DB Netz AG, 27. Januar 2022.
- [SCH16] Schumacher, Oliver: Themendienst - Zugbeeinflussungssysteme bei der Bahn, November 2016.
- [SCH21] Schwenzer, Robert: Auswirkungen unterschiedlicher ETCS-Bremskurven an Landesgrenzen. Diplomarbeit. Technische Universität Dresden. Fakultät Verkehrswissenschaften "Friedrich List", 14.06.2021.
- [SCH22] Schnieder, Lars: European Train Control System (ETCS). Einführung in das einheitliche europäische Zugbeeinflussungssystem. 3. Auflage. BerlinSpringer-Verlag GmbH Deutschland, 2022.
- [SED23] Sedláček, Jan František: National Values for ETCS in Czech Republic. Národní hodnoty pro systém ETCS (12906/2023-SŽ-GR-O14). Version 3.0, 23. Februar 2023.
- [SOM20] Sommer, Martin Erik: 1 ETCS nach europäischer Spezifikation. 1.2 Europäische Standardisierung. In: Jochen Trinckauf, Ulrich Maschek, Richard Kahl und Claudia Krahl (Hg.): ETCS in Deutschland, 1. Auflage. 1. Auflage. Leverkusen: PMC Media House GmbH (2020), S. 37–51.
- [SUB-026-2] ERA; UNISIG; EEIG ERTMS Users Group: ERTMS/ETCS - SUBSET-026-2 - System Requirements Specification, Chapter 2 - Basic System Description. 3.6.0. Aufl., 13.05.2016.
- [SUB-026-3] ERA; UNISIG; EEIG ERTMS Users Group: ERTMS/ETCS - SUBSET-026-3 - System Requirements Specification, Chapter 3 - Principles. 3.6.0. Aufl., 13.05.2016.
- [SUB-026-4] ERA; UNISIG; EEIG ERTMS Users Group: ERTMS/ETCS - SUBSET-026-4 - System Requirements Specification, Chapter 4 - Modes and Transitions. 3.6.0. Aufl., 13.05.2016.
- [SUB-026-6] ERA; UNISIG; EEIG ERTMS Users Group: ERTMS/ETCS - SUBSET-026-6 - System Requirements Specification, Chapter 6 - Management of older System Versions. 3.6.0. Aufl., 13.05.2016.
- [SUB-026-7] ERA; UNISIG; EEIG ERTMS Users Group: ERTMS/ETCS - SUBSET-026-7 - System Requirements Specification, Chapter 7 - ERTMS/ETCS language. 3.6.0. Aufl., 13.05.2016.

- [SUB-026-8] ERA; UNISIG; EEIG ERTMS Users Group: ERTMS/ETCS - SUBSET-026-8 - System Requirements Specification, Chapter 8 - Messages. 3.6.0. Aufl., 13.05.2016.
- [SUB-037] UNISIG: ERTMS/ETCS - SUBSET-037 - Euroradio FIS. 3.2.0. Aufl., 17.12.2015.
- [SUB-039] UNISIG: ERTMS/ETCS - SUBSET-039 - FIS for the RBC/RBC Handover. 3.2.0. Aufl., 17.12.2015.
- [SUB-040] UNISIG: ERTMS/ETCS - SUBSET-040 - Dimensioning and Engineering rules. 3.4.0. Aufl., 16.12.2015.
- [SUB-044] UNISIG: ERTMS/ETCS - SUBSET-044 - FFFIS for Euroloop. 2.4.0. Aufl., 17.12.2015.
- [SUB-098] UNISIG: ERTMS/ETCS - SUBSET-098 - RBC-RBC Safe Communication Interface. 3.0.0. Aufl., 29.02.2012.
- [SUB-111-2] UNISIG: ERTMS/ETCS – SUBSET-111-2 - Interoperability Test Environment Definition (FFFIS for TCL-OBUE Adaptor). 3.6.0. Aufl., 15.06.2016.
- [TES17]. Správa železnic: GSM-R System Implementation in the Czech Republic. Prag, 22.03.2017.
- [UNI23] UNISIG: About UNISIG - ERTMS. Online verfügbar unter <https://www.ertms.net/about-ertms/about-unsig/>, zuletzt geprüft am 21.05.2023 (2014).
- [VOJ20] Vojtěch, Porwiz: Simplified Handover (SHOV). ERTMS on the Border Section Břeclav (Správa železnic) – Bernhardsthal (ÖBB). International BarCamp – ETCS at international borders.
- [WEN21] Wendt, Daniel: Entwicklung eines ETCS-Transitionskonzeptes an RBC-Wechseln und Landesgrenzen. Masterarbeit. Technische Universität Dresden. Fakultät Verkehrswissenschaften "Friedrich List", 27.09.2021.

Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Hintergrund der Inkompatibilität zwischen Baseline 2 und 3	XXV
Anhang 2: Balisen und Balisengruppen.....	XXV
Anhang 3: Schnittstelle zwischen RBC und Stellwerk	XXVI
Anhang 4: Kurzdarstellung weiterer streckenseitiger ETCS-Teilsysteme	XXVII
Anhang 5: Kurzdarstellung weiterer fahrzeugseitiger ETCS-Teilsysteme	XXVII
Anhang 6: Header des Balisen-Telegramms	XXVIII
Anhang 7: Erläuterung der Präfixe von den ETCS-Variablen	XXIX
Anhang 8: Bedeutung der LRBG	XXIX
Anhang 9: National Values der DB Netz AG (Baseline 3 Strecke mit ETCS Level 2)	XXX
Anhang 10: GSM-R-Netzwerkarchitektur.....	XXXIII
Anhang 11: Ablaufschema eines RBC-Handover	XXXIV
Anhang 12: Varianten für eine ETCS-Grenztransition	XXXV
Anhang 13: Erster Entwurf für die ETCS-Grenztransition der NBS Dresden-Prag	XXXVI
Anhang 14: Zweiter Entwurf für die ETCS-Grenztransition der NBS Dresden-Prag	XXXVII
Anhang 15: Dritter Entwurf für die ETCS-Grenztransition der NBS Dresden-Prag	XXXVIII

Anhang

Anhang 1: Hintergrund der Inkompatibilität zwischen Baseline 2 und 3

Die Inkompatibilität zwischen Baseline 2 und Baseline 3 ist letztendlich auf betriebliche Erfahrungen mit ETCS der Baseline 2 mit SRS Version 2.3.0d zurückzuführen. Die erstellten Spezifikationen dieser Baseline waren damals unzureichend genau definiert, wodurch sich beim praktischen Einsatz von ETCS-Komponenten derselben SRS Version unterschiedlicher Hersteller Inkompatibilitäten offenbarten. Diese Inkompatibilitäten stehen im Konflikt mit dem definierten Ziel von ERTMS/ETCS nach der Schaffung eines freien Marktes und freiem wirtschaftlichen Wettbewerb in Europa. Aus diesem Grund war die ERA gezwungen, die erstellten Spezifikationen zu überarbeiten, detaillierter auszuführen und die Inkompatibilität zwischen Baseline 2 und 3 in Kauf zu nehmen [SOM20].

Anhang 2: Balisen und Balisengruppen

Eine BG, bestehend aus 2 - 8 Balisen, besitzt ein Koordinatensystem, welches die nominale oder entgegengesetzte (reverse) Orientierung der BG definiert. Die erste Balise der BG besitzt eine Referenzposition, wodurch dem Stellwerk die Lage dieser Balise bekannt ist und welche den Ursprung des Koordinatensystems markiert (siehe Abbildung A) [SUB-026-3].

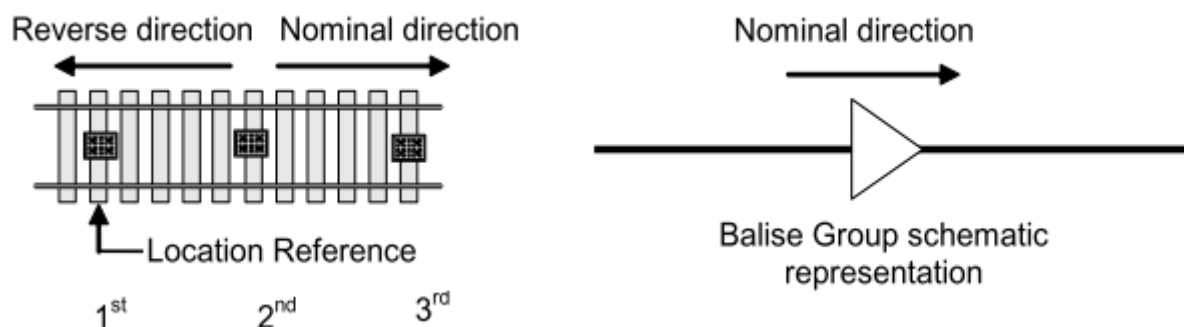


Abbildung A: Referenzposition und Koordinatensystem einer BG [SUB-026-3]

Jede BG besitzt eine interne Nummerierung, welche aus zwei Variablen (N_TOTAL und N_PIG) besteht und es ermöglicht, jede Balise innerhalb der Balisengruppe eindeutig zu identifizieren. Die Variable N_TOTAL gibt die gesamte Anzahl von Balisen in der BG an. Die Gesamtanzahl der Balisen einer BG bemisst sich hauptsächlich an Redundanzanforderungen bei der Datenübertragung und der Datenmenge, welche mithilfe der BG an das Fahrzeug übermittelt werden soll. Anhand der Variable N_PIG

ist die Position der Balise innerhalb der BG ablesbar. Jede BG verfügt zudem über zwei weitere Variablen NID_C und NID_BG, welche es ermöglichen diese innerhalb eines Bereichs eindeutig zuzuordnen. Die Variable NID_C ordnet die BG einer Region oder einem Land zu. Innerhalb dieser Region stellt die Variable NID_BG eine eindeutige Identifikationsnummer dar. Die beschriebenen Variablen sind im Header der Balisentelegramme enthalten und in Anhang 6 dargestellt.

Wird die interne Nummerierung der BG in aufsteigender Reihenfolge befahren, so entspricht dies der nominalen Richtung. Dieser Logik folgend, besitzt eine Einzelbalise zwar eine Referenzposition, jedoch kein eigenes Koordinatensystem (siehe Abbildung B) [SUB-026-3].

No inherent coordinate system

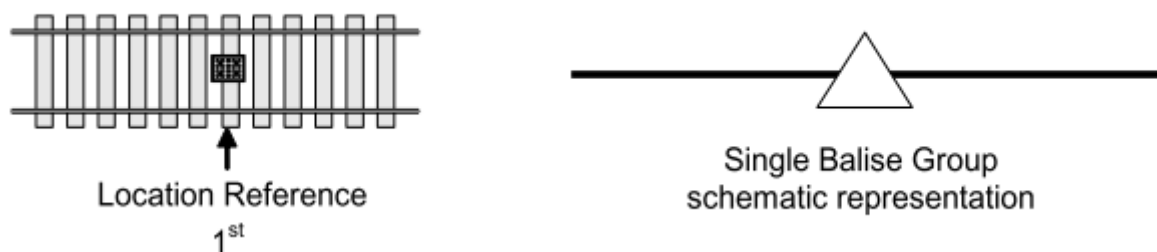


Abbildung B: Referenzposition einer Einzelbalise [SUB-026-3]

Das ETCS bietet mit der Verkettung (Linking) die Möglichkeit, Einzelbalisen in das vorhandene Koordinatensystem von benachbarten BG einzubinden, sodass diese die Balisentelegramme fahrrichtungsbezogen an das Triebfahrzeug übermitteln können. Das Linking von Balisen wird weiterhin dazu eingesetzt um:

- zu überprüfen, ob das Triebfahrzeug beim Befahren der Strecke alle vorhandenen Balisen im Fahrweg gelesen und keine vergessen hat und
- das fahrzeugseitige Vertrauensintervall der Wegmessung (Odometrie) zurückzusetzen (siehe Kapitel 2.3.8) [KUN20b].

Anhang 3: Schnittstelle zwischen RBC und Stellwerk

Die Schnittstelle zwischen Stellwerk und RBC ist hingegen in keinem SUBSET genau definiert. Aus diesem Grund kann sich Architektur und Schnittstelle zwischen RBC und Stellwerk von Hersteller zu Hersteller unterscheiden und ist projektabhängig. Es ist beispielsweise zulässig, die beiden Einheiten physisch zu trennen und über eine Schnittstelle zu verbinden oder die RBC-Funktionen direkt in das Stellwerk zu integrieren [KUN20b].

Anhang 4: Kurzdarstellung weiterer streckenseitiger ETCS-Teilsysteme

Der Euroloop wird im Bereich der DB Netz AG nicht eingesetzt, ist aber eine Alternative bei ETCS L1 FS zur Eurobalise und dient der linienförmigen Datenübertragung von der Strecke zum Fahrzeug. Er besteht aus einem maximal 1000 m langen Linienleiter, welcher im Gleis verlegt wird und analog zur Eurobalise mit der LEU verbunden ist [SUB-044]. Die Radio Infill Unit (RIU) steht für ETCS Level 1-Strecken seit der Baseline 3 zur Verfügung und ist in SUBSET-047 spezifiziert. Die Nutzung der RIU ist vergleichbar mit der des Euroloop. Der Unterschied besteht darin, dass vor den Signalen GSM-R-Funkzellen errichtet werden, sodass der Informationsaustausch per Funk stattfinden kann. Das GSM-R-Netz der Funkzellen ist jedoch nur abschnittsweise und nicht durchgängig entlang der Strecke verfügbar [KUN20b]. In ETCS Level 2 und 3 findet die Kommunikation zwischen Strecke und Fahrzeug über GSM-R statt (siehe Abschnitt 2.4), wobei die gesendeten Informationen kryptografisch verschlüsselt werden müssen, um die Sicherheit der Datenübertragung zu gewährleisten. Das ETCS-Schlüsselmanagement für die Ver- und Entschlüsselung übernimmt das Key Management Centre (KMC).

Anhang 5: Kurzdarstellung weiterer fahrzeugseitiger ETCS-Teilsysteme

Das Empfangsmodul für Looptelegramme (Loop Transmission Module – LTM) ist für den Empfang, die Zusammensetzung und Weiterleitung von Euroloop-Telegrammen an den EVC verantwortlich und somit in seiner Funktionalität mit dem BTM vergleichbar. Im Bereich der DB Netz AG wird der ETCS Euroloop nicht eingesetzt, weshalb die Fahrzeuge nicht damit ausgerüstet sein müssen.

Das STM ermöglicht es den ETCS-Fahrzeugen auf Strecken zu verkehren, welche ausschließlich mit dem nationalen Zugbeeinflussungssystem ausgerüstet sind. Es fungiert in diesem Fall als eine Art Übersetzungsmodul und ermöglicht den Austausch von Daten und Telegrammen zwischen dem nationalen System und dem EVC, gemäß der Spezifikation in SUBSET-035 [SCH22]. Die Ausrüstung von ETCS-Fahrzeugen mit diesen Modulen stellt jedoch keine endgültige Lösung für die technische und betriebliche Interoperabilität dar, da sie mit großem Aufwand und Kosten verbunden ist. Das STM ist als Übergangstechnologie eingeführt worden, um den Verkehr auf Grenzstrecken zu ermöglichen, auch wenn eines der beiden Länder noch nicht ETCS flächendeckend auf der Strecke ausgerüstet hat.

Anhang 6: Header des Balisen-Telegramms

	Variable	Beschreibung
1	Q_UPDOWN	Richtung der Telegrammübertragung <ul style="list-style-type: none"> • 0: Down link (vom Zug zur Balise) • 1: Up link (von Balise zum Zug)
2	M_VERSION	ETCS System Version <ul style="list-style-type: none"> • SRS 2.3.0 SV 1.0: 1000 • SRS 2.3.0d SV 1.1: 10001 • SRS 3.4.0 SV 2.0: 100000 • SRS 3.6.0 SV 2.1: 10000
3	Q_MEDIA	Identifiziert die Nachricht als Balisen- oder Loop-Telegramm <ul style="list-style-type: none"> • 0: Balisen-Telegramm • 1: Loop-Telegramm
4	N_PIG	Position der Balise innerhalb der Balisengruppe <ul style="list-style-type: none"> • 0: erste Balise der BG • 1: zweite Balise der BG • 7: achte Balise der BG
5	N_TOTAL	Anzahl der Balisen in der Balisengruppe <ul style="list-style-type: none"> • 0: eine Balise • 1: zwei Balisen • 7: acht Balisen
6	M_DUP	Angabe, ob die Balise ein Duplikat einer anderen Balise ist <ul style="list-style-type: none"> • 0: Nein • 1: Ja, der folgenden Balise • 2: Ja, der vorherigen Balise
7	M_MCOUNT	Ermöglicht der OBU die Zuordnung des Telegramms zur Balisengruppennachricht. <ul style="list-style-type: none"> • 0 ... 253: frei wählbar • 254: Telegramm passt zu keiner Nachricht dieser BG • 255: Telegramm passt zu jeder Nachricht dieser BG
8	NID_C	Identifikationsnummer eines Landes oder einer Region <ul style="list-style-type: none"> • 64 ... 127 für Deutschland • 512 ... 519 für die Tschechische Republik
9	NID_BG	Identifikationsnummer dieser BG <ul style="list-style-type: none"> • 0 ... 16382: frei wählbar • 16383: unbekannt
10	Q_LINK	Kennzeichnung, über Verkettung/Linking dieser BG <ul style="list-style-type: none"> • 0: Unlinked • 1: Linked

Anhang 7: Erläuterung der Präfixe der ETCS-Variablen

Präfix der Variable	Bedeutung
A_	Beschleunigung
D_	Distanz
G_	Gradiente
L_	Länge
M_	Sonstiges
N_	Nummer
NC_	Klassifizierungsnummer
NID_	Identifikationsnummer
Q_	Kennzeichner
T_	Zeit/Datum
V_	Geschwindigkeit
X_	Text

[SUB-026-7]

Anhang 8: Bedeutung der LRBG

Beim Befahren einer BG liest das Fahrzeug den Header und die darin enthaltenen Informationen über die Identität der BG aus. Anschließend erfolgt eine Positionsmeldung via GSM-R, wobei das Fahrzeug unter anderem die ID der BG übermittelt [KUN20c; SCH22]. Anhand der bekannten Referenzposition der BG ist es dem RBC möglich, die Position des Fahrzeugs innerhalb eines Vertrauensintervalls zu bestimmen. Das beschriebene Linking in Kapitel 2.3.5 ermöglicht es Einzelbalisen (Single Balise Groupe) in das Koordinatensystem von benachbarten BG einzubinden, wodurch die Einzelbalise vom Fahrzeug als LRBG beim Befahren akzeptiert wird. Befährt ein Fahrzeug eine LRBG, so kann das Fahrzeug anhand des Wertes der Variable Q_LOCACC die Verlegegenauigkeit der Balisen und somit seine Position bestimmen. Stehen keine Linking-Informationen zur Verfügung, so nutzt das Fahrzeug den Standardwert der Variable Q_NVLOCACC der National Values (NV), um sein Vertrauensintervall zurückzusetzen. Im Bereich der der DB Netz AG gilt [BTSF6.5; PIN22]:

$$Q_LOCACC = 5 \text{ m} \quad (2)$$

$$Q_NVLOCACC = 12 \text{ m} \quad (3)$$

Anhang 9: National Values der DB Netz AG (Baseline 3 Strecke mit ETCS Level 2)

Variable	Bedeutung	Werte-DE	Werte-CZ
V_NVSHUNT	Maximale Geschwindigkeit für Betriebsart SH	8 \triangleq 40 km/h	8 \triangleq 40 km/h
V_NVSTFF	Maximale Geschwindigkeit für Betriebsart SR	8 \triangleq 40 km/h	8 \triangleq 40 km/h
V_NVONSIGHT	Maximale Geschwindigkeit für Betriebsart OS	8 \triangleq 40 km/h	8 \triangleq 40 km/h
V_NVLIMSUPERV	Maximale Geschwindigkeit für Betriebsart LS	32 \triangleq 160 km/h	-
V_NVUNFIT	Maximale Geschwindigkeit für Betriebsart UN	10 \triangleq 50 km/h	20 \triangleq 100 km/h
V_NVREL	Release Speed	8 \triangleq 40 km/h	4 \triangleq 20 km/h
D_NVROLL	Maximaler Wegrollweg bei Stillstandsüberwachung	5 m	8 m
Q_NVSBTSMPerm	Anwendung der Vollbremse für Zielbremsungen	0 (nein)	-
Q_NVEMRRLS	Erlaubnis für Befreiung aus Schnellbremsung im CSM	1 (sofort)	1 (sofort)
Q_NVGUIPERM	Nutzung der Führungskurve (Guidance Curve) in L2	Level 2: 1 (ja)	0 (nein)
Q_NVSBFBPerm	Benutzung der Vollbremsrückmeldung (Service Brake Feedback)	0 (nein)	0 (nein)
Q_NVINHSMICPerm	Erlaubnis, die Kompensation der Ungenauigkeit der Geschwindigkeitsmessung zu unterbinden in die Berechnung der Bremskurven eingehen	1 (ja)	0 (nein)
V_NVALLOWOVTRP	Maximale Geschwindigkeit für die Befehlstastenbedienung (Override)	8 \triangleq 40 km/h	8 \triangleq 40 km/h
V_NVSUPOVTRP	Maximale Geschwindigkeit für Vorbeifahrt am Halt (Override)	8 \triangleq 40 km/h	8 \triangleq 40 km/h
D_NVOVTRP	Maximale Zeit für Fahrt mit aktivem Override	400 m	350 m
T_NVOVTRP	Maximale Strecke für Fahrt mit aktivem Override	255 s	100 s
D_NVPOTRP	Maximale Rückfahrstrecke nach einer Sicherheitsreaktion	5 m	8 m
M_NVCONTACT	Reaktion bei Funkausfall (1 \triangleq Zwangsbetriebsbremsung)	1	1
T_NVCONTACT	Maximale Zeit zwischen dem Empfang zweier Radio-Messages	40 s	180 s
M_NVDERUN	Erlaubnis für Wechsel der Tf-Nummer während der Fahrt	1 (ja)	0 (nein)
D_NVSTFF	Maximale Fahrstrecke für Betriebsart SR	32767 \triangleq unendlich	32767 \triangleq unendlich
Q_NVDRIVER_ADHES	Änderung des Reibfaktors	0 (nein)	0 (nein)
A_NVMAXREDADH1	Maximaler Verzögerungswert bei reduzierten Haftungsbedingungen (1)	61 = 3,05 m/s ²	61 = 3,05 m/s ²

A_NVMAXREDADH2	Maximaler Verzögerungswert bei reduzierten Haftungsbedingungen (2)	61 = 3,05 m/s ²	61 = 3,05 m/s ²
A_NVMAXREDADH3	Maximaler Verzögerungswert bei reduzierten Haftungsbedingungen (3)	61 = 3,05 m/s ²	61 = 3,05 m/s ²
Q_NVLOCACC	Angenommener Verlegefehler der Balisen (Standardwert) ohne Linking	12 m	-
M_NVAVADH	Gewichtungsfaktor der Rad-Schiene-Haftung	1,00	0,00
M_NVEBCL	Korrekturfaktor für die Schnellbremsverzögerungen	7 \triangleq (10-7)	9 \triangleq (10-9)
Q_NVKINT	Kennzeichner für integrierte Korrekturfaktoren	1	1
Q_NVKVINTSET(0)	Typ Kv_int-Set (0 – Güterzug, 1 – Personenzug)	0	0
V_NVKVINT(0)	Geschwindigkeitsschritte für integrierte Korrekturfaktoren	0	0 = 0 km/h
M_NVKVINT(0)	Integrierter Korrekturfaktor Kv	44 = 0,88	35 = 0,70
V_NVKVINT(1)	Geschwindigkeitsschritte für integrierte Korrekturfaktoren	31 = 155 km/h	-
M_NVKVINT(1)	Integrierter Korrekturfaktor Kv	38 = 0,76	-
V_NVKVINT(2)	Geschwindigkeitsschritte für integrierte Korrekturfaktoren	40 = 200 km/h	-
M_NVKVINT(2)	Integrierter Korrekturfaktor Kv	36 = 0,72	-
V_NVKVINT(3)	Geschwindigkeitsschritte für integrierte Korrekturfaktoren	50 = 250 km/h	-
M_NVKVINT(3)	Integrierter Korrekturfaktor Kv	32 = 0,64	-
V_NVKVINT(4)	Geschwindigkeitsschritte für integrierte Korrekturfaktoren	60 = 300 km/h	-
M_NVKVINT(4)	Integrierter Korrekturfaktor Kv	29 = 0,58	-
Q_NVKVINTSET(1)	Typ Kv_int-Set	1	1
A_NVP12	Untere Verzögerungsgrenze für die Verwendung von Korrekturfaktor Kv	24 = 1,2 m/s ²	0
A_NVP23	Obere Verzögerungsgrenze für die Verwendung von Korrekturfaktor Kv	46 = 2,3 m/s ²	0
V_NVKVINT(0)	Geschwindigkeitsschritte für integrierte Korrekturfaktoren	0 = 0 km/h	0 = 0 km/h
M_NVKVINT(0)	Integrierter Korrekturfaktor Kv	44 = 0,88	35 = 0,70
V_NVKVINT(1)	Geschwindigkeitsschritte für integrierte Korrekturfaktoren	31 = 155 km/h	-
M_NVKVINT(1)	Integrierter Korrekturfaktor Kv	38 = 0,76	-
V_NVKVINT(2)	Geschwindigkeitsschritte für integrierte Korrekturfaktoren	40 = 200 km/h	-
M_NVKVINT(2)	Integrierter Korrekturfaktor Kv	36 = 0,72	-
V_NVKVINT(3)	Geschwindigkeitsschritte für integrierte Korrekturfaktoren	50 = 250 km/h	-

M_NVKVINT(3)	Integrierter Korrekturfaktor Kv	32 = 0,64	-
V_NVKVINT(4)	Geschwindigkeitsschritte für integrierte Korrekturfaktoren	60 = 300 km/h	-
M_NVKVINT(4)	Integrierter Korrekturfaktor Kv	29 = 0,58	-
L_NVKRINT	Zuglängenschritt zur Definition der integrierten Korrekturfaktoren	0	0
M_NVKRINT	Integrierte Korrekturfaktor Kr	20 = 1,00	18 = 0,90
M_NVKTINT	Integrierte Korrekturfaktor Kt	23 = 1,15	22 = 1,10

[PIN22; KA20; SED23]

Anhang 10: GSM-R-Netzwerkarchitektur

In Abbildung C ist die GSM-R-Netzwerkarchitektur schematisch dargestellt.

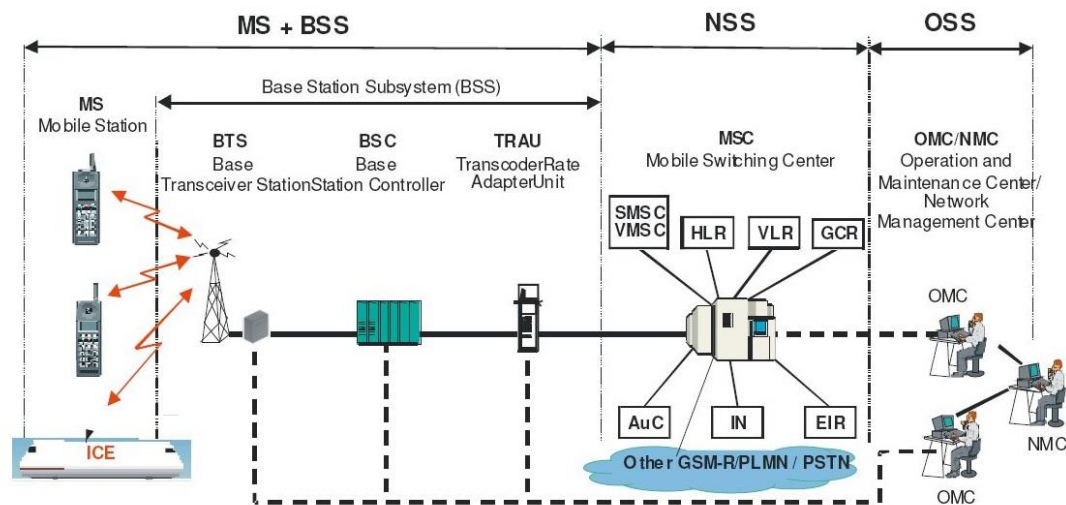
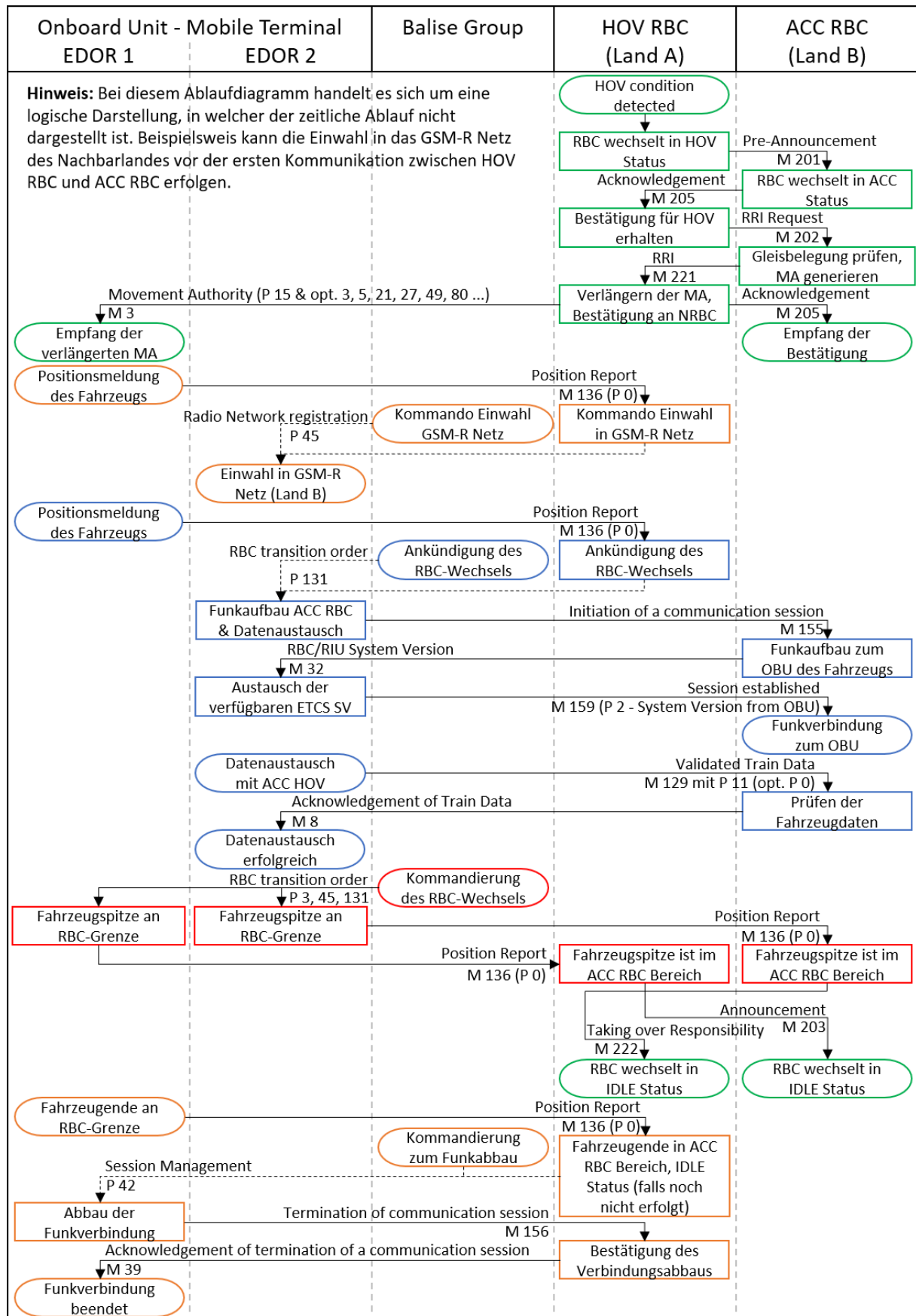


Abbildung C: Netzarchitektur von GSM-R
[DBN23c]

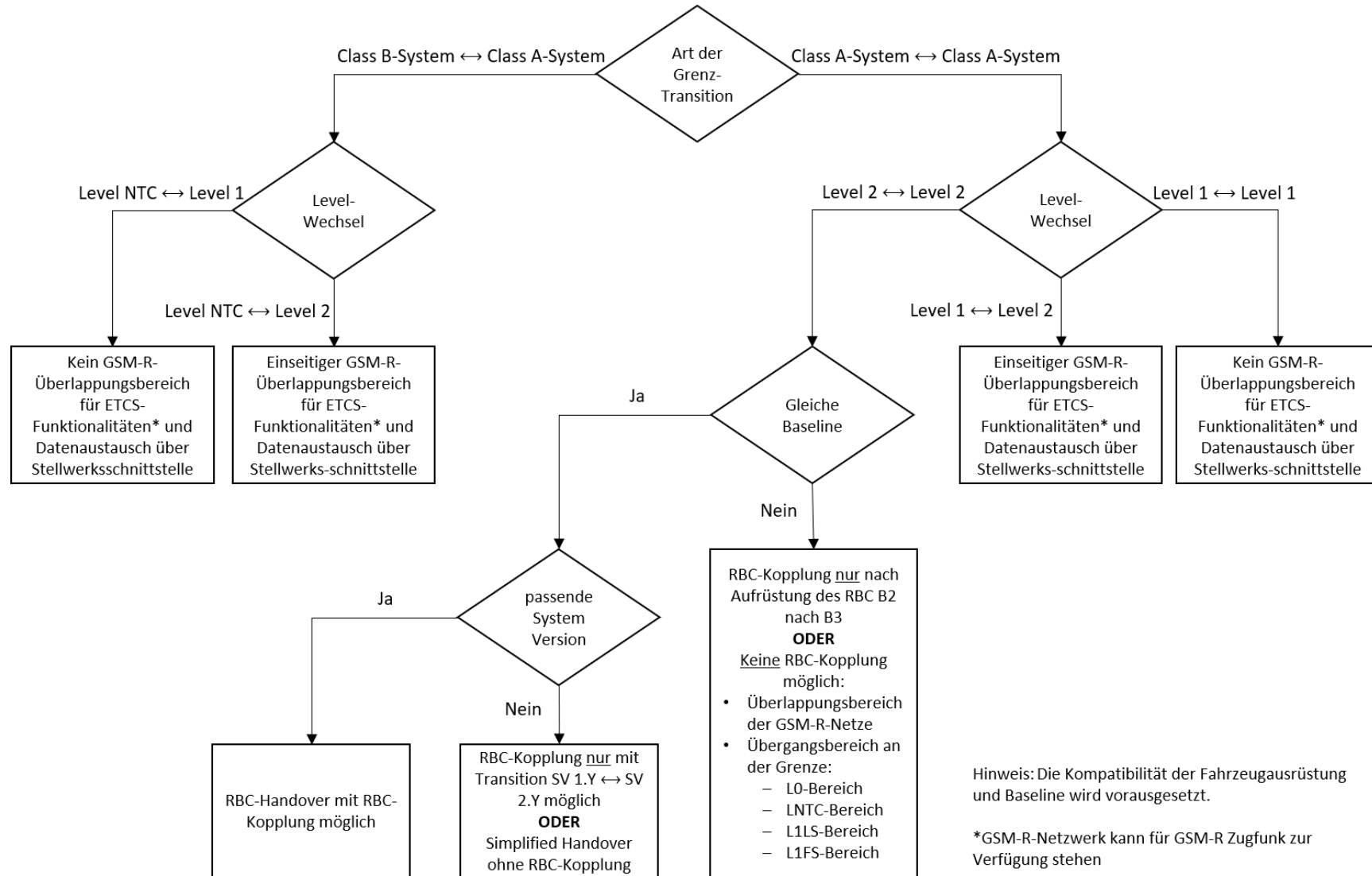
Das Gesamtsystem GSM-R lässt sich in die drei Subsysteme Operational Support System (OSS), Network Switching Subsystem (NSS) und Base Station Subsystem (BSS) untergliedern. Das Base Station Subsystem (BSS) bildet die unterste Ebene und beinhaltet die Base Station Controller (BSC) und Base Transceiver Station (BTS), welche umgangssprachlich auch als GSM-Basisstation bezeichnet werden. Deren Aufgabe ist es, die Funkübertragung zwischen Funkmast und Fahrzeugantenne sicherzustellen. Die Base Station Controller überwachen den stattfindenden Funkverkehr. Nähert sich ein Fahrzeug der Grenze einer Funkzelle, so veranlasst es automatisch einen Wechsel der Funkzelle (Handover). Erfolgt hierbei der Wechsel zu einem weiteren Base Station Controller, so wird der Handover durch das Mobile Switching Center (MSC) koordiniert. Dieses befindet sich in der darüber liegenden Schicht, welche als Network Switching Subsystem (NSS) bezeichnet wird. Es dient als Vermittlungsstelle innerhalb des Mobilfunknetzes und steuert letztendlich den Funkverkehr. Jedem MSC ist eine definierte Anzahl an Base Station Controllern (BSC) und Base Transceiver Stationen (BTS) zugeordnet. Das Operational Support System entspricht der übergelagerten Managementebene und ist u. a. für das Sicherheitsmanagement, die Netzwerkkonfiguration und das Performance-management zuständig [DBN23c; SCH22].

Anhang 11: Ablaufschema eines RBC-Handover

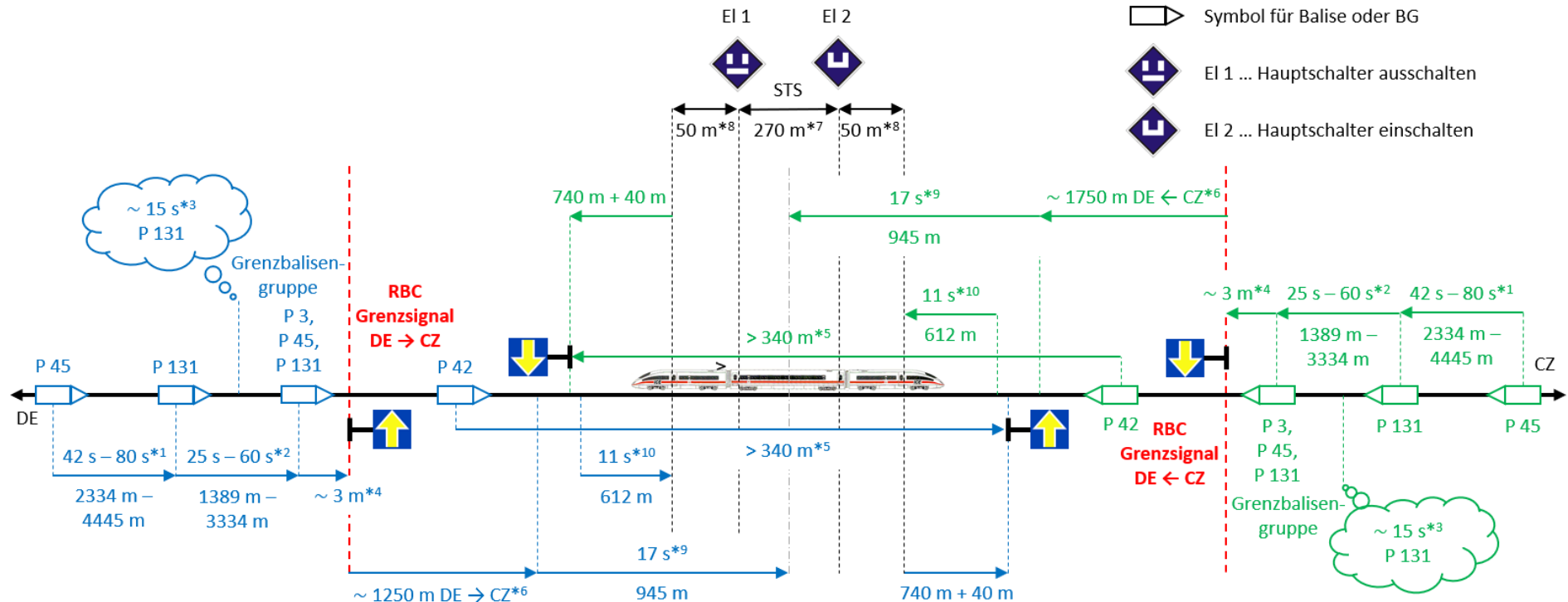


vgl. [SUB-039; EUG-74]

Anhang 12: Varianten für eine ETCS-Grenztransition



Anhang 13: Erster Entwurf für die ETCS-Grenztransition der NBS Dresden-Prag

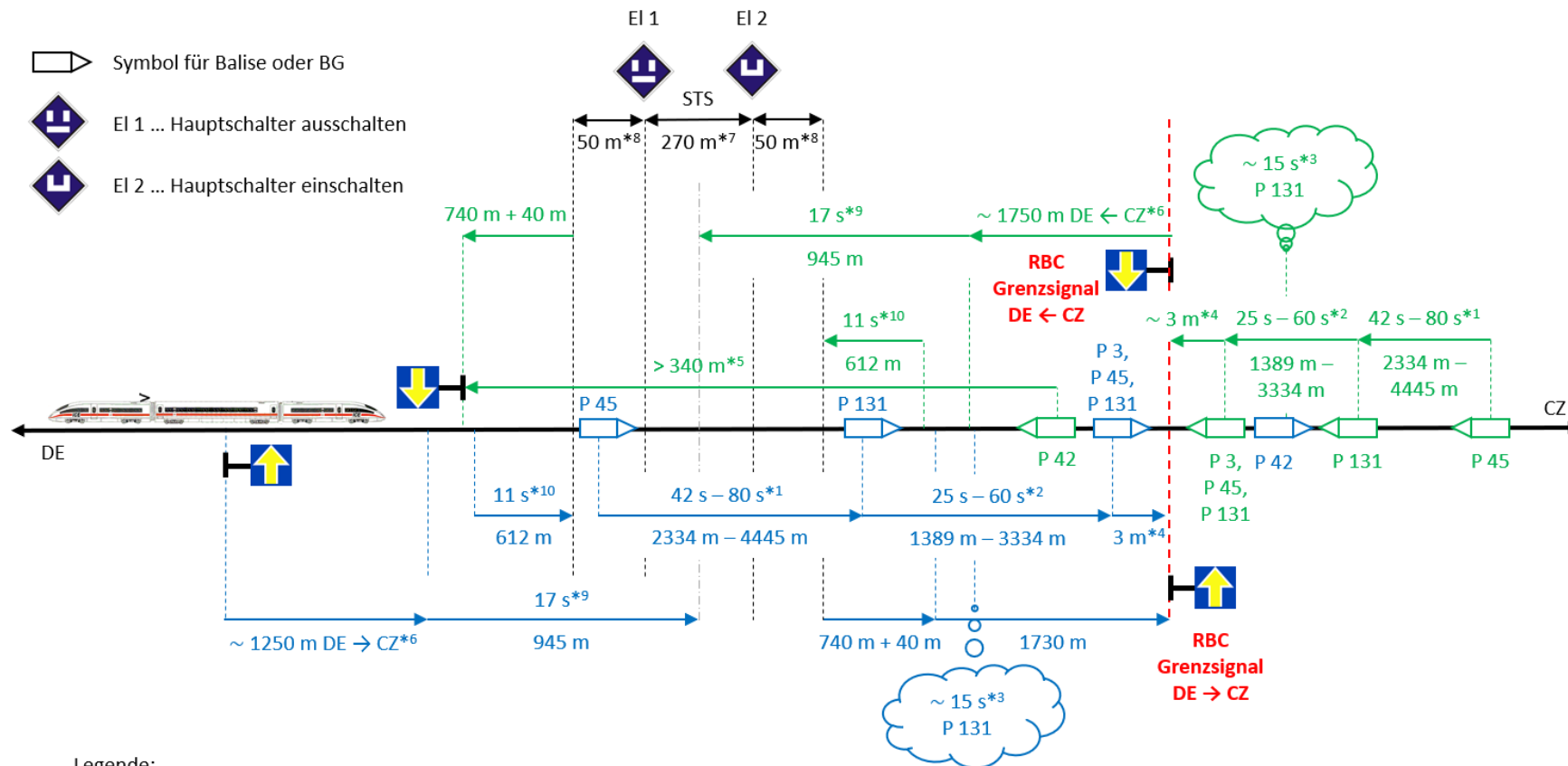


Legende:

- *1 Einwahlbalisengruppe [DB CR1244, RIL 819.1344A03]
- *2 Ankündigung der RBC-Transition [RIL 819.1344A03]
- *3 Ankündigung der RBC-Transition als Radio Message [BTSF3.000.3480]
- *4 Grenzbalisengruppe mit RBC-Transition [RIL 819.1344A03]
- *5 Zweiter Funkaufbauversuch (falls notwendig) [BTSF3.000.4343]

- *6 Berechnete Beschleunigungslängen der fahrdynamischen Untersuchung [Organisationseinheit I.NBF der DB Netz AG; Stand 10.07.2023]
- *7 Systemtrennstelle [unterteilte Schutzstrecke nach DIN EN 50367 A1.4]
- *8 Sicherheitsreserve vor Systemtrennstelle [BTSF3.000.2590]
- *9 Ankündigung der Systemtrennstelle [SUBSET-040 – 4.2.4.7.1]
- *10 Ankündigung „Hauptschalter aus“ [SUBSET-040 – 4.2.4.7.1]
- *11 Notwendiger Abstand der nächsten ETCS-Halttafel für nachgeschobene Güterzüge + Sicherheitsreserve von 40 m [RIL 997.0301]

Anhang 14: Zweiter Entwurf für die ETCS-Grenztransition der NBS Dresden-Prag

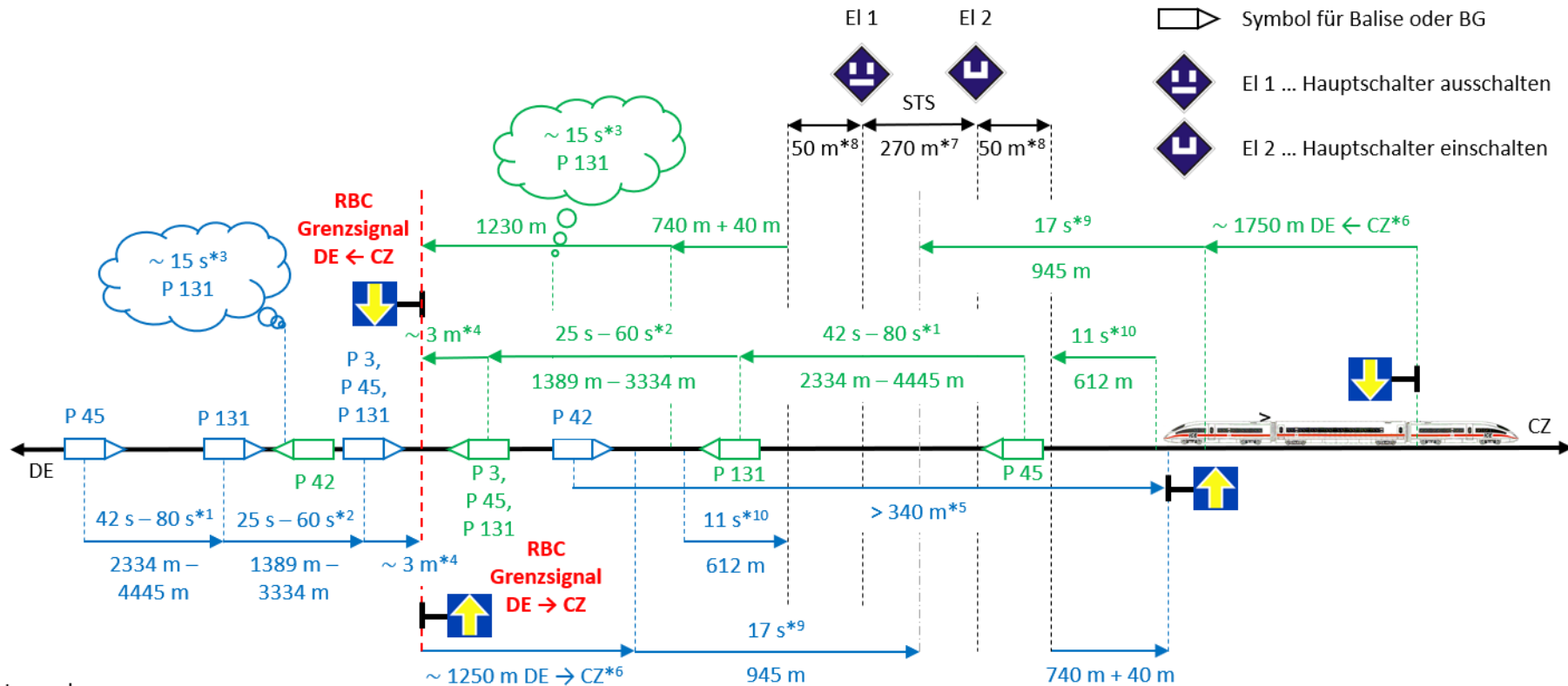


Legende:

- *1 Einwahlbalisengruppe [DB CR1244, RIL 819.1344A03]
- *2 Ankündigung der RBC-Transition [RIL 819.1344A03]
- *3 Ankündigung der RBC-Transition als Radio Message [BTSF3.000.3480]
- *4 Grenzbalisengruppe mit RBC-Transition [RIL 819.1344A03]
- *5 Zweiter Funkaufbauversuch (falls notwendig) [BTSF3.000.4343]

- *6 Berechnete Beschleunigungslängen der fahrdynamischen Untersuchung [Organisationseinheit I.NBF der DB Netz AG; Stand 10.07.2023]
- *7 Systemtrennstelle [unterteilte Schutzstrecke nach DIN EN 50367 A1.4]
- *8 Sicherheitsreserve vor Systemtrennstelle [BTSF3.000.2590]
- *9 Ankündigung der Systemtrennstelle [SUBSET-040 – 4.2.4.7.1]
- *10 Ankündigung „Hauptschalter aus“ [SUBSET-040 – 4.2.4.7.1]
- *11 Notwendiger Abstand der nächsten ETCS-Halttafel für nachgeschobene Güterzüge + Sicherheitsreserve von 40 m [RIL 997.0301]

Anhang 15: Dritter Entwurf für die ETCS-Grenztransition der NBS Dresden-Prag



Legende:

- *1 Einwahlbalisengruppe [DB CR1244, RIL 819.1344A03]
- *2 Ankündigung der RBC-Transition [RIL 819.1344A03]
- *3 Ankündigung der RBC-Transition als Radio Message [BTSF3.000.3480]
- *4 Grenzbalisengruppe mit RBC-Transition [RIL 819.1344A03]
- *5 Zweiter Funkaufbauversuch (falls notwendig) [BTSF3.000.4343]
- *6 Berechnete Beschleunigungslängen der fahrdynamischen Untersuchung [Organisationseinheit I.NBF der DB Netz AG; Stand 10.07.2023]
- *7 Systemtrennstelle [unterteilte Schutzstrecke nach DIN EN 50367 A1.4]
- *8 Sicherheitsreserve vor Systemtrennstelle [BTSF3.000.2590]
- *9 Ankündigung der Systemtrennstelle [SUBSET-040 – 4.2.4.7.1]
- *10 Ankündigung „Hauptschalter aus“ [SUBSET-040 – 4.2.4.7.1]
- *11 Notwendiger Abstand der nächsten ETCS-Halttafel für nachgeschobene Güterzüge + Sicherheitsreserve von 40 m [RIL 997.0301]

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder noch nicht veröffentlichten Quellen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.

Die Abbildungen in dieser Arbeit sind selbst erstellt worden, oder mit einem entsprechenden Quellennachweis versehen.

Diese Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüfungsbehörde eingereicht worden.

Dresden, den 31. Juli 2023