

FH Aachen

Fachbereich Maschinenbau und Mechatronik

Studiengang Schienenfahrzeugtechnik

Bachelorarbeit

**Risikoanalyse einer bordautonomen Schienenfahrzeug-
ortung mittels GNSS**

vorgelegt von Simon Mark Keller

 Matrikel-Nr. 3169702

Referent: Prof. Dr. Raphael Pfaff

Externer Betreuer: Andreas Dodinoiu, M. Sc.

Datum: 30.11.2022

In Zusammenarbeit mit

ERC.RAIL GmbH
Willy-Brandt-Platz 1
38102 Braunschweig

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die im Quellenverzeichnis angegebenen Quellen benutzt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder noch nicht veröffentlichten Quellen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.

Die Zeichnungen oder Abbildungen in dieser Arbeit sind von mir selbst erstellt worden oder mit einem entsprechenden Quellennachweis versehen. Diese Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüfungsbehörde eingereicht worden.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Lemon Kelz', with a long, sweeping horizontal stroke extending to the right.

Braunschweig, den 30.11.2022

Kurzfassung

Bei Schienenfahrzeugen, die mit dem Zugsicherungssystem ETCS betrieben sind, wird die Odometrie durch eine diskrete Ortung mittels physischen Balisen zurückgesetzt.

Diese Arbeit befasst sich mit der Innovation von virtuellen Balisen. Virtuelle Balisen, können eingesetzt werden, um physische, im Gleisbett montierte Balisen zu ersetzen. Durch den Einsatz von virtuellen Balisen soll der Infrastrukturausbau von ETCS vorangetrieben werden, indem sie als virtuelle Komponente auf Schienenfahrzeugen eingesetzt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Fragestellung beantwortet, ob eine bordautonome Zugortung mittels virtuellen Balisen in einem ausgewählten Szenario mit einem akzeptablen Risiko verbunden ist? Das Szenario besteht aus einem Schienenfahrzeug, welches mit dem Zugsicherungssystem ETCS Level 2 auf einer eingleisigen Nebenstrecke betreiben wird.

Hierzu werden zunächst die Grundlagen von ETCS und der satellitenbasierten Ortung erläutert. Des Weiteren werden die Grundlagen des CSM Prozesses und der expliziten Risikoabschätzung eingeführt. Aufbauend auf diesen Grundlagen wird der CSM Prozess angewandt und dabei eine Systemdefinition mit den Schnittstellen des Systems zur Umwelt erstellt. Mit der Hazop-Methode werden die Gefährdungen der Schnittstellen erfasst und beurteilt. Die sicherheitsrelevanten Gefährdungen werden in einer FMEA bewertet. In der folgenden Diskussion werden sicherheitsrelevante Gefährdungen nochmals betrachtet.

Das Ergebnis der Arbeit ist, dass im ausgewählten Szenario, unter der Verwendung der CSM-Prozesse und der industriell anerkannten Methoden Hazop und FMEA, die Integration der Board-autonomen-Ortung mit einem akzeptablen Risiko verbunden ist.

Inhalt

1	Einleitung	4
1.1	Fragestellung.....	4
1.2	Ziel der Innovation: Virtuelle Balise.....	5
1.3	Aufbau der Arbeit	5
2	Grundlagen	7
2.1	Grundlagen von ETCS.....	7
2.1.1	Aufbau des ETCS	7
2.1.2	Streckenseitige Ausrüstung von ETCS.....	8
2.1.2.1	Lineside Electronic Unit	8
2.1.2.2	Eurobalise	9
2.1.2.3	EuroRadio.....	10
2.1.2.4	Radio Block Center.....	10
2.1.3	Fahrzeugseitige Ausrüstung.....	11
2.1.3.1	European Vital Computer	11
2.1.3.2	Juridical Recording Unit	11
2.1.3.3	Odometrie.....	11
2.1.3.4	Konfidenzintervall.....	12
2.1.3.5	Balise Transmission Module	13
2.1.3.6	Driver Machine Interface	13
2.1.4	Funktionsweise von ETCS.....	14
2.1.4.1	ETCS Level 0	15
2.1.4.2	ETCS Level STM	15
2.1.4.3	ETCS Level 1	15
2.1.4.4	ETCS Level 2	16
2.1.4.5	ETCS Level 3	17
2.2	Grundlagen der satellitenbasierten Ortung.....	18
2.2.1	Segmente der satellitenbasierte Ortung	18
2.2.2	Satellitenbasierte Ortung.....	19
2.2.3	Mehrwegeempfang	21
2.2.4	Receiver Autonomous Integrity Monitoring.....	21
2.2.5	Navstar GPS.....	21
2.2.6	Galileo	22
2.2.7	Satellite Based Augmentation Systems	22
2.2.8	Geofencing.....	23
2.3	Der Rechtliche Rahmen im Eisenbahnsektor.....	23
2.4	Grundlagen der Risiko-Analyse.....	24

Inhalt

2.4.1	Common Safety Methods	24
2.4.1.1	Vorläufige Systeme Definition	25
2.4.1.2	Bewertung der Signifikanz	25
2.4.1.3	Systemdefinition	26
2.4.1.4	Gefährdungsermittlung	26
2.4.1.5	Gefährdungseinstufung	27
2.4.1.6	Wahl des Grundsatzes der Risiko-Akzeptanz.....	27
2.5	Explizite Risiko-Analyse.....	28
2.5.1	Failure Mode and Effects Analysis	28
2.5.2	Erläuterung der Risikoprioritätszahl	29
2.5.3	Einstufung der Faktoren der RPZ	29
3	Risikoanalyse des Virtual Balise Reader.....	31
3.1	Der CSM Prozess	31
3.1.1	Vorläufige Systeme Definition	31
3.1.2	Signifikanz Bewertung der Änderung	32
3.1.3	Systemdefinition des Virtual Balise Reader	32
3.1.3.1	Systemumgebung der VBR	34
3.1.3.2	Komponenten des VBR und ihre Funktion	34
3.1.4	Gefährdungsermittlung Hazop	36
3.1.5	Gefährdungseinstufung	37
3.1.6	Betrachtung der nicht Sicherheitsrelevanten Gefährdungen.....	38
3.1.7	Wahl des Grundsatzes Risiko-Akzeptanz	39
3.2	Explizite Risiko-Abschätzung.....	40
3.2.1	Szenario: Eingleisige Nebenstrecke	41
3.2.2	Failure Mode and Effects Analysis	42
3.2.3	Erläuterung zu den Faktoren der RPZ	43
3.2.4	Betrachtung der RZP aus FMEA	45
4	Diskussion	46
4.1	Einstufung der FMEA	46
4.2	Möglichkeit der Verwendung weiterer Sensoren.....	46
5	Fazit.....	48
	Quellenverzeichnis	49
	Abkürzungsverzeichnis.....	54
	Bildverzeichnis.....	56
	Tabellenverzeichnis	57

1 Einleitung

Die Geschichte der Eisenbahn in Deutschland begann am 7. Dezember 1835 mit der Eröffnung der sechs Kilometer langen Strecke zwischen Nürnberg und Fürth. Das grundlegende Prinzip der Spurführung der Eisenbahn, mit Stahlrädern auf Stahlschienen, hat sich seitdem nicht mehr verändert.

Der Rad-Schiene-Kontakt hat einen geringen Reibungskoeffizienten, dies macht den Transport von Gütern und Personen besonders wirtschaftlich, hat aber einen langen Bremsweg zur Folge. Durch den stetigen Fortschritt der Technik stieg die Maximalgeschwindigkeit von Schienenfahrzeugen und infolgedessen resultierten immer größer werdende Bremswege entstand der Bedarf eines Zugsicherungssystems.

Die ersten Zugsicherungssysteme wurden Ende des 19. Jahrhunderts entwickelt und ihre Funktion war es Kollisionen und Entgleisungen zu verhindern, indem sie die Einhaltung der zulässigen Geschwindigkeit auf der Strecke überwachen. Da die Entwicklung dieser Systeme national geprägt war, kam es dazu, dass circa zwanzig verschiedene Zugsicherungssysteme in Europa entstanden, welche untereinander in der Regel nicht kompatibel sind [VDB-21]. Die Kommission der europäischen Union beschloss am 13. Juli 1996 die RICHTLINIE [96/48/EG] über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems (TEN), mit der Absicht, ein einheitliches europäisches Zugsicherungssystem European Train Control System (ETCS) zu erschaffen.

In dieser Arbeit wird die Innovation des Virtual Balise Reader (VBR) betrachtet. Hierbei handelt es sich um eine Komponente, die in das Schienenfahrzeug integriert wird, mit Schnittstelle zu ETCS.

Die Motivation dieser Arbeit besteht darin, am Ausbau des ETCS in Europa mitzuwirken und diesen voranzutreiben, indem die Möglichkeit der bordautonomen Ortung des Schienenfahrzeugs mittels GNSS geprüft wird. Für den Ausbau von ETCS muss die Ausrüstung der Zugsicherungssysteme für die Betreiber der Infrastruktur, vor allem für Nebenbahnen, wirtschaftlich attraktiver gestalten werden.

Die Einführung des 9-Eurotickets im Sommer 2022 zeigte, dass der Umstieg zur Bahn von der Bevölkerung angenommen wird. Es besteht jedoch die Notwendigkeit die Infrastruktur auszubauen, damit genug Kapazität vorhanden ist, den gestiegenen Bedarf zu decken. Hierzu eignet sich die Innovation der Virtuellen Balise, da sie Komponenten der Infrastruktur auf das Schienenfahrzeug verlagert.

1.1 Fragestellung

Die Machbarkeitsstudie einer bordautonomen Zugortung mit GNSS zum Einsatz in der Zugsicherung (ETCS), mit den Schwerpunkten Gefährdungsermittlung und Risikobeurteilung des ausgewählten Szenarios (siehe Abschnitt 3.1.3) mit der Fragestellung:

Ist eine bordautonome Zugortung in einem ausgewählten Szenario mit einem akzeptablen Risiko verbunden?

1.2 Ziel der Innovation: Virtuelle Balise

Die Eurobalise ist eine streckenseitige Zugsicherungskomponente, die in der Mitte der Schwelle montiert ist.

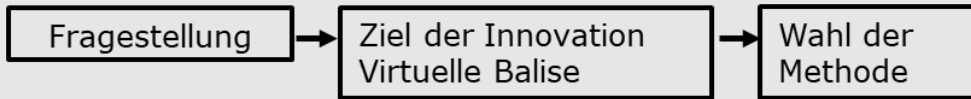
Die Innovation der Virtuellen Balise hat das Ziel, die Eurobalise durch Komponenten im Schienenfahrzeug virtuell zu erzeugen, um somit eine Verlagerung von streckenseitigen Systemkomponenten in eine virtuelle Komponente im Schienenfahrzeug zu schaffen.

Dies soll besonders den Ausbau von Neben- und Regionalstrecken antreiben, da es aktuell nicht wirtschaftlich ist, auf allen Neben- und Regionalstrecken physische Balisen zu verbauen. [CBA-18]

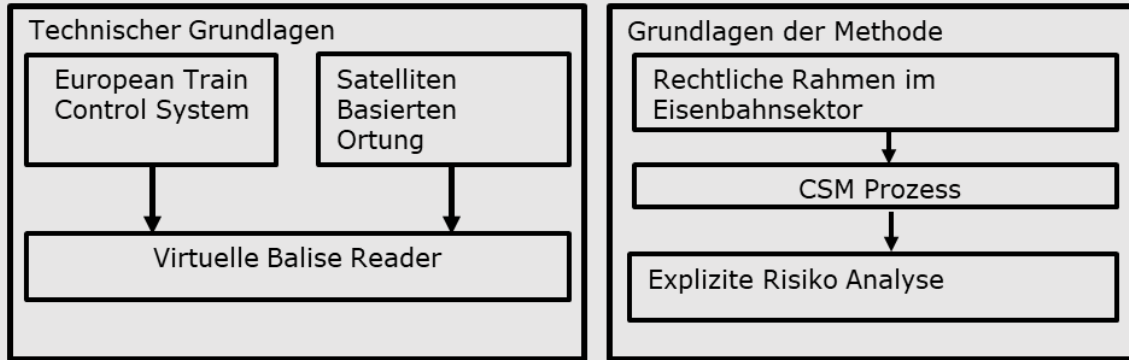
1.3 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der vorliegenden studentischen Arbeit mit seinen Kernpunkten ist im folgendem Flussdiagramm in Bild 1-1 dargestellt.

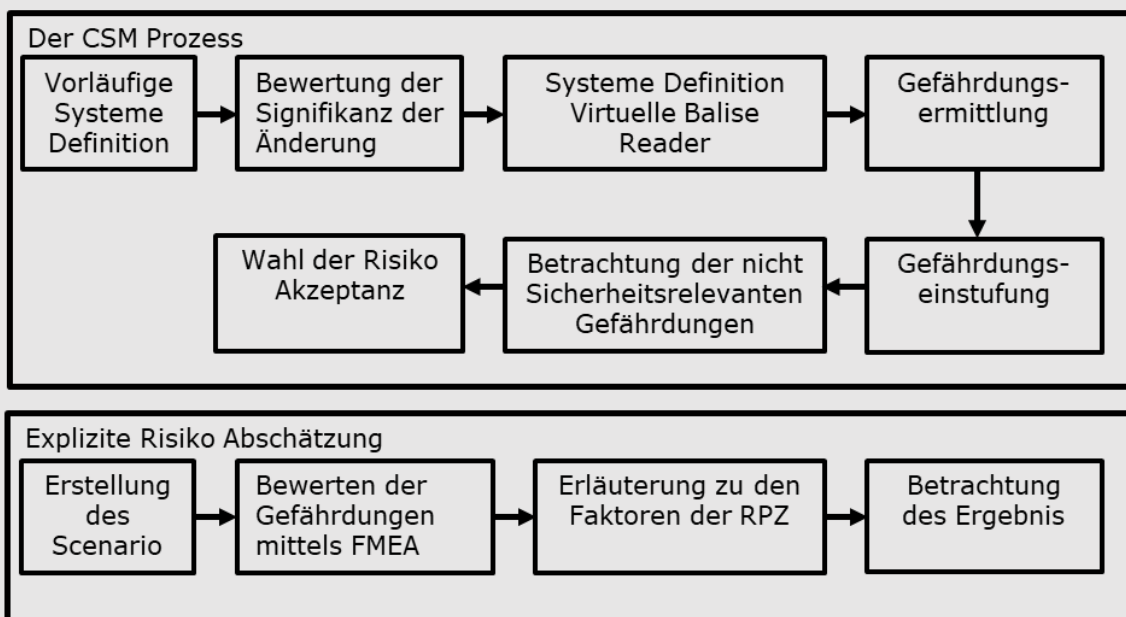
1. Einleitung und Motivation



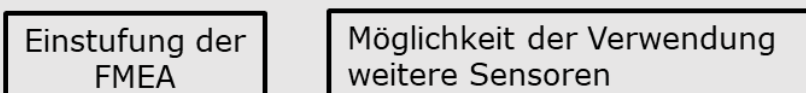
2. Grundlagen



3. Risikoanalyse des Virtual Balise Reader



4. Diskussion



5. Fazit

Bild 1-1 Aufbau der Arbeit [eigene Darstellung]

2 Grundlagen

Im folgenden Kapitel werden die Grundlagen erläutert, die in der Risikoanalyse angewandt werden. Es beginnt mit der Beschreibung des Zugsicherungssystems European Train Control System (ETCS). Im Anschluss folgt die satellitenbasierte Ortung GNSS, die ebenfalls relevant ist, um die virtuelle Balise zu erläutern.

2.1 Grundlagen von ETCS

Mit dem Ziel, einen sicheren und effizienten grenzüberschreitenden Schienenverkehr zu gewährleisten, hat am 13. Juli 1996 die Kommission der europäischen Union die RICHTLINIE [96/48/EG] über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems (TEN) erlassen. Daraufhin folgten weitere umfangreiche gesetzliche Regelungen, die zur Entwicklung des einheitlichen European Railway Transport Management System (ERTMS) führten. Mit der Absicht ein einheitliches europäisches Zugsicherungssystem European Train Control System (ETCS) zu erschaffen, womit sich in Zukunft die Mehrfachausrüstungen von nationalen Zugsicherungssystemen für den grenzüberschreitenden Verkehr, der im Rahmen der Globalisierung mehr an Bedeutung gewinnt, durch die Verwendung von ETCS erübrigt. Die Ausrüstung der streckenseitigen Infrastruktur ist durch die europäische Kommissionrichtlinie [2008/57/EG] aller Hochgeschwindigkeitsneubaustrecken mit ETCS vorgeschrieben sowie die Ausrüstung einiger transeuropäischer Güterverkehrskorridore. Die Anforderungen an die Interoperabilität werden durch die europäische Eisenbahnagentur (ERA) als ERTMS-Systembehörde erlassen. Dies ist in der Entscheidung der europäischen Kommission [2007/153/EG] vom 6. März 2007 festgelegt. Dieses Projekt, das zur Harmonisierung des europäischen Bahnverkehrs führt, umfasst verschiedene Regelwerke wie die Technical Specifications for Interoperability (TSI), dem europäischen Zugsicherungssystem European Train Control System (ETCS) sowie den Funkstandard für Sprach- und Datenkommunikation Global System for Mobile Communications Railway (GSM-R).

2.1.1 Aufbau des ETCS

Das Zugsicherungssystem ETCS ist in zwei Teilsysteme unterteilt: Das fahrzeugseitige (ETCS On-board) und das streckenseitige (ETCS Trackside). Die Schnittstellen mit den dazugehörigen Subsets [Subset-026] sind in

Bild 2-1 dargestellt. Subsets sind die technischen Spezifikationen der ETCS-Schnittstellen die in den jeweiligen Dokumenten aufgeführt sind.

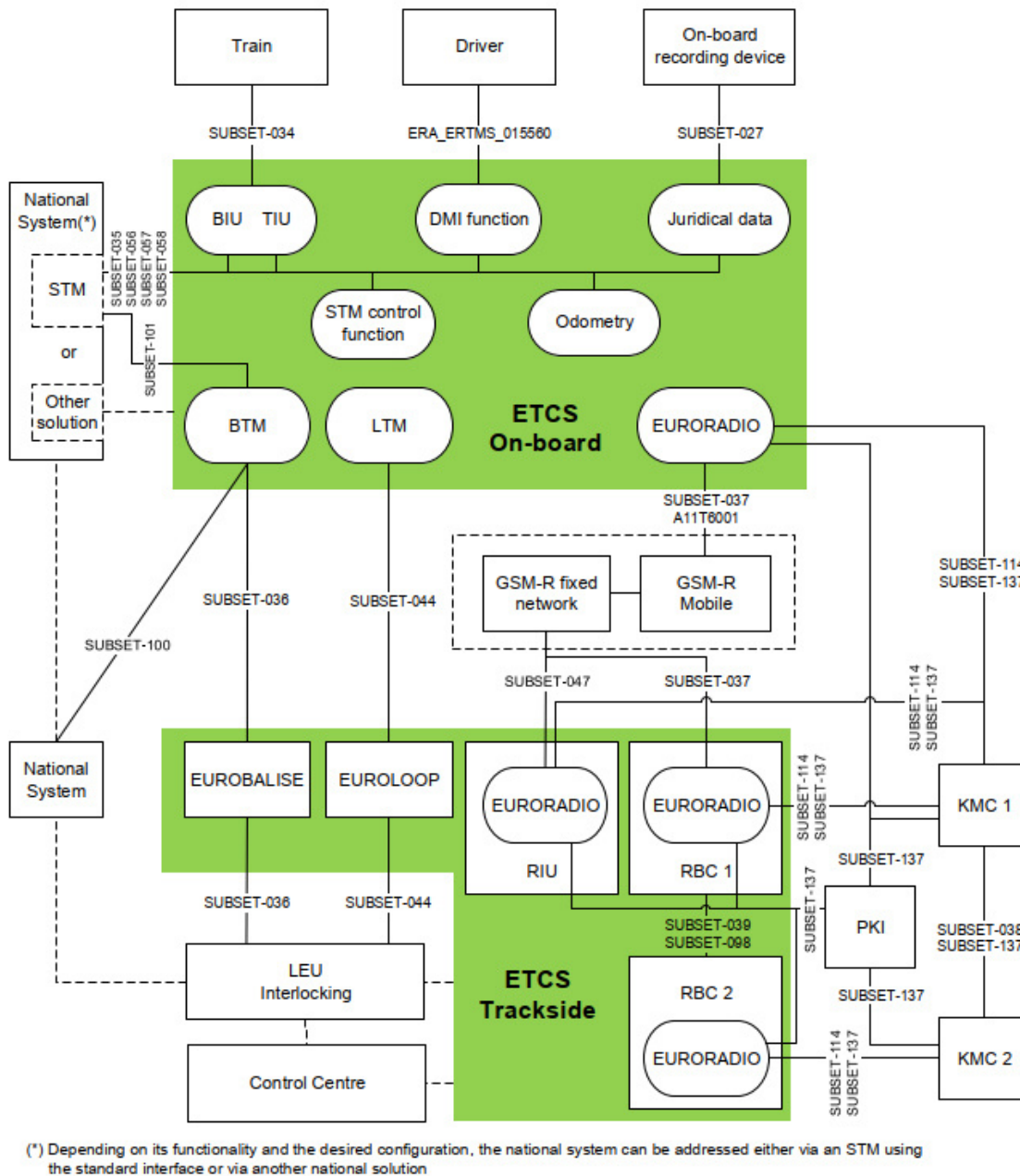


Bild 2-1 Schnittstellen des ERMS/ETCS aus [Subset-026]

2.1.2 Streckenseitige Ausrüstung von ETCS

Die Komponenten der ETCS streckenseitige Infrastruktur (engl. ETCS Trackside) ist im [Subset-026] mit ihren jeweiligen Schnittstellen beschrieben und werden in den nachfolgenden Abschnitten erläutert.

2.1.2.1 Lineside Electronic Unit

Die Lineside Electronic Unit (LEU) ist entweder direkt über eine serielle Schnittstelle mit dem Stellwerk verbunden oder als indirekte rückwirkungsfreie Schnittstelle mit Messung des Lampenstroms und seiner

Frequenz an das Lichtsignal gekoppelt. Der ermittelte aktuelle Signalbegriff wird in eins der in der LEU gespeicherten Telegramme umgewandelt und an die verbundenen Transparentdatenbalisen übermittelt. [ETC-21]

2.1.2.2 Eurobalise

Die Eurobalise ist eine infrastrukturseitige Zugsicherungskomponente die in der Mitte der Schwelle zwischen den Schienen oder auf einem Balisenträger montiert ist (siehe Bild 2-2). Die verlegte Ungenauigkeit der Eurobalise wird durch Variable Q_LOCACC im Telegramm der Eurobalise übermittelt. Aus Gründen der Interoperabilität ist der technische Inhalt und Aufbau des Telegramms im „System Requirements Spezifikation“ [Subset-026] beschrieben. Zum sicheren Auslesen und je nach Länge des Telegramms, werden eine bis acht Eurobalisen verlegt, welche als Balisengruppe zusammengefasst werden. Aus der Reihenfolge der überfahrenen Eurobalisen (aufsteigend oder absteigend), schließt der EVC auf die Fahrtrichtung. Zusätzlich sind die Eurobalisen miteinander verkettet, das sogenannte Linking. Hierbei teilt die Balisen Gruppe (BG) den Abstand zu den nächsten Gruppen mit. Die letzte Balisengruppe, welche erkannt wurde, wird als Last Relevant Balisen Gruppe (LRGB) bezeichnet. Unter Berücksichtigung der Messabweichung, beschrieben im Abschnitt 2.1.3.3, spannt sich ein Konfidenzintervall auf (siehe Bild 2-1). Liegt die gelinkte BG außerhalb des Konfidenzintervalls, so wird die im Telegramm sicherheitsgerichtete Ausfallreaktion eingeleitet. Die Balisen werden in zwei Arten unterschieden, den Festdaten- und den Transparentdatenbalisen:

- Festdatenbalisen (siehe Bild 2-2) besitzen keine eigene Energieversorgung, die Energie zum Senden ihres Telegramms erhält sie von der On-board Komponente Balise Transmission Module (BTM) (siehe Kapitel 2.1.3.5). Die Daten des Telegramms sind fest in der Balise gespeichert und werden bei der Überfahrt eines Schienenfahrzeugs vom BTM empfangen. Das Telegramm informiert das Fahrzeug via ETCS-Schnittstelle über Signale, Langsamfahrstellen, Geschwindigkeitsbegrenzungen und Gleisbedingungen. Eurobalisen dienen zur Ortung des Fahrzeugs und haben eine feste Indikationsnummer, welche die geografische Positionsinformation enthält. Diese ist als „elektronische Kilometersteine“ zu verstehen und sie dient dazu die Odometrie des Fahrzeugs zurückzusetzen.



Bild 2-2 ETCS-Euro-Balise im Gleis [VDB-22]

- Transparentdatenbalisen versenden veränderliche Telegramme, da sie über eine kabelgebundene Datenschnittstelle mit der LEU verbunden sind. Je nach Aufgabe sind sie einzeln oder als Gruppe angeordnet. Dabei ist die erste Balise eine Festdatenbalise und dient als Ortungsreferenz für die zu übertragene Information. Bei Verlust der Verbindung der Transparentdatenbalisen zur LEU wird ein intern gespeichertes Default Telegramm versendet. [ETC-21]

2.1.2.3 EuroRadio

Das digitale Zugfunknetz GSM-R (Global System for Mobile Communication-Rail) ist der Kommunikationsstandard für Sprach- und Datenverbindungen im europäischen Schienenverkehr. Das Netz, welches in Deutschland von der DB Netz AG (DB) betrieben wird, hat eine eigene Infrastruktur entlang der Gleise mit einer Abdeckung von 29.000 der insgesamt 33.000 Streckenkilometer. Zur Gewährleistung der Interoperabilität im Netz sind die Frequenzen des GSM-R Funks europaweit im GSM900 Band zwischen 876-880 MHz im Uplink und 921-925 MHz im Downlink festgeschrieben [EIS-19]. In Zukunft wird es einen neuen Funkstandard für die Eisenbahn entwickelt, das Future Railway Mobile Communication System (FRMCS). Dieser basiert auf 5G Technologie und hat Frequenzen im 1900 MHz-Bereich erteilt bekommen. Die DB plant ab 2025 mit dem Aufbau von FRMCS zu beginnen. Die neue Technik verfügt über geringe Latenzzeiten und hohe Datenraten und ist somit besser für ETCS Level 3 geeignet. [SID-22]

2.1.2.4 Radio Block Center

Das Radio Block Center (RBC) ist die zentrale Schnittstelle zwischen dem ETCS geführten Fahrzeug und dem Stellwerk. Der erste Verbindungsaufbau,

zum jeweiligen RBC, wird dem Schienenfahrzeug via Festdatenbalisen angekündigt. Die RBC sind im Abstand von ca. 70 km an der Strecke verbaut. Bei der Fahrt eines Schienenfahrzeugs durch mehrerer solcher Gebiete, findet an den Grenzen zwischen dem RBC ein „Handover“ (Übergabe-Prozedur von RBC zu RBC) statt [Subset039]. Hierzu verfügt das RBC über die sichere Schnittstelle NRBC (Nachbar RBC). In den ETCS Level 2 und 3 hält das Fahrzeug via GSM-R Datenfunk ständigen Kontakt zum RBC und teilt dabei seine Position, Geschwindigkeit und Fahrrichtung per Telegramm mit. Das RBC übermittelt die Führungsgrößen an das Fahrzeug. Im Level 3 übernimmt das RBC zusätzlich die Funktion der Gleisfreimeldung und die Zugintegrität wird durch die ETCS-Fahrzeugeinrichtung überwacht [EID-20].

2.1.3 Fahrzeugseitige Ausrüstung

Der Zusammenschluss aller ETCS-Komponenten auf dem Schienenfahrzeug wird als On-bord Unit (OBU) bezeichnet. Die ETCS-Komponenten werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

2.1.3.1 European Vital Computer

Die zentrale Einheit der fahrzeugseitigen Ausrüstung ist der European Vital Computer (EVC). Dieser sicherheitsrelevante Computer wird als 2-von-2- oder als 2-von-3-Computer-System ausgeführt. Die Schnittstellen zur Train Interface Unit (TIU) (Fahrzeugsteuerung) sowie zur Brake Interface Unit (BIU) (Bremswirkgruppe) sind über eigene physische Verbindungen an das EVC angeschlossen [Subset-035] (siehe Bild 2-1).

2.1.3.2 Juridical Recording Unit

Mit der Juridical Recording Unit (JRU) (Fahrdatenrecorder) werden alle Fahrdaten des Schienenfahrzeugs sowie Eingaben und Bedienungshandlungen des Triebfahrzeugführer (Tf) mit der Zeit- und Kilometermarke des Geschehens gespeichert. Die Auswertung von Fahrdaten dient der Rekonstruktion von Unfallhergängen und damit der Ableitung von Sicherheitsmaßnahmen sowie Gefährdungsreduktionen [ETC-21].

2.1.3.3 Odometrie

Die Odometrie ist das gesamte Vorgehen der Weg- und Geschwindigkeits-Schätzung. Hierfür werden mehrere unabhängigen Sensoren zur Messung

physikalischer Größen verwendet. Hierbei sind an den nicht angetriebenen Achsen des Schienenfahrzeuges Drehzahlsensoren mit zwei Sensorelementen verbaut. Diese erzeugen ein phasenverschobenes Signal, aus denen der European Vital Computer (EVC)(ETSC Zentrale rechen Einheit) Fahrtrichtung, Geschwindigkeit und Beschleunigung schätzt. Dieses Messverfahren ist fehlerbehaftet, da es direkt an die Winkelgeschwindigkeit des Rades gekoppelt ist. Diese entsteht durch den Schlupf am Rad, wodurch sich ein Unterschied zwischen Winkelgeschwindigkeit des Rades und der Relativgeschwindigkeit der Schiene entsteht. Dieser Fehler wird durch den Abgleich von weiteren Sensoren verringert. Mit den anderen Messprinzipen, wie z.B. Dopplerradar, optische Geschwindigkeitsmessung und Beschleunigungssensoren. Der Fehler der Odometrie ist mit einer zulässigen Abweichung zur realen Position im [Subset-041] definiert und beträgt „5 m + 5 % des zurückgelegten Weges“. (siehe Bild 2-3).

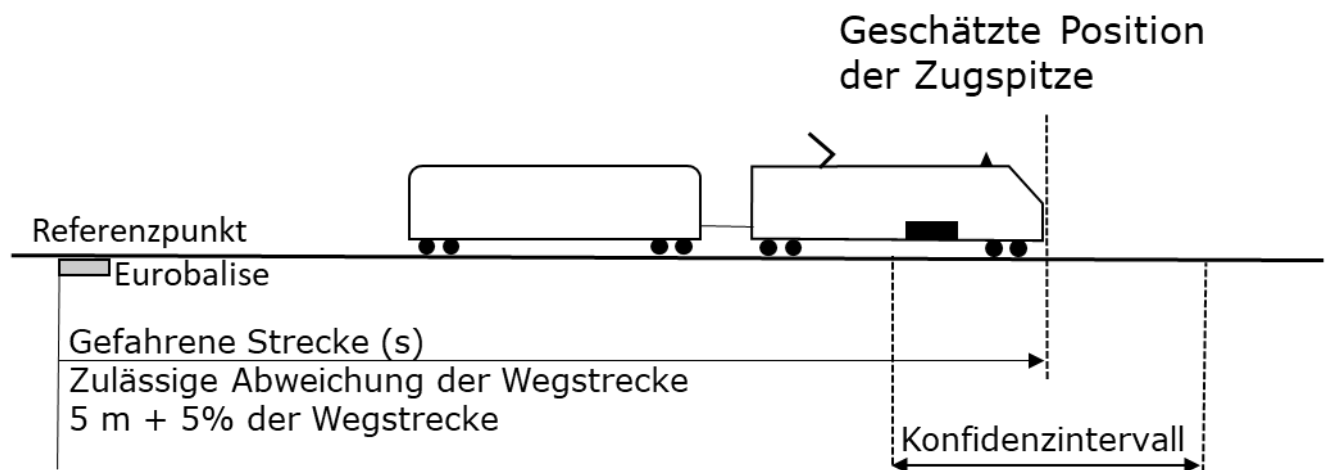


Bild 2-3 Zulässige Abweichungen bei der Zugortung mit ETCS, [eigene Darstellung] in Anlehnung an [STA-18]

2.1.3.4 Konfidenzintervall

Der Konfidenzintervall ist der Bereich von Werten, der die Unsicherheit einer Schätzung beschreibt. Die untere Begrenzung des Konfidenzintervalls wird durch die Variable L_DOUBTUNDER und die Oberbegrenzung des Konfidenzintervalls wird durch die Variable L_DOUBTOVER definiert. Für die Genauigkeit der fahrzeugseitig geschätzten Geschwindigkeit schreibt das [Subset-041] ein Intervall von ± 2 km/h bei Geschwindigkeiten unter 30 km/h vor. Dieses Intervall ist linear ansteigend bis zu ± 12 km/h bei einer Geschwindigkeit 500 km/h. Diese Anforderungen sind für den Falle einer Fehlfunktion der Odometrie gültig und stellen für die fahrzeugseitige Ausrüstung einen sicheren Vertrauensbereich dar [Subset-041].

Der Konfidenzintervall setzt sich aus der Messabweichung und der verlege Ungenauigkeit der Balise zusammen, dies wird durch die Variable

L_DOUBTOVER bzw. L_DOUBTUNDER (je nach Richtung der Abweichung) in Bild 2-4 dargestellt. Bei einer beispielhaften Fahrstrecke von 1000 Meter mit einer konstanten Geschwindigkeit von 29km/h wäre der L_DOUBTOVER sowie der L_DOUBTUNDER: 5Meter +69 Meter = 74 Meter. Der Konfidenzintervall würde in diesem Beispiel 148 Meter entsprechen.

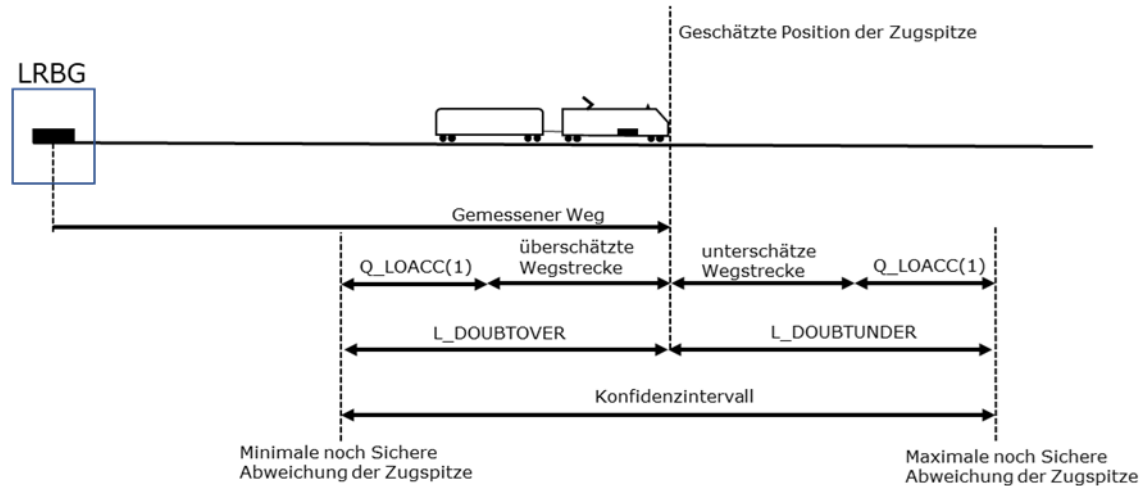


Bild 2-4 Zugposition im Bezug auf die LRBG in Anlehnung an [Subset-026] [eigene Darstellung]

2.1.3.5 Balise Transmission Module

Das Balise Transmission Module (BTM) ist die ETCS-Antenne, die mittig unter dem Fahrzeug angebracht ist. Sie strahlt kontinuierlich ein Signal mit einer Sendespeisefrequenz von 27,095 MHz in das Gleisbett ab. Bei der Überfahrt einer Eurobalise versorgt dieses Signal sie mit Energie. Die aktivierte Eurobalise sendet dann wiederum ihr Telegramm mit einer Frequenz von 4,24 MHz an das BTM. Diese ist bis zu einer Geschwindigkeit des Schienenfahrzeuges von 500km/h zugelassen. [Subset-036]

2.1.3.6 Driver Machine Interface

Das Driver Maschine Interface (DMI) ist die Schnittstelle zwischen TF und dem Zugsicherungssystem ETCS. Es ist im direkten Sichtbereich des TF im Führerstand verbaut und ist ein Anzeige- und Bedienungselement zugleich ist. Die Bedienung erfolgt je nach Ausführung mit dem Touchscreen oder durch Softkey-Eingabe neben dem Display (siehe Bild 2-5). Die jeweilige Funktion der Softkeys wird auf dem Display angezeigt.

Auf der linken Seite von Bild 2-5 ist der Geschwindigkeits- und Überwachungsbereich zu sehen. Hier werden die Istgeschwindigkeit, Zielgeschwindigkeit und Zielentfernung (im Beispiel in 760 Meter mit einer Sollgeschwindigkeit von 40 km/h) dargestellt. Die Zielentfernung ist als vertikaler Balken dargestellt, der mit Annäherung zum Ziel kleiner wird. Die Bremskurve umschließt das analoge Tachometer als Bogen und ist in Prioritätsstufen unterteilt. In den Farben Grau (geringe Priorität), Gelb

(mittlere Priorität), Orange (hohe Priorität) und Rot (sehr hohe Priorität) kodiert. Das Erreichen des roten Bereiches der Bremskurve führt zu einer Zwangsbremmung (ZB).

Im rechten Bereich ist die Planning Area zu sehen (Planungsbereich), dieser informiert den Tf über den weiteren Verlauf der Strecke. Das Streckenprofil (Gefälle und Steigung) wird in Promille angegeben. [ERA_ERTMS]



Bild 2-5 Driver Machine Interface [ERA_ERTMS]

2.1.4 Funktionsweise von ETCS

Das zentrale Element von ETCS ist die Movement Authority (MA) (Fahrbefehl). Sie ist für das Bewegen des Schienenfahrzeuges erforderlich. Die MA enthält die Distanz und zulässige Geschwindigkeit bis zum Zielpunkt der End of Authority (EOA), an der die Geschwindigkeit null ist. Je nach Infrastruktur Voraussetzungen befindet sich hinter dem EOA ein Durchrutschweg bis zum Gefahrenpunkt, der als Supervised Location (SVL) bezeichnet wird. Gibt es keinen Durchrutschweg aus Infrastrukturgründen, so ist die Position des SVL und EOA dieselbe. Welches eine Restriktive Bremskurve zur Folge hat. Der EVC bestimmt aus der MA die Bremskurve und die zulässige Geschwindigkeit für die jeweiligen Abschnitte der Strecke und überwacht diese stetig. Vor dem EOA kann die MA via Telegramm verlängert werden, dies wird als Aufwertung bezeichnet und kann je nach aktuellem Level, in dem sich das Schienenfahrzeug befindet, mittels

Eurobalise oder Euroradio passieren. Den Tf wird dies auf dem DMI angezeigt. [Subset-026]

ETCS hat verschiedene Level, die in den folgenden Abschnitten näher erläutert werden. Die ETCS-Level stehen für unterschiedliche technische und betriebliche Beziehungen zwischen der streckenseitigen Ausrüstung am Gleis und dem verbauten Zugsicherungssystem im Zug. Die Definition des jeweiligen Levels hängt hauptsächlich davon ab, welche ETCS-Komponenten entlang der Strecke verbaut sind und auf welche Art die Informationen von der Strecke zum Zug übertragen werden. Der Wechsel eines ETCS-Levels wird durch eine Transition-Balise angekündigt [Subset-026]. In allen ETCS-Levels dienen die Eurobalisen als Referenzpunkt für die Ortung des Fahrzeugs.

2.1.4.1 ETCS Level 0

Der Betrieb von Level 0 wird bei Schienenfahrzeugen verwendet, die mit ETCS ausgerüstet sind, die Streckenseitige Infrastruktur noch nicht mit ETCS oder einem kompatiblen nationalen System ausgestattet ist. In diesem Fall zeigt das System die Ist-geschwindigkeit an und überwacht die für diese Stufe zulässige Höchstgeschwindigkeit (für Deutschland 50 km/h). In diesem Level wird der Fahrbefehl an den Triebfahrzeugführer von einem Signalisierungssystem außerhalb von ETCS erteilt [EIS-19].

2.1.4.2 ETCS Level STM

Das Level Specific Transmission Module (STM) wird verwendet, wenn mit ETCS ausgerüstete Züge auf Strecken eingesetzt werden sollen, die nur mit den bestehenden nationalen Zugsicherungssystemen ausgestattet sind. Die von den nationalen Zugsicherungssystemen ermittelten Führungsgrößen werden über die streckenseitige Kommunikation mittels Schnittstellen an das nationale System an das Fahrzeug übermittelt. An Bord des Fahrzeugs werden diese Informationen durch das STM in Informationen umgewandelt, damit der European Vital Computer (EVC) diese verarbeiten kann. In diesem Level sind nur die Funktionen des jeweiligen nationalen ZZS verfügbar, wobei jedes landesspezifische ZZS ein eigenes STM benötigt. Das ETCS Level STM wurde als vorübergehende Zwischenlösung entwickelt, um die ETCS-Migration zu erleichtern [PAC-21].

2.1.4.3 ETCS Level 1

Das ETCS Level 1 wird dem bestehenden nationalen ZZS überlagert als punktförmiges Zugsicherungssystem. Die Infrastruktur am Gleis (nationales Signalisierungs- und Gleisfreigabesystem) wird beibehalten. Das Fahren im ETCS Level 1 erfolgt signalgeführt, das heißt der Tf muss die Lichtsignale an der Strecke beachten. Die angezeigten Signalbegriffe werden durch die Lineside Electronic Unit (LEU) abgegriffen und durch die

Transparentdatenbalisen (Schaltbare Eurobalise) mittels vorgefertigter Telegramme an das Fahrzeug übertragen (s. Bild 2-6). Dieser Informationsaustausch enthält die Movement Authority (MA) (Fahrbefehl für einen oder mehrere Blockabschnitte) und findet nur von der Strecke zum Fahrzeug statt.

Die erhaltene MA wird vom EVC ausgewertet und dient der ständigen Überwachung der Höchstgeschwindigkeit und wird zur Berechnung der Bremskurve am Ende MA verwendet. Diese Informationen werden dem Triebfahrzeugführer (TF) auf dem Driver Machine Interface (DMI) im Führerstand angezeigt [ETC-21].

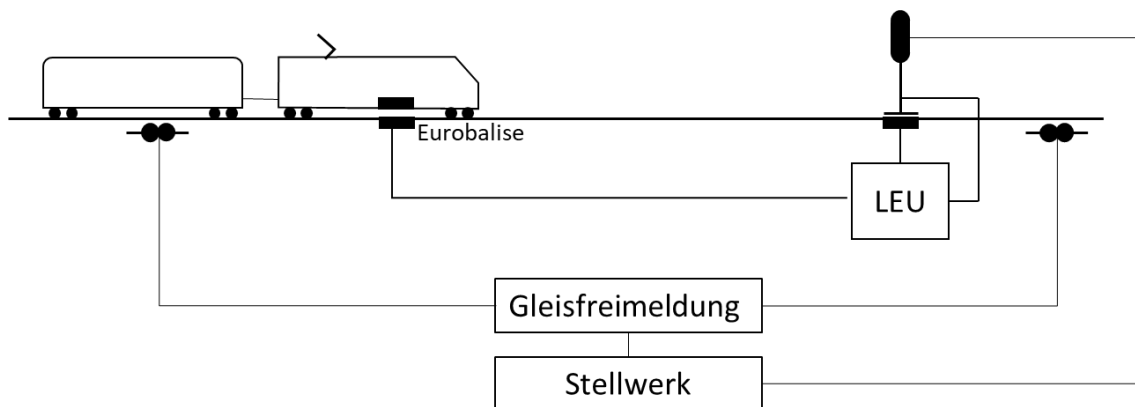


Bild 2-6 Komponenten des ETCS Levels 1 [eigene Darstellung]

2.1.4.4 ETCS Level 2

Das ETCS Level 2 unterscheidet sich zum Level 1 durch den kontinuierlichen und bidirektionalen Datenaustausch der Führungsgrößen zwischen dem Fahrzeug und der Strecke mittels dem Mobilfunksystems GSM-R.

Das Stellwerk des jeweiligen Streckenbereichs sendet seine Informationen an das streckenseitige Radio Block Center (RBC), welche via GSM-R Funk die MA an das Fahrzeug sendet. Dem Tf werden die Führungsgrößen auf dem DMI angezeigt. Es besteht keine Notwendigkeit von Lichtsignalen an der Strecke, da der Tf anzeigegeführt fährt. Bei dem Verzicht von Lichtsignalen werden vor Gefahrenstellen ETCS-Haltetafeln aufgestellt, die von Nicht-ETCS-geführten-Fahrzeugen als Haltauftrag wahrzunehmen sind. Die Gleisfreimeldung wird noch konventionell mit Achszähler oder Gleichstromkreisen realisiert (s. Bild 2-7) [PAC-21].

Die Fahrzeugortung erfolgt punktförmig durch die Festdatenbalisen, die Strecken zwischen den Balisen wird durch die Odometrie geschätzt.

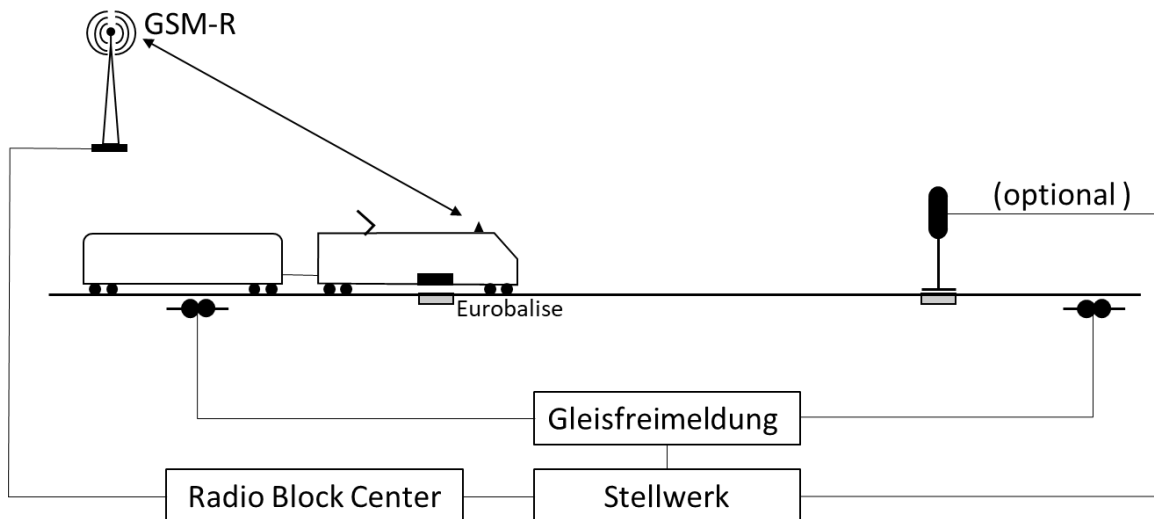


Bild 2-7 ETCS Level 2 [eigene Darstellung]

2.1.4.5 ETCS Level 3

Das Hauptmerkmal des ETCS Level 3 ist, dass das Schienenfahrzeug selbständig seine Zugintegrität prüft und teilt dieses mit seiner Position kontinuierlich dem RBC mit. Das Stellenwerk ist mit dem RBC verbunden und ist zu jedem Zeitpunkt in Kenntnis über die Position des Schienenfahrzeuges. Durch die fahrzeugseitige Zugintegritätsprüfung benötigt die streckenseitige Infrastruktur keine Gleisfreimeldeanlagen (s. Bild 2-8). Durch diese Technik ermöglicht dies dem ETCS Level 3 das Fahren in einem beweglichen Blockabstand „engl. moving Block“, da die Positionen und Geschwindigkeiten der Fahrzeuge in Verbindung mit ihren spezifischen Bremswegen bekannt sind [ETC-21].

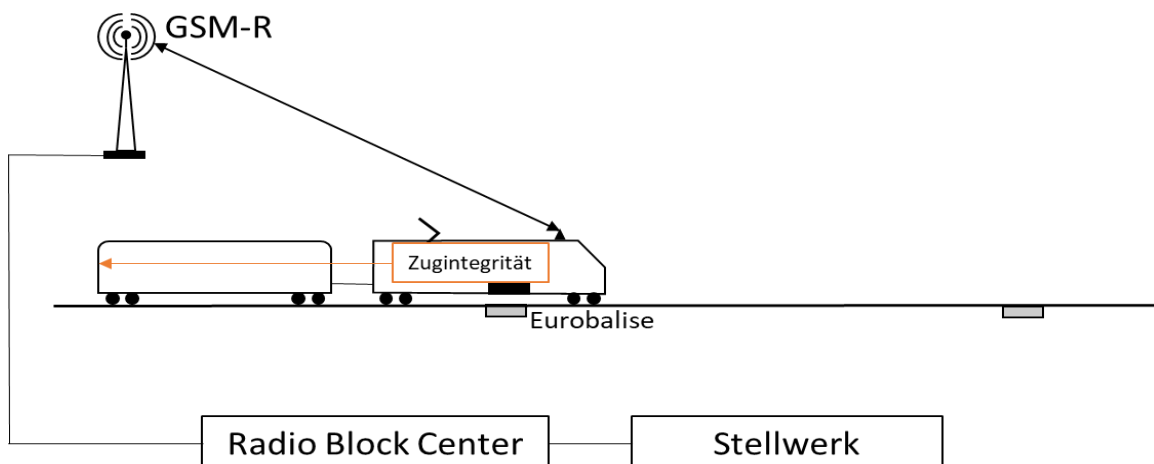


Bild 2-8 ETCS Level 3 mit Zugintegritätsprüfung an Bord [eigene Darstellung]

2.2 Grundlagen der satellitenbasierten Ortung

Die satellitenbasierte Ortung begann in den 60er Jahren mit dem Navigation System Transit, welches vom US-Militär zur Navigation ihrer Schiffe und U-Boote diente. Dieses System wurde zu rein militärischen Zwecken verwendet, die Rechnungseinheit hatte zu Anfängen die Größe eines Kleiderschranks [ESP-22]. Beginn der 90er Jahre wurden weitere Systeme entwickelt, die auch für die zivile Nutzung eingesetzt wurden, siehe Abschnitt 2.2.8.

Die satellitenbasierte Ortung ist aus der heutigen Zeit nicht mehr wegzudenken, denn die Ortung von Schienenfahrzeugen kann über zwei verschiedenen Arten erfolgen: Darunter die Fremdortung, sie geschieht punktuell durch Komponenten der Infrastruktur. Andererseits die bordautonome Ortung (Selbstortung), sie wird durch Komponenten des Schienenfahrzeugs erreicht. In dieser Arbeit wird die bordautonome Ortung betrachtet. Hierzu wird ein globales Satellitennavigationssystem (GNSS) verwendet, die Funktionsweise und der Aufbau werden in den folgenden Kapiteln erläutert.

2.2.1 Segmente der satellitenbasierten Ortung

Die vier wesentlichen GNSS: GPS, Galileo, Beidou und Glonass besitzen ähnliche Systemstrukturen. Diese sind jeweils in drei Segmente unterteilt: Raumsegment, Bodensegment und Nutzersegment (siehe Bild 2-9) und werden in den weiteren Abschnitten beschrieben.

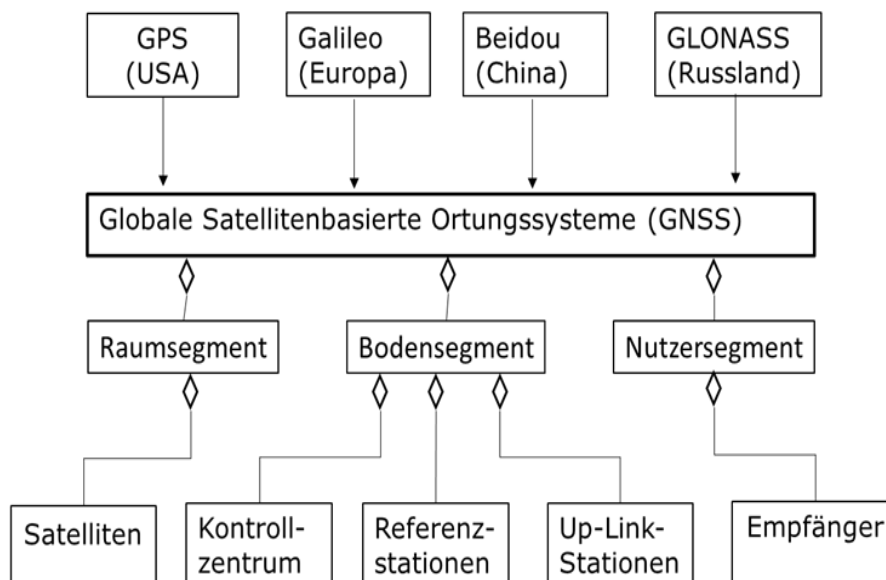


Bild 2-9 Struktur der GNSS, [eigene Darstellung]

Das Raumsegment besteht aus den jeweiligen GNSS-Satelliten im Weltall. Jeder Satellit sendet ununterbrochen ein ihm zuzuordnendes Signal zur Erde. Diese Signale enthalten verschiedene Informationen, von denen die wesentlichen die orbitalen Bahnparameter (Ephemeriden) sind, aus denen sich die Position der Satelliten berechnen lässt, und ein Indikator zur Bestimmung der Laufzeit des Signals vom Satelliten zum Empfänger.

Das Kontrollzentrum überwacht den Zustand und die Signalintegrität der Satelliten, die Synchronität der GNSS-Satelliten zur jeweiligen Systemzeit sowie ihrer Umlaufbahnen (Orbitalekonfiguration) ständig. Die hierfür notwendigen Informationen der Satelliten werden von verschiedenen Referenzstationen gesammelt und an das Kontrollzentrum übermittelt. Die daraus resultierenden Korrekturen werden über Up-Link-Stationen an die Satelliten gesendet.

Das Nutzersegment besteht aus dem GNSS-Empfänger, der in den jeweiligen Endgeräten verbaut ist. Beim Schienenfahrzeug ist der Empfänger auf dem Dach angebracht und über ein Antennenkabel mit der Recheneinheit im Schaltschrank verbunden. Der Empfänger benötigt eine freie Sicht zum Himmel, um das Satellitensignal zu empfangen

2.2.2 Satellitenbasierte Ortung

Die satellitenbasierte Ortung bezeichnet die Positionsbestimmung eines ortsfesten oder sich bewegenden Objektes (Empfängers). Zur Bestimmung der Position werden mindestens drei Satellitensignale benötigt. Der Empfänger misst die Signallaufzeit und bestimmt die Pseudodistanz zwischen Empfänger und Satellit (siehe Bild 2-10). Diese Messung bestimmt nicht die wahre Position des Empfängers und wird daher als Pseudodistanz bezeichnet. Die drei Abstände zu den Satelliten sind als Radien einer Kugel (im Bild 3 zweidimensional dargestellt) zu verstehen. Dort wo sich die drei Kugeln schneiden (durchgezogene Linie), befindet sich die gemessene Position des Empfängers. Die wahre Position des Empfängers ist im folgenden Bild 2-10 in einer gestrichelten Linie dargestellt.

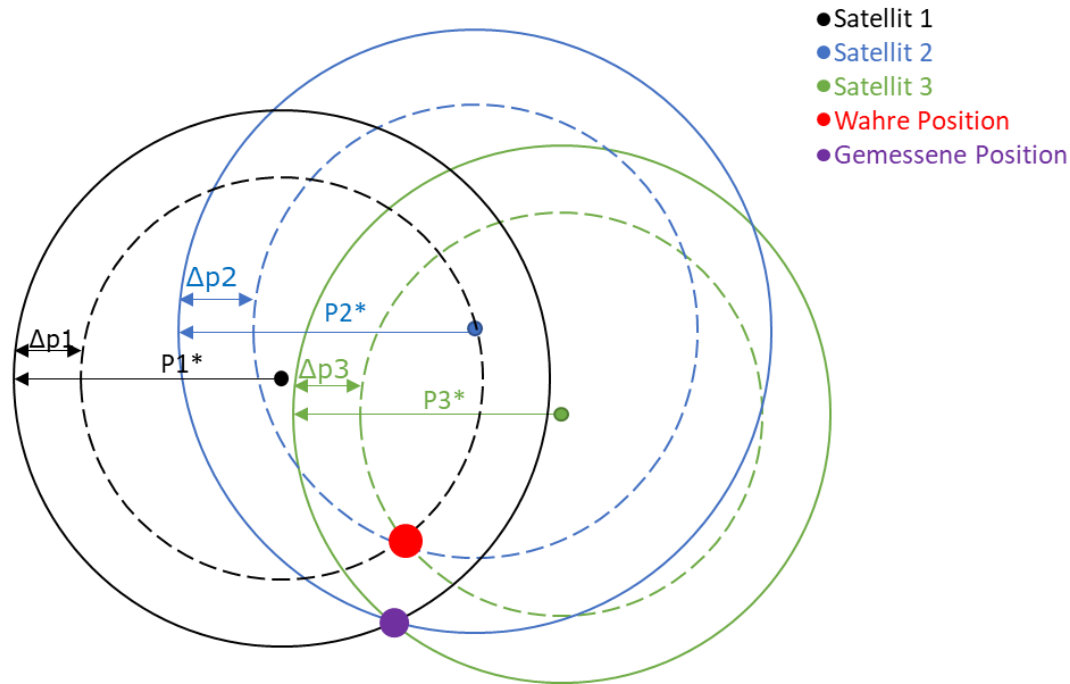


Bild 2-10 Positionsbestimmung zweidimensional dargestellt [eigene Darstellung]

Die Zusammensetzung der wesentlichen Pseudofehler:

- Abweichung der orbitalen Parameter (Falsche Bahnparameter)
- Atmosphärische Störungen: Das Signal nimmt nicht den direkten Weg durch die Ionosphäre und Troposphäre zur Erde.
- Abweichung der Empfängeruhr (Abweichung der Synchronizität zu der Satellitenuhr)
- Mehrwegeempfang: Das Signal trifft zuerst auf ein Objekt (Gebäude) und wird anschließend zum Empfänger geleitet. (s. Bild 2-11)

Das Bodensegment erfasst mittels Referenzstationen die Abweichung der orbitalen Parameter der Satelliten und meldet dies an die Kontrollstation. Der Fehler der atmosphärischen Störungen kann durch zusätzliche Informationen, z. B. übertragen durch das Satellite Based Augmentation System (SBAS), verringert werden. Dieses System wird im folgenden Kapitel betrachtet.

Die Korrektur des Zeitfehlers erfolgt durch den Abgleich der Systemzeit des Satelliten mit dem Empfänger, hierzu ist ein viertes Satellitensignal notwendig. Die Erkennung und Korrektur des Mehrwegeempfangs ist komplex und wird deshalb in dem Szenario dieser Arbeit nicht betrachtet [NGG-16].

2.2.3 Mehrwegeempfang

Der GNSS-Empfänger verlangt ein freies Sichtfeld zum Himmel, um das Satellitensignal der vier Satelliten zu empfangen. Diese ist in „bebauten Gebieten“ nicht fortwährend möglich, aufgrund des Mehrwegeempfangs. Hierbei ist die Signallaufzeit durch die Reflektion an der Hauswand verlängert. Eine weitere Möglichkeit des Mehrwegeempfangs ist die Brechung des Satellitensignals an der Ionosphäre, welches in Bild 2-11 zu sehen ist.

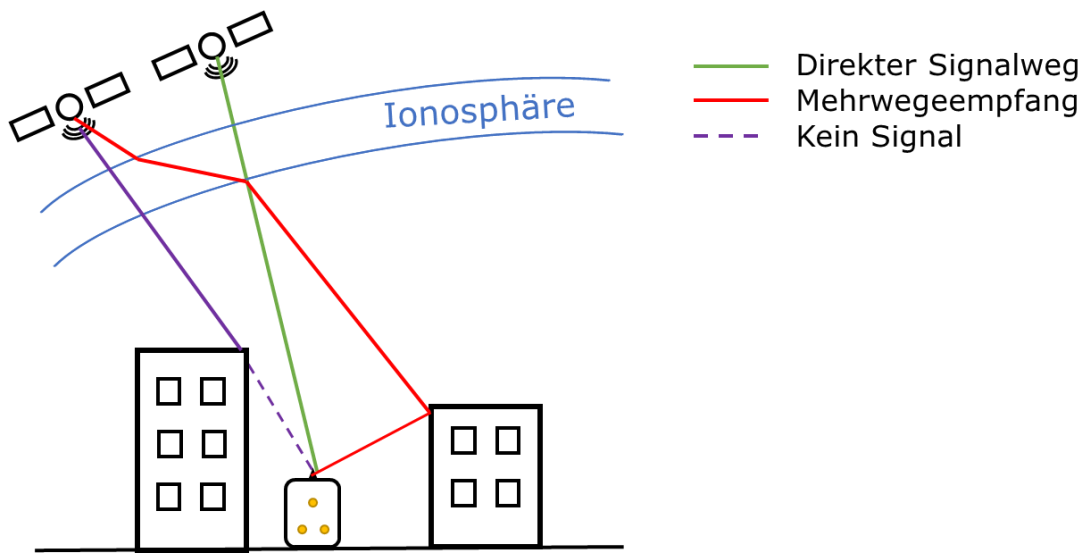


Bild 2-11 Mehrwegeempfang [eigene Darstellung]

2.2.4 Receiver Autonomous Integrity Monitoring

Der Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM) ist ein Algorithmus, der entwickelt wurde, um die Integrität von GNSS-Signalen am Empfänger zu bewerten. Der Raim-Algorithmus benutzt ausschließlich die Informationen, die vom GNSS-Empfänger empfangen wurden. Diese Technik wird besonders in der Luftfahrt sowie weiteren sicherheitskritischen GNSS-Anwendungen verwendet. Er bedarf fünf GNSS-Signalen für die Erkennung eines Fehlers. Sind sechs GNSS-Signale verfügbar, so kann der Fehler isoliert werden und mit den fünf übrigen Signalen die Position bestimmt werden [RAI-16].

2.2.5 Navstar GPS

Das NAVSTAR-GPS (Navigation System by Timing And Ranging Global Positioning System), abgekürzt GPS, ist ein Satellitenpositionierungssystem, das vom US-Verteidigungsministerium (Department of Defense) für militärische Zwecke entwickelt wurde und verwaltet wird. Es wurde ab 1979 mit dem Start der ersten Satelliten

aufgebaut und im Februar 1994 offiziell für funktionsfähig erklärt. Die Freigabe für die zivile Nutzung erfolgte im Jahr 1993 mit dem Signal Standard Positionen Service (SPS) mit einer Einschränkung in der Genauigkeit (selektiven Verfügbarkeit). Am zweiten Mai 2000 beendete die US-Regierung die Nutzung der selektiven Verfügbarkeit, um das GPS für zivile und kommerzielle Nutzer weltweit zugänglich zu machen. Die GPS-Satelliten befinden sich in einer mittleren Erdumlaufbahn (MEO) in einer Höhe von etwa 20.200 km. Es befinden sich 31 einsatzfähige GPS-Satelliten im Weltall zu den sich die Vereinigten Staaten verpflichtet haben mindestens 24 GPS-Satelliten zu 95 % der Zeit verfügbar zu halten. Die Satelliten der GPS-Konstellation sind in sechs gleichmäßig verteilten Bahnebenen um die Erde angeordnet. Jede Ebene enthält vier Slots, die von Basissatelliten besetzt sind. Diese Anordnung mit 24 Slots gewährleistet, dass die Nutzer von praktisch jedem Punkt der Erde aus, mit freier Sicht zum Himmel, mindestens vier Satelliten empfangen können. Drei der vier GPS-Satellitensignale dienen zur Berechnung der Position in drei Dimensionen, das vierte Signal dient zum Abgleich der Systemzeit des Empfängers [GOV-22].

2.2.6 Galileo

Galileo ist das europäische globale Satellitennavigationssystem (EGNSS), das unter ziviler Kontrolle steht und Satellitenortungsdienste weltweit anbietet. Die Versuchssatelliten wurden 2005 und 2008 gestartet und dienten der Erprobung kritischer Galileo-Technologien sowie der Sicherung der Galileo-Frequenzen innerhalb der internationalen Fernmeldeunion. Die ersten beiden einsatzbereiten Galileo-Satelliten wurden im Oktober 2011 gestartet, und nach weiteren Starts von Satelliten wurden am 15. Dezember 2016 die ersten Dienste verfügbar. Das derzeitige Galileo-System besteht aus insgesamt 26 Satelliten. Bis auf zwei Satelliten befinden sich alle anderen in drei kreisförmigen mittleren Erdumlaufbahnen (MEO) in 23.222 km Höhe über der Erde und mit einer Neigung der Bahnebenen von 56 Grad zum Äquator. Zwei Satelliten kamen bei ihrer Auslieferung auf eine falsche Umlaufbahn und werden seither zu der Suche und Rettungsdienstzwecken verwendet [GSC-22].

2.2.7 Satellite Based Augmentation Systems

Das Satellite Based Augmentation System (SBAS) wird eingesetzt, um die Präzision und Genauigkeit, Integrität, Kontinuität und Verfügbarkeit eines bestehenden GNSS-Systems zu verbessern. Dies geschieht durch die Messung des GNSS-Signals durch Referenzstationen, die auf allen Kontinenten verteilt sind. Das Signal wird im Kontrollzentrum ausgewertet und die Korrekturdaten werden über eine Up-Link-Station an die jeweiligen geostationären Satelliten gesendet, die für das jeweilige GNSS mit den Korrekturdaten als Ergänzung oder Überlagerung der ursprünglichen GNSS-

Meldung dienen. Die Welt ist in verschiedene SBAS Systeme aufgegliedert. Das European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) ist das Europäische SBAS, welche am 1. Oktober 2009 in Dienst gestellt wurde [EUS-21].

2.2.8 Geofencing

Bei der Technologie Geofencing wird eine virtuelle Grenze auf einer digitalen Karte gezogen, diese auch bekannt unter dem englischen Namen Location-based Services (LBS). Der projektierte Bereich des Geofence ist üblicherweise als Rechteck oder Kreis gestaltet, die Möglichkeit der Erstellung von komplexen Geometrien ist durch das Aneinanderreihen von Polygonen geben. Die virtuelle Grenze heißt Geofence. Es wird zwischen dem Eintreten in den Geofence und dem Verlassen des Bereiches unterschieden. Zur Erkennung der Position werden die GNSS-Koordinaten verwendet. Das virtuelle Durchschreiten des Geofence löst die projektierte Reaktion aus [GEO-17].

2.3 Der Rechtliche Rahmen im Eisenbahnsektor

Die Gesetze und Verordnungen, wie in Bild 2-12 dargestellt, werden von unterschiedlichen Stellen überprüft und diese sind im Folgenden beschrieben.

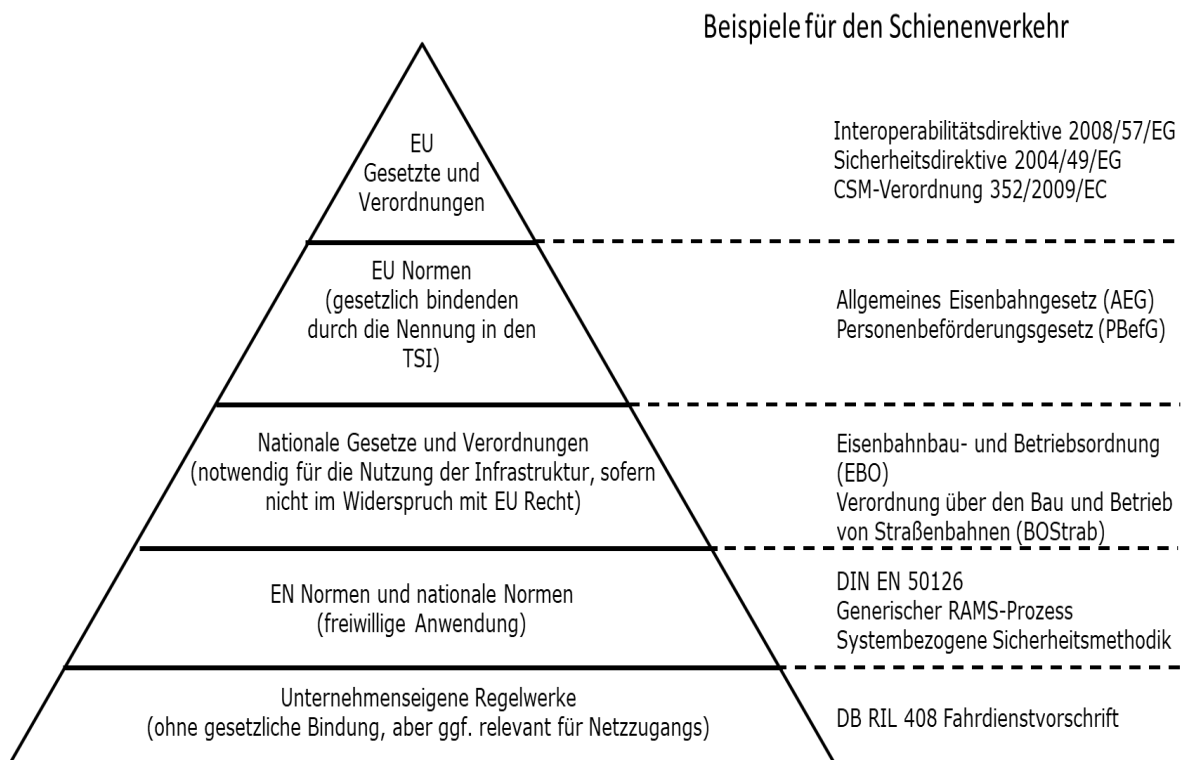


Bild 2-12 Regelwerkspyramide im Eisenbahnsektor in Anlehnung an [DAB-19], [DBF-20], [eigene Darstellung]

Die Notifizierten Nationalen Technischen Regeln (NNTR) werden nach den Vorgaben des §7 EIGV und der Interoperabilitätsrichtlinie (EU) 2016/797 vom Eisenbahn-Bundesamt erstellt. Sie sind zum besseren Verständnis als Liste erstellt. In ihnen sind für den jeweiligen Parameter Anforderungen mit TSI-Bezug und dem Regelwerk für die zusätzliche nationale Prüfung verordnet sowie Bemerkungen/Erläuterungen zur Prüfung. Die Art der jeweiligen Dokumentation der Nachweisführung ist für jeden Fall aufgeführt.

Die benannte Stelle, übersetzt aus dem englischen Notified Body (NoBo), sind staatlich benannte und überwachte private Prüfstellen. Ihre Aufgaben sind die Überprüfung der Einhaltung der normativen Vorgaben aus der technischen Spezifikation für Interoperabilität (TSI) und der geltenden europäischen Normen (EN). Bei der Erfüllung der Vorgaben stellt der NoBo eine EG-Konformitätsbescheinigung (für Komponenten) oder eine EG-Prüfbescheinigung (für Teilsysteme) aus.

Die unabhängige Bewertungsstelle AsBo, vom engl. Associated Body ist für die Evaluierung und Bewertung von Risiken gemäß der CSM Verordnung (EG) 402/2013 (engl. Common Safety Methods) als Sicherheitsbewertungsstellen aktiv. Ihre Funktion besteht darin den Sicherheitsbewertungsbericht zu erstellen [402/2013].

Eine benannte beauftragte Stelle, kurz DeBo (engl. Designated Body), prüft die Einhaltung der nationalen Anforderungen der technischen Regeln bzw. Vorschriften (NNTR) und erstellt NNTR Konformitätsbescheinigungen [797/2016].

2.4 Grundlagen der Risiko-Analyse

In den folgenden Abschnitten werden die Grundlagen der Risiko-Analyse und deren Prozesse erläutert, welche in Kapitel drei verwendet werden.

2.4.1 Common Safety Methods

Das Zusammenwachsen des europäischen Bahnsektors führte zu einem gemeinsamen Sicherheitsverständnis, welches sich in einer Verordnung für eine gemeinsame Sicherheitsmethode für die Evaluierung und Bewertung von Risiken wiederfindet. Diese trat am 30. April 2013 in Kraft [402/2013]. Es handelt sich um einen Rahmen, der ein gemeinsames verbindliches europäisches Risikomanagementverfahren für den europäischen Bahnsektor beschreibt. Im Bild 2-13 ist der Ablauf schematisch dargestellt und in den folgenden Abschnitten 2.4.1 bis 2.4.1.6 beschrieben.

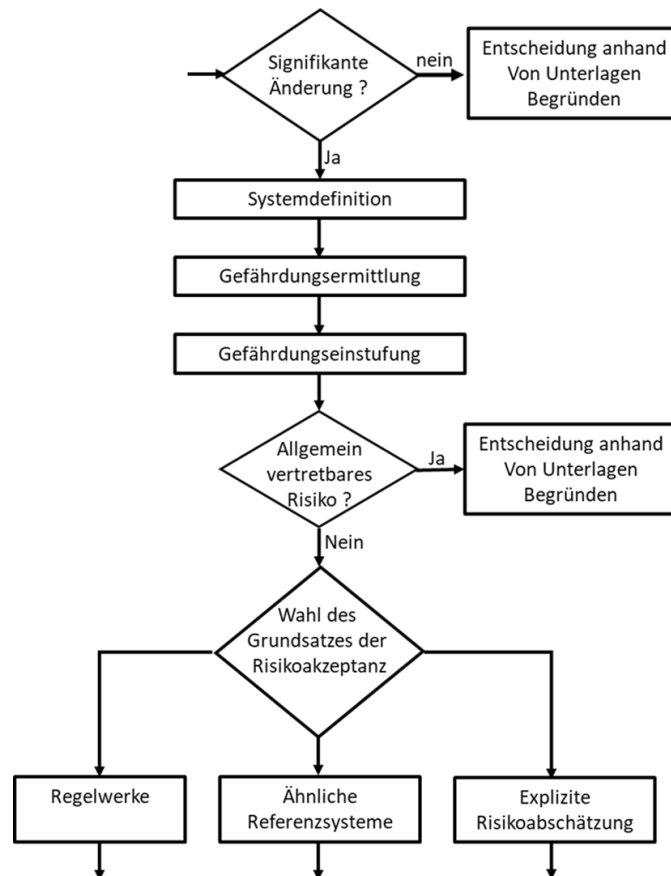


Bild 2-13 Auszug aus der Anlage Risikomanagementverfahren und unabhängige Bewertung aus der CM-Verordnung [402/2013], [eigene Darstellung]

2.4.1.1 Vorläufige System Definition

Die vorläufige System Definition ist eine kurze prägnante Beschreibung des Systems und dient der nachfolgenden Bewertung der Signifikanz als Bewertungsgrundlage. Bei einer signifikanten Änderung des Systems wird eine ausführliche Signifikanz Bewertung durchgeführt.

2.4.1.2 Bewertung der Signifikanz

Der CSM-Prozess wird bei einer signifikanten Änderung am Schienenfahrzeug angewandt. Dieses wird anhand der sechs Signifikanz Kriterien vom Vorschlagendem überprüft:

- Folgen von Ausfällen
- Innovatives Element bei der Einführung der Änderung
- Komplexität der Änderung
- Überwachung
- Umkehrbarkeit
- Additive Wirkung

Bei einer nicht signifikanten Änderung kann eine eigene Methode angewandt werden.

Änderung der CSM Prozesses

Das Verwenden einer eigenen Methode bei einer Fahrzeugänderung wurde zum einen durch die Durchführungsverordnung [545/2018] verändert, die durch die Änderung immer die Bewertung durch einen AsBo fordert (sowohl für das Requirements Capture, als auch für das Risikomanagementverfahren).

Des Weiteren hat die ERA die Clarification note [ERA1209/146] zum Requirements Capture veröffentlicht, die besagt, dass immer ein Risikomanagementverfahren (RMV) nach CSM-VO durchführen ist, welches vom AsBo bewertet wird, je gleich in welche Kategorie (genehmigungspflichtig oder nicht) die Änderung eingestuft wird.

Somit wird der CSM-Prozess auch bei nicht signifikanter Änderung am Schienenfahrzeug angewandt.

2.4.1.3 Systemdefinition

In der CSM-Verordnung sind die Aspekte beschrieben, welche in der Systemdefinition aufzuführen sind. Die zu beschreibenden Punkte sind:

- Zweck des neuen Systems
- Systemfunktionen und Komponenten
- Systemgrenzen einschließlich der anderen interagierenden Systeme
- Physikalisch und funktionale Schnittstellen
- Systemumgebung nach Din EN 50125-1
- Die Grenzen der Risikobewertung festlegen [402/2013]

2.4.1.4 Gefährdungsermittlung

Eine Gefährdung ist eine potenzielle Schadensquelle, welche zu einem Unfall führen könnte. Die Gefährdungsermittlung ist vom Vorschlagendem systematisch zu ermitteln, dabei wählt er selber sein fachkundiges Expertengremium aus, das umfassendes Fachwissen aufweist, um ihn dabei zu unterstützen. Hierbei werden alle Schnittstellen mit ihren Funktionen betrachtet. Die ermittelten Gefährdungen sind zu protokollieren [402/2013].

Die Methode PAAG (Prognose, Auffinden der Ursachen, Abschätzung der Auswirkungen, Gegenmaßnahmen) aus dem englischen HAZOP (Hazard and Operability) ist ein systematisches induktives Vorgehen zur Gefährdungsermittlung. Die HAZOP-Analyse wurde ursprünglich für die chemische Prozessindustrie vom Institute of Chemical Industry in Großbritannien entwickelt und ist daher von ihrer Methodik auf die Prozessgestaltung und den Betrieb ausgerichtet. Nach dem Chemieunfall vom 1. Juni 1974 in Flixborough UK, bei dem 28 Personen starben, wurde diese Methode zur Sicherung in alle Industriezweige übernommen. In dieser Arbeit wird das/die PAAG/HAZOP-Verfahren angewandt, um die Gefährdungen zu ermitteln. Die zu verwendenden Leitwörter sind in Tabelle 2-1 dargestellt [PUA-13].

Grundlagen

Tabelle 2-1 Leitwörter der Hazop mit dessen Bedeutung [DIN EN 61882] [eigene Darstellung]

Leitwörter Funktion	Bedeutung
Nein (nicht/Kein/keine)	Vollständige Verneinung des Entwurfsziels
Mehr	Quantitativer Anstieg
Weniger	Quantitative Verringerung
sowohl als auch	qualitativer Änderung/Zunahme
Teilweise	qualitative Änderung/Abnahme
Umkehrung	Sinngemäßer Gegensatz zum Entwurfsziel
Anders als	vollständiger Austausch/Ersatz
Leitwörter Zeitlicher Bezug	Bedeutung
Zu früh	Relativ zur Uhrzeit
Zu spät	Relativ zur Uhrzeit
Davor	Relativ zur Reihenfolge oder zum Ablauf
Danach	Relativ zur Reihenfolge oder zum Ablauf

2.4.1.5 Gefährdungseinstufung

Die Gefahren werden nach dem geschätzten Risiko eingestuft. Daraus sind Sicherheitsmaßnahmen abzuleiten. Sie ist so detailliert durchzuführen, dass erkennbar ist, wo Sicherheitsmaßnahmen zur Kontrolle der Risiken erforderlich sind.

2.4.1.6 Wahl des Grundsatzes der Risiko-Akzeptanz

Die Wahl der Risiko-Akzeptanz ist vom Vorschlagendem zu treffen. Für die Änderung am Schienenfahrzeug ist aus den drei Säulen zu wählen:

- Anerkannte Regeln der Technik:
DIN, DIN EN, NNTR, ISO-Normen, Cenelec-Normen, TSI, RIL DB AG
- Referenzsystem:
Ein ähnliches System kann als Referenzsystem herangezogen werden, wenn es nahezu die gleichen Funktionen und Schnittstellen aufweist wie das, was schon bewertet worden ist
- Explizite Risikoabschätzung:
Wenn die Änderung nicht durch anerkannte Regeln der Technik oder ein Referenzsystem abgedeckt sind, ist eine explizite Risikoabschätzung durchzuführen. In der EBO § 2 Allgemeine Anforderungen (2) steht „Von den anerkannten Regeln der Technik

darf abgewichen werden, wenn mindestens die gleiche Sicherheit wie bei Beachtung dieser Regeln nachgewiesen ist.“[EBO]

2.5 Explizite Risiko-Analyse

Wenn die Gefährdungen sich nicht durch die anerkannten Regeln der Technik oder einem Referenzsystem einstufen lassen, muss der Nachweis der Risikoakzeptanz durch eine explizite Risikoabschätzung erfolgen (siehe Bild 2-14) Als Methode wird in dieser Arbeit die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) verwendet.

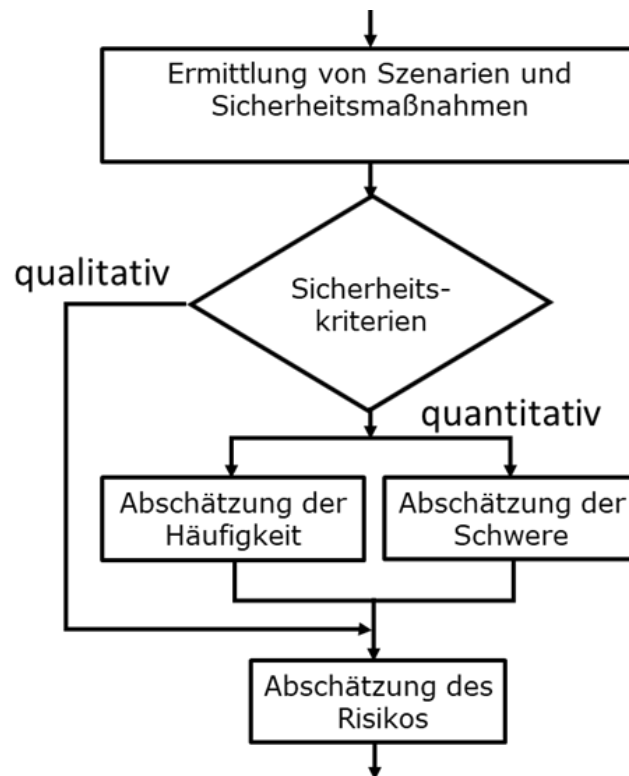


Bild 2-14 Explizierte Risikoabschätzung aus der CSM-Verordnung [402/2013], [eigene Darstellung]

2.5.1 Failure Mode and Effects Analysis

Die FMEA ist eine Bottom-Up- Bewertungstechnik, die sich auf die Funktion von Systemen und deren Komponenten konzentriert, um Prioritäten für Maßnahmen zu setzen, die darauf abzielen, potenzielle Fehler und die die daraus entsprechenden resultierenden Folgen schon im Entwicklungsprozess zu ermitteln. Die FMEA ermittelt die Risikoprioritätszahl (RPZ). Sie nimmt einen Zahlenwert zwischen 1 und 1000 an (siehe Tabelle 2-2). Die FMEA wurde für das US-Militär im Jahr 1980 [MIL-STD-1629A] als formale Analysetechnik entwickelt, ein Beispiel hierfür ist die Raketentechnologie bei dem kleinen Fehler eine sehr große Auswirkung haben können.

2.5.2 Erläuterung der Risikoprioritätszahl

Die RPZ wird durch die Multiplikation der folgenden Faktoren, die einen ganzzahligen Wert zwischen eins und zehn haben, ermittelt:

- Auftretenswahrscheinlichkeit (A) der Fehlerursache
- Bedeutung der Fehlerfolge (B) aus Anwendersicht
- Entdeckungswahrscheinlichkeit (E) des Fehlers
- $RPZ = A \times B \times E$

Tabelle 2-2 RPZ Einstufung in Anlehnung an [FMH-19], [eigene Darstellung]

RPZ	Einstufung
Wert ≤ 50	Dies entspricht dem akzeptablen Grundrisiko
Wert >50 & Wert < 125	Die potenziellen Fehler und daraus resultierenden Folgen müssen näher von Sachkundigen abgewogen werden betrachtet werden
Wert >125	Es müssen Abstellmaßnahmen festgelegt werden und der Prozess in einer weiteren Betrachtungsstufe wiederholt werden.

2.5.3 Einstufung der Faktoren der RPZ

Die folgende Tabelle 2-3 beschreibt den Faktor der Auftretenswahrscheinlichkeit von Gefährdungsfällen.

Tabelle 2-3 Beschreibung des Faktors Auftretenswahrscheinlichkeit von Gefährdungsfällen in Anlehnung an [DIN EN 50126] [eigene Darstellung]

Auftretenswahrscheinlichkeit	Faktor A	Erläuterung
Unvorstellbar	1	Das Auftreten ist unvorstellbar, es kann angenommen werden, dass die Gefährdung nicht eintritt.
Sehr unwahrscheinlich	2	Das Auftreten ist sehr unwahrscheinlich, es kann angenommen werden, dass die Gefährdung kaum eintritt.
Unwahrscheinlich	3	Es kann angenommen werden, dass die Gefährdung ausnahmsweise auftreten kann.
Möglich	4	Es kann angenommen werden, dass die Gefährdung in Ausnahmefällen eintritt.
Selten	5	Das Auftreten wird wahrscheinlich irgendwann im Lebenszyklus des Systems auftreten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Gefährdung auftreten wird.
Gelegentlich	6	Die Gefährdung wird wahrscheinlich mehrere Male auftreten.
Wahrscheinlich	7	Die Gefährdung wird sehr wahrscheinlich mehrere Male auftreten.
Sehr wahrscheinlich	8	Die Gefährdung wird mehrmals auftreten.
Häufig	9	Die Gefährdung wird häufig auftreten.
Sehr häufig	10	Die Gefährdung wird sehr häufig auftreten. Mit ihr ist ständig zu rechnen.

Grundlagen

Die folgende Tabelle 2-4 beschreibt den Faktor Bedeutung der Gefährdung

Tabelle 2-4 Beschreibung des Faktors Bedeutung der Gefährdung in Anlehnung an [DIN EN 50126], [eigene Darstellung]

Bedeutung der Gefährdung	Faktor B	Erläuterung
Äußerst unbedeutend	1	Es ist mit keinen körperlichen Verletzungen zu rechnen.
Unbedeutend	2	Verletzte Personen sind höchst unwahrscheinlich.
Leicht	3	Es besteht die geringe Möglichkeit, dass Personen mit geringfügigen Verletzungen entstehen.
Sehr geringfügig	4	Personen mit geringfügigen Verletzungen, keine Beeinträchtigung der Umwelt
Geringfügig	5	Leicht verletzte Personen, marginale Auswirkung auf die Umwelt
Marginal kritisch	6	Leicht verletzte Personen mit geringen Umweltschäden
Leicht kritisch	7	Schwerverletzte Personen mit leichten Umweltschäden
Kritisch	8	Mindestens ein Unfalltoter und schwerverletzte Personen mit vorhandenen Umweltschäden
Sehr kritisch	9	Mehrere Unfalltote, schwerverletzte Personen und große Umweltschäden
Katastrophal	10	Eine große Anzahl an Unfalltoten und viele schwerverletzte Personen bei extremen Umweltschäden

Die folgende Tabelle 2-5 beschreibt den Faktor Entdeckungswahrscheinlichkeit. Bei diesem ist darauf zu achten, dass der kleinste Wert bedeutet, dass die Gefährdung zuverlässig erkannt wird.

Tabelle 2-5 Beschreibung der Entdeckungswahrscheinlichkeit in Anlehnung an [DIN EN 50126], [FME-21], [eigene Darstellung]

Entdeckungs-Wahrscheinlichkeit	Faktor E	Erläuterung
Fast sicher	1	Die Gefährdung wird zuverlässig erkannt
Sehr Hoch	2	Die Gefährdung wird mit Hilfe einer bewährten Testmethode mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit erkannt
Hoch	3	Die Gefährdung wird mit Hilfe einer Bewerten Testmethode mit hoher Wahrscheinlichkeit erkannt
Mäßig Hoch	4	Die Gefährdung wird mit Hilfe einer Bewerten Testmethode mit mäßig hoher Wahrscheinlichkeit erkannt
Mittelmäßig	5	Die Gefährdung wird nicht mehr komplett durch die aktuellen Testmethoden erkannt, daher werden neue Erkennungsmethoden eingeführt, die noch nicht bewährt sind
Niedrig	6	Die Testmethode ist neu oder nicht bewährt, dies führt zu einer niedrigen Entdeckungswahrscheinlichkeit
Sehr Niedrig	7	Die Testmethode ist neu oder nicht bewährt dies führt zu einer sehr niedrigen Entdeckung Wahrscheinlichkeit
Gering	8	Die Testmethode ist neu oder nicht bewährt dies führt zu einer sehr niedrigen Entdeckung Wahrscheinlichkeit
Sehr Gering	9	Die Gefährdung wird nur zufällig entdeckt
Völlig ungewiss	10	Die Gefährdung wird nicht entdeckt

3 Risikoanalyse des Virtual Balise Reader

Der Begriff Risiko ist in der [DIN EN 50126] als die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Gefährdung, die einen Schaden verursacht, in Verbindung mit dem Schweregrad des Schadens definiert.

Die Risikoanalyse wird anhand der CSM-Prozess [402/2013] durchgeführt. In der EBO § 2 Allgemeine Anforderungen (2) steht „Von den anerkannten Regeln der Technik darf abgewichen werden, wenn mindestens die gleiche Sicherheit wie bei Beachtung dieser Regeln nachgewiesen ist.“

Die Risikoanalyse des VBR beschränkt sich aufgrund des normgültigen Umfangs dieser Arbeit, auf das im Abschnitt 3.2.1 beschriebene Szenario. Die Risikoanalyse des Virtual Balise Reader (VBR) ist auf den betrieblichen Ablauf gerichtet.

3.1 Der CSM Prozess

In den folgenden Abschnitten wird der CSM-Prozess sowie in Abschnitt 2.4 beschrieben angewandt.

3.1.1 Vorläufige Systeme Definition

Der VBR hat die Funktion, die aktuelle Position des Schienenfahrzeugs mit den hinterlegten Daten in der digitalen Karte zu vergleichen. Die Resultate dessen übermittelt der VBR an den EVC. Dieses dient dem Rücksetzen der Odometrie des Schienenfahrzeugs.

Der VBR hat als Eingangsschnittstellen den GNSS Receiver und die digitale Karte. Seine Ausgangsschnittstelle ist am BTM Eingang des EVC verbunden (siehe Bild 3-1).

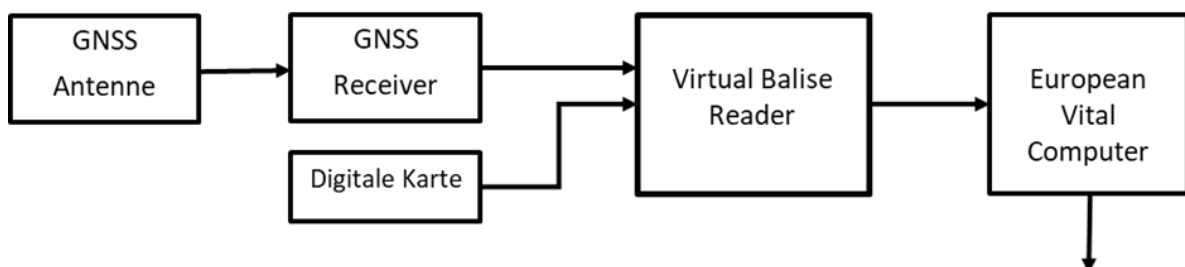


Bild 3-1 Komponenten des Virtual Balise Reader [eigene Darstellung]

3.1.2 Signifikanz Bewertung der Änderung

Zur Bewertung ist die Integration des VBR in die OBU der ETCS. Diese wird anhand der sechs Signifikanz-Kriterien vom Vorschlagendem überprüft. Dies ist in der Tabelle 3-1 dargestellt [402/2013].

Tabelle 3-1 Bewertung der Signifikanz [eigene Darstellung]

Signifikanz Kriterium	Einstufung	Beschreibung
Folgen von Ausfällen	Mittel	Einschränkung der Verfügbarkeit des Schienenfahrzeugs
Innovatives Element bei der Einführung der Änderung	Hoch	Der Innovationsgrad wird als hoch eingestuft, da es noch kein in Deutschland zugelassenes Schienenfahrzeug mit einem VBR gibt
Komplexität der Änderung	Hoch	Der VBR greift in das das Zugsicherungssystem ETCS, welches eine sicherheitsrelevante Änderung darstellt
Überwachbarkeit	Mittel	Die Positionen der VB werden durch die Odometrie und durch das Linkin plausibilisiert, des Weiteren überwacht der Tf in der Planning Area des DMI den Fahrtverlauf.
Umkehrbarkeit	Geben	Keine Änderung der Schnittstellen von der OBU des ETCS, somit ist mit dem Isolation des VBR die Umkehrbarkeit gewährleistet
Additive Wirkung	keine	Die Additive Wirkung wird als keine eingestuft, da es sich um einen generischen Umbau eines ETCS zugelassen Schienenfahrzeug handelt. Es werden keine weiteren Änderungen am Fahrzeug durchgeführt.

Durch die Auswertung der sechs Signifikanz-Kriterien kommt das Ergebnis zu Stande, dass die Änderung signifikant ist.

3.1.3 Systemdefinition des Virtual Balise Reader

Die ETCS OnBoard Einheit wird durch den VBR erweitert, die bestehenden ETCS-Fahrzeugkomponenten werden nicht verändert. Der VBR hat eine eigene GNSS Antenne auf dem Dach des Schienenfahrzeuges, die weiteren Komponenten des VBR sind auf einen 19-Zoll Standard Baugruppenträger montiert, welcher sich im Schaltschrank des Führerraumes befindet. Die Systemumgebung der Komponenten nach DIN EN 50125-1 ist in der Tabelle 3-2 dargestellt, anschließend sind ihre Funktionen in der Tabelle 3-3 aufgeführt.

Die Einführung von VBR in ECTS zielt darauf ab, die Verwendung von physischen Balisen so weit wie möglich zu reduzieren, dies ist speziell auf Nebenstrecken und Anschlussbahnen der Fall. Der VBR wird in dieser Forschungsarbeit als Grey Box betrachtet, dieser besitzt als Eingangsschnittstelle den GNSS-Receiver sowie die digitale Karte und als Ausgang eine Schnittstelle zum EVC. Der VBR greift über eine Schnittstelle auf die digitale Karte (fahrzeuginternen Streckendatenbank) zu, in der die jeweiligen virtuellen Balisen (VB) Positionen mit denen ihnen zugehörigen Telegrammen hinterlegt sind und sie vergleichen sie kontinuierlich mit den Positionsinformationen der GNSS-Schnittstelle. Der projizierte Standpunkt der jeweiligen VB ist von einem virtuellen Geofence umschlossen, welcher in Bild 3-2 blau dargestellt ist.

Die erste erkannte Position innerhalb des Geofence, in Bild 3-2 durch einen grünen Punkt dargestellt, wird mit der Variable `Q_LOCACC` gekennzeichnet, welche die Entfernung zur projizierten Position zur VB enthält. Auf diese Weise wird ein Überfahren einer virtuellen Balise (VB) erkannt und das entsprechende Telegramm, welches vom VBR als das Signal vom BTM emuliert wird und an die Schnittstelle des BTM am EVC übermittelt. Somit erfüllt der VBR die gleiche Funktion wie das BTM und dadurch werden physikalische und virtuelle Balisen auf die gleiche Weise vom EVC verarbeitet. Somit müssen die ETCS-Spezifikationen in diesem Punkt nicht geändert werden.

Die Art und Weise wie der VBR die Daten verarbeitet wäre für diese Arbeit zu komplex und wird daher nicht betrachtet. Die Virtual Balise hat dieselben Funktionen der Festdatenbalise (LRGB, Linking) (siehe Abschnitt 2.1.2.2), Sie dient dem zum Rücksetzen des Konfidenzintervalls (s.

Bild 2-3) und enthält die Genauigkeit der Position der virtuellen Balise, welche durch die Variable `Q_LOCACC` im Telegramm übermittelt wird. Daher ist es wichtig, dass die digitale Karte eine hohe Qualität aufweist und stets auf dem aktuellen Stand ist [STA-18].

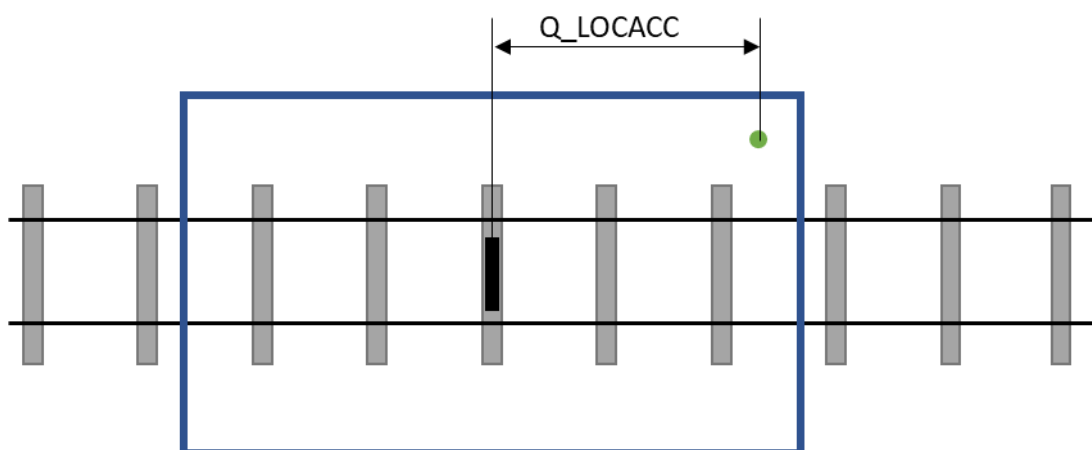


Bild 3-2 Geofence der virtuellen Balisen [eigene Darstellung]

3.1.3.1 Systemumgebung der VBR

Die Einstufung der Systemumgebung wurde nach den Kriterien der [DIN EN 50125-1] vorgenommen, die Resultate sind in der folgenden Tabelle 3-2 dargestellt.

Tabelle 3-2 Systemumgebung der VBR nach DIN EN 50125-1 [eigene Darstellung]

Kriterium	Einstufung
Höhe über NN	Klasse A1 bis 1400 Meter über dem Meeresspiegel
Temperatur	Klasse T1: Außentemperatur -25°C bis +40° Im Schienenfahrzeug -25°C bis +50°C
Luftfeuchte	Im Jahresmittel: geringer als 75 % relative Luftfeuchtigkeit - An 30 Tagen im Jahr herrschen kontinuierlich: zwischen 75 % und 95 % relative Luftfeuchte - An den anderen Tagen gelegentlich: zwischen 95 % und 100 % relative Luftfeuchte - Maximum der Luftfeuchte beträgt: 30 g/m³ in Tunneln
Luft Bewegung	Die maximale Windgeschwindigkeit wird mit 35 m/s angenommen
Regen	Klasse 5K3: Regenvolumen von 6mm/min
Schnee und Hagel	Es ist mit bis zu 15 mm Hagelkörnern zu rechnen
Blitzschlag	Es ist mit dem Eintreten eines Blitzeinschlages zu rechnen
Eis	Es ist mit Eisbildung zu rechnen
Sonneneinstrahlung	Klasse 5K5: Mit einer maximalen Sonneneinstrahlung von 1150W/m ² über eine Zeit von 8 Std. zu berücksichtigen.
Verschmutzung	Klasse 5C2: durch Gräser, Laub, Pollen, fliegende Insekten, Fasern
Schwingung und Stöße	Die Schwingen und Stöße, die im Betrieb auftreten sind gemäß der [DIN EN 61373]
EMV	Elektromagnetische Wechselwirkungen können durch anderen Geräte Seites der Passagiere innerhalb und außerhalb des Schienenfahrzeuges entstehen. [DIN EN 50121-3]
Umfeld akustische Störungen	Das Umgebung Geräusch ist nach dem Standard in [DIN EN 16727-2] ausgeführt.

3.1.3.2 Komponenten des VBR und ihre Funktion

Die Komponenten des VBR mit ihren Funktionen sind in der Tabelle 3-3 beschrieben. Ihre Anordnung ist im Bild 3-3 dargestellt, dabei stellt der rote Rahmen im Bild 3-3 die Systemgrenze des VBR dar. Die Satelliten sowie der EVC liegen außerhalb der Systemgrenze.

Risikoanalyse des Virtual Balise Reader

Tabelle 3-3 Komponenten und ihrer Funktion des VBR [eigene Darstellung]

Komponenten	Funktion
GNSS Antenne	Empfangen des Satelliten Signale
Antennen Kabel	Herstellung der Verbindung zwischen GNSS Antenne und GNSS Receiver mit Übertragung des Satelliten Signals
GNSS Receiver	Verarbeiten des Satelliten Eingangssignal in Kartesische Koordinaten und Zeit, senden an den VBR
Digitale Karte	Datenbank der kartesischen Koordinaten der virtuellen Balisen mit den zugehörigen Telegrammen, Datenfluss über direkte Schnittstelle mit dem VBR
Daten Funk Modul	Empfangen der Aktualisierungen des Karten Materials der Digitalen Karte und Übermittlung an diese.
VBR	Abgleich der erhaltenen kartesischen Koordinaten vom GNSS Receiver mit der Digitalen Karte. Bei Übereinstimmung erzeugt der VBR eine Virtuelle Balise, versandt als emulierten BTM Signal an den EVC
EVC	Erhalten des Telegramms, verarbeiten des Telegramms Rücksetzen der Odometrie, bei nicht einhalten des Linking erfolgt eine Sicherheit gerichtete Reaktion. Diese Funktion ist identisch mit dem Empfang eines Telegrammes vom BTM. [Subset-036]

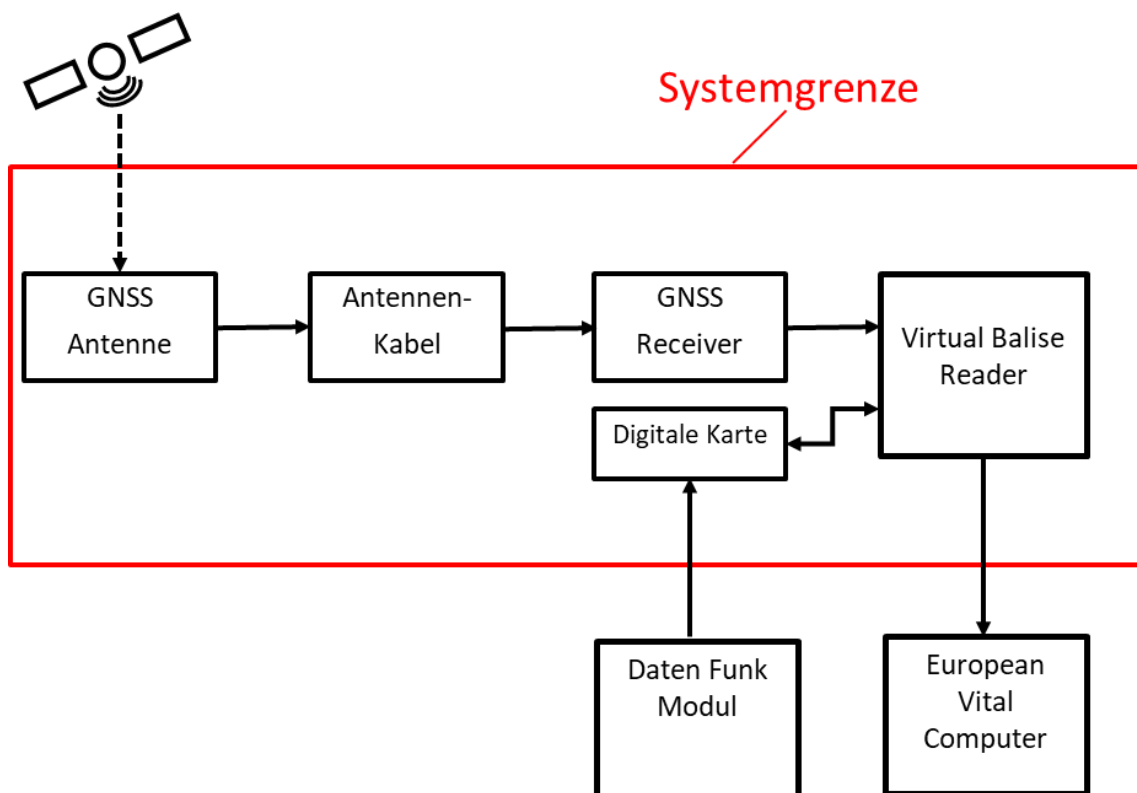


Bild 3-3 Komponenten und Systemgrenze des VBR [eigene Darstellung]

3.1.4 Gefährdungsermittlung Hazop

Die Hazop Gefährdungsermittlung untersucht die Schnittstelle an der Systemgrenze. In dieser Arbeit wird angenommen, dass die Integration der Komponenten des VBR von Fachpersonal durchgeführt und geprüft worden ist. Daher wird für die Gefährdungsermittlung vorausgesetzt, dass der Einbau der Komponenten, sowie ihr Anschluss und Energieversorgung, Datenverbindung und Erdungskonzept ihrer entsprechenden VDE Norm entsprechend, ausgeführt worden ist.

Die Schnittstellen des VBR werden untersucht, um Gefährdungen zu ermitteln, dabei legt diese Arbeit den Schwerpunkt auf den betrieblichen Ablauf.

Hierzu wird der VBR aus Kapitel 3.2.2 als Grundlage für den Prozess der Gefährdungsermittlung zur Identifizierung der Gefährdungen verwendet. Hierbei wird Szenario aus 3.2.1 verwendet. Die angewandte Methode ist Hazop [Din EN 61882].

Tabelle 3-4 Gefährdung Ermittlung nach Hazop [DIN EN 61882] [eigene Darstellung]

ID	Schnittstelle/ Komponente	Eigenschaft	Leitwort	Mögliche Ursache	Folgen
1	Satellitensignal zur GNSS Antenne	Empfang des Satellitensignals	Kein	Kein Empfang des Satelliten- signals	Keine Ortung möglich
2			weniger	Anzahl der Satelliten Signale weniger als 3	Keine Ortung möglich
3			Teilweise	Anzahl der Satelliten Signale geringer als vier	Keine Ortung
4			Anders als	Mehrwege- empfang Andere Frequenz andersartiges Signal der Satelliten wird empfangen	GNSS Receiver erhält fehlerhaftes Signal
10	Daten Funk Model zur digitalen Karte	Aktuelle Digitale Karte	Nein	Karten Material nicht aktuell	Änderungen an Balisen werden nicht erkannt: dies kann zu Fehlern mit gelinkten Balisen führen

Risikoanalyse des Virtual Balise Reader

ID	Schnittstelle/ Komponente	Eigenschaft	Leitwort	Mögliche Ursache	Folgen
11		Update der Digitalen Karte	kein	Kein Verbindungs- aufbau	Kein update möglich
12			teilweise	Nicht alle daten Pakete erhalten	Kein update
20	VBR zum EVC	Übermittelt des VB Telegramms an den EVC	Nein	Keine Erkennung einer VB	Überfahrt eines Geofence
21			Davor	Telegramm enthält die falsche Position	Position Fehler
22			Danach	Telegramm enthält die falsche Position	Position Fehler
23			Anders als	Falsche VB wird erkannt	Falsches Telegramm
24			Keine	Daten Verbindung gestört	Keine Übermittlung
25			Mehr	Daten Verbindung überlastet	Ausfall

3.1.5 Gefährdungseinstufung

Die Gefährdungen aus der Hazop-Methode (siehe Tabelle 3-4) werden in der Gefährdungseinstufung nach ihrer Sicherheit Relevanz bewertet

Tabelle 3-5 Einstufung der Gefährdungen aus Tabelle 3-4 [eigene Darstellung]

ID	Schnittstelle/ Komponente	Folgen	Sicherheitsrelevanz	
1	Satellitensignal zur GNSS Antenne	Keine Ortung möglich	nein	Keine Verfügbarkeit
2		Keine Ortung Möglich	nein	Keine Verfügbarkeit
3		Keine Ortung mit zeit Abgleich möglich	nein	Keine Verfügbarkeit
4		GNSS Receiver erhält fehlerhaften Signal	Ja	Kann zur Ermittlung einer falschen Position führen
10	Daten Funk zur digitalen Karte	Änderungen an Balisen werden nicht erkannt	Nein	Einschränkung der Verfügbarkeit Daten kommen vom RBC

Risikoanalyse des Virtual Balise Reader

ID	Schnittstelle/ Komponente	Folgen	Sicherheitsrelevanz	
11		Kein update möglich	Nein	Einschränkung der Verfügbarkeit
12		Kein update	Nein	Keine Verfügbarkeit
20	VBR zum EVC	Überfahrt eines Geofence	nein	Keine Daten werden übermittelt
21		Position Fehler	Ja	Fehler wird an EVC übermittelt
22		Position Fehler	Ja	Fehler wird an EVC übermittelt
23		Falsches Telegramm	Ja	Fehler wird an EVC übermittelt
24		Keine Übermittlung	Nein	Keine Rücksetzten der Odometrie
25		Ausfall	nein	Keine Daten werden übermittelt

3.1.6 Betrachtung der nicht Sicherheitsrelevanten Gefährdungen

Die IDs, aus der deren Betrachtung in der Tabelle 3-5 als nicht sicherheitsrelevant eingestuft sind, werden in der folgenden Tabelle 3-6 näher beschreiben.

Tabelle 3-6 Betrachtung der nicht Sicherheit relevanten ID [eigene Darstellung]

ID	Warum es nicht Sicherheitsrelevanz ist.
1	Vom GNSS Receiver wird erkannt, dass kein Signal vorhanden ist, und aufgrund dessen wird keine Position bestimmt. Es entsteht keine falsche Information und somit keine Sicherheitsrelevanz, da die Odometrie des Schienenfahrzeugs in ihrem Konfidenzintervall autark funktioniert [STA-18].
2	Weniger als drei Satelliten Signale führen dazu das keine Position bestimmt werden kann und somit erfolgt auch keine Ausgabe von Informationen. Keine Ausgabe ist nicht sicherheitsrelevant. [STA-18]
3	Weniger als vier Satelliten führen dazu die Systemzeit von Empfänger und Satelliten uh nicht abgeglichen werden kann, somit ist keine genaue Bestimmung der Position möglich, es erfolgt keine Positionsbestimmung Keine Ausgabe von Information, somit keine Sicherheitsrelevanz.

Risikoanalyse des Virtual Balise Reader

ID	Warum es nicht Sicherheitsrelevanz ist.
10	Die VB dienen nur dem Rücksetzen der Odometrie des Schienenfahrzeugs. Die VB sind durch Linkin verknüpft, Änderungen am Fahrweg mit einer alten Karte würden zu einer Redundanz Fehler im EVC führen, dies hat die im Linkin hinterlegte Sicherheit gerichtete Reaktion zur Folge. Somit ist die Verfügbarkeit eingeschränkt, aber die Sicherheit gewährleistet. Die Sicherheitsrelevante Informationen über den Fahrweg werden direkt vom RBC an den EVC via GSM-R übermittelt. Erhebliche Änderungen vom Fahrweg werden durch den die Streckenkunde des Tf erkannt.
11	Es wird die Karte des Systems verwendet. Update Informationen dieser sind nicht sicherheitsrelevant, siehe ID 10.
12	Das Update des Kartenmaterial der Digitalen Karte wird nur durchgeführt, wenn alle Daten Pakete übertragen und geprüft worden sind. Somit wird eine fehlerhafte Übertragung erkannt und ist dementsprechend nicht sicherheitsrelevant.
20	Das Überfahren eines Geofence und dabei nicht erkennen einer VB ist nicht sicherheitsrelevant. Da die Balise verlinkt ist und vom EVC erwartet wird, wird die im Linkin übermittelte Sicherheit gerichtete Reaktion ausführt.
24 25	Das nicht übermittelte Telegramms ist, ist gleichzusetzen mit dem nicht erkennen der VB. Der EVC wird in diesem Fall auch die im Linkin übermittelte Sicherheit gerichtete Reaktion ausführen. Somit ist es nicht sicherheitsrelevant.

3.1.7 Wahl des Grundsatzes Risiko-Akzeptanz

Im Folgenden wird die Wahl des Grundsatzes der Risiko-Akzeptanz erörtert. Dabei gliedert sich die Akzeptanz des Risikos in drei Grundsätze auf: Anwendung bestehender Normen und Regelwerke, der Anwendung eines Vergleichssystems oder die Durchführung einer expliziten Risikoabschätzung (vgl. Kapitel 2.4.1.6).

Da es sich bei dieser studentischen Arbeit um ein Forschungsprojekt handelt kann nicht auf existierende Normen oder Regelwerke zurückgegriffen werden. Des Weiteren wurde bisher noch kein vergleichbares System, VBR auf Basis von GNSS, zugelassen. Zwar gibt es bereits Ansätze zur Ortung mit GNSS, jedoch sind diese technisch zu unterschiedlich (vgl. [ESP-20], [EES-17]). Somit kann der Grundsatz des Vergleichssystems nicht angewendet werden. Somit ist eine explizite Risiko-Abschätzung anzuwenden.

Die Forschung im Bereich der bordautonomen Ortung eines Schienenfahrzeugs mittels GNSS gibt es die folgende Projekte, diese sind in der Tabelle 3-7 dargestellt.

Tabelle 3-7 Tabelle der GNSS Projekte [eigene Darstellung]

Veröffentlichung	Projekttitel
2022	CLUG; Certifiable Localisation Unit with GNSS in the railway environment [CLU-22]
2018	STARS; project - Satellite technology for advanced railway signaling [STA-18]
2016	NGTC; Next Generation Train Control [NGT-16]
2015	GaLoROI; Galileo Localisation for Railway Operation Innovation [GAL- 15]
2012	PiLoNav; Precise and Integer Localisation and Navigation in Rail and Inlandwater Traffic [PIL-12]

3.2 Explizite Risiko-Abschätzung

Die technologische Innovation des Virtual Balise Reader (VBR), welcher in die OBU von ETCS eingebaut wird, ist zu untersuchen.

Da der betriebliche Ablauf im Schienenverkehr sehr komplex ist, gibt es eine Vielzahl von Szenarien, die daraus abgeleitet werden können. Einige Beispiele hierfür sind in

Tabelle 3-8 aufgeführt. Aufgrund der Komplexität der Risikoanalyse, beschränkt sich diese Arbeit auf das in Kapitel 3.2.1 beschriebene Szenario. Dieses Szenario wurde gewählt, um den Ausbau von ETCS auf eingleisigen Nebenstrecken voranzutreiben.

Tabelle 3-8 Auswahl an mögliche Szenarien

Szenario	Kurze Beschreibung
Eingleiseige Nebenstrecke	Im folgen Kapitel beschreiben, ist der Wechsel von einer physischen Balise zu einer Virtuellen Balise
Freie Strecke mehrgleisig	Betrachtung der Erkennung der Gleis Selektivität des VBR
VB auf einer Brücke	Erhöhtes Auftreten von Mehrwegeempfang durch die Brückenfeiler in Verbindung mit dem Tragwerk der Oberleitung möglich.
VB im Bahnhof	Erkennen der Gleis Selektivität in Verbindung mit dem möglichen dem Mehrwegeempfang. Des Weiteren ist mit einer Vielzahl von VB
Neustart des VBR	Reaktion des Systems auf einem Neustart des VBR in einem Geofence
System VBR isolieren Fahrt über eine Festdaten Balise	Deaktivieren des Systems VBR und Betrachtung der Rückwirkungsfreiheit auf den VBR

Risikoanalyse des Virtual Balise Reader

Szenario	Kurze Beschreibung
Im Tunnel	Reaktion des Systems bei Verlust vom GNSS Signal
Nach einem Tunnel	Reaktion des Systems bei wiedererlangen vom GNSS Signal
Die Verwendung im bebauten Gebiet	Einfluss Faktoren von Mehrwegsempfang

3.2.1 Szenario: Eingleisige Nebenstrecke

Das Schienenfahrzeug fährt mit dem Zugsicherungssystem ETCS im Level 2 auf einer eingleisigen Nebenstrecke. Es überfährt eine physische Balise, diese ist nun die LRBG, und übermittelt im Telegramm durch die Variable D_Link die Entfernung zur nächsten Balise auf der Strecke, diese ist dann eine virtuelle Balise (VB1) (siehe Bild 3-4). Die Bereiche, in denen sich die VB befindet, sind nicht bebaute Gebiete, dies schließt auch Tunnel aus. Es wird ausschließlich die Ortung der Zugspitze betrachtet. Die Zugintegrität bzw. die Ortung des Zugschluss werden nicht betrachtet. Auf der Strecke zwischen LRBG und VB1 teilt das RBC dem Schienenfahrzeug den EOA in der Entfernung X Meter hinter VB1 mit. Hier ist der EOA und SVL Infrastruktur bedingt an derselben Stelle, somit gibt es keinen Durchrutschweg. Der EVC bestimmt die zugehörige Bremskurve zum EOA und zeigt den EOA im Planungsbereich des DMI an (siehe Bild 2-5).

Im Weiteren Fahrtverlauf durchfährt das Schienenfahrzeug den Geofence von VB1, diese wird vom VBR erkannt und als Telegramm an den Eingang vom BTM am EVC übermitteln. Somit wird der Odometrie des Schienenfahrzeugs zurückgesetzt. Es fährt weiter in seiner Bremskurve bis zum EOA, vor der es anhält.

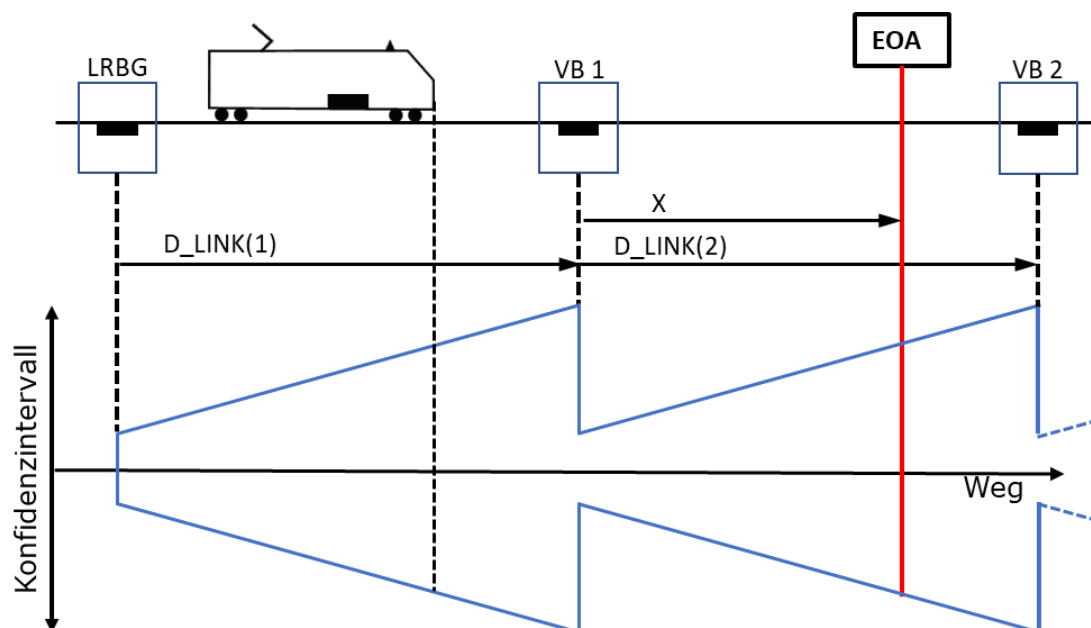


Bild 3-4 Beschreibung des Szenarios [eigene Darstellung]

3.2.2 Failure Mode and Effects Analysis

Die Gefährdungseinstufung ermittelten Sicherheit relevanten IDs werden qualitativ in der Tabelle 3-9 der FMEA untersucht. Diese werden im nächsten Kapitel weiterhin untersucht.

Tabelle 3-9 FMEA Szenario eingleisige Nebenstrecke angelehnt an [DIN EN 60812] in (eigener Darstellung)

FMEA Szenario eingleisige Nebenstrecke									
ID	Eigenschaft	Potentieller Fehler	Potentielle Fehlerfolge	Potentielle Fehlerursache	Getroffene Maßnahmen zur Risikoreduktion	Derzeitiger Zustand			
						A	B	E	RPZ
4	Empfang des Satellitensignals	Gestörter Empfang	GNSS Receiver erhält fehlerhaftes Signal und erzeugt eine falsche Position	Umwelteinflüsse in der Stratosphäre wirken sich auf das Satellitensignal aus	Verwendung des RAIM-Algorithmus, um verzerrte Beobachtungen auszuschließen	2	8	3	48
21	Übermittlung des VB-Telegramms an den EVC	Telegramm enthält die falsche Position	Im Telegramm übermittelte Position hinsichtlich der Fahrtrichtung zu früh, Weichenbereich nicht frei gefahren, Flankenfahrt führt zur Kollision und vielen Toten.	Fehlerhafte Position von GNSS Receiver erhalten	Verknüpfung der VB durch Linking	3	9	3	81
22	Übermittlung des VB-Telegramms an den EVC	Telegramm enthält die falsche Position	Im Telegramm übermittelte Position hinsichtlich der Fahrtrichtung zu spät, dadurch wird der EOA überfahren, Kollision und viele Tote	Fehlerhafte Position von GNSS Receiver erhalten	Verknüpfung der VB durch Linking	3	10	3	90
23	Übermittlung des VB-Telegramms an den EVC	Falsche VB wird erkannt	Das Telegramm enthält falsche Positiondaten, deswegen entgleist das Schienenfahrzeug durch zu hohe Geschwindigkeit in der Kurve, dies führt zu vielen Toten	Fehlerhafte Position von GNSS Receiver erhalten	Telegramm erzeugt beim EVC einen Redundanzfehler und das Telegramm wird nicht verwendet	1	10	2	20

3.2.3 Erläuterung zu den Faktoren der RPZ

Die folgende Tabelle 3-10 Einstufung des Auftretens wird die Einstufung der IDs näher erläutern.

Tabelle 3-10 Einstufung des Auftretens [eigene Darstellung]

ID	Erläuterung
4	Das GNSS Galileo erreicht eine Integrität des Signals mit einer Verfügbarkeit der Positionierung: - durchschnittlicher Standort des Nutzers von 99,90 % - schlechtester Standort des Nutzers von 99,82 % über einen Zeitraum von drei Monaten mit einer maximalen Abweichung der Genauigkeit von $\leq 7,5$ Metern [GAL-22]. Gefordert ist eine Verfügbarkeit von 99,89 % bei einer maximalen Abweichung der Genauigkeit von ≤ 10 Metern [TLP-14] Somit kommt die Einstufung sehr unwahrscheinlich zustande.
21 22	Das Eingangssignal ist mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit korrekt (siehe ID 4). Es wird angenommen, dass Komponenten und Software des VBR nach Industriestandard ausgelegt und geprüft sind, somit geht von ihnen eine sehr geringe Fehlerquelle aus. Des Weiteren müssen mindestens 5 Satellitensignale verarbeitet werden, damit der RAIM-Algorithmus angewandt werden kann. Somit kommt die Einstufung Unwahrscheinlich zustande
23	Das Eingangssignal ist zu einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit korrekt (siehe ID 4). Durch Umwelteinflüsse könnte es zu einem Phänomen kommen, dass die falsche Position geortet wird. Dies führt nur dann zum Fehlerfall, wenn diese falsche Position durch einen Zufall ebenfalls eine VB besitzt. Somit kommt die Einstufung Unvorstellbar zustande.

Die folgende Tabelle 3-11 Einstufung der Bedeutung wird die Einstufung der IDs näher erläutern.

Tabelle 3-11 Einstufung der Bedeutung [eigene Darstellung]

ID	Erläuterung
4	Der GNSS Receiver erhält fehlerhaftes Signal und berechnet daraus eine falsche Position. Diese Daten werden vom VBR verarbeitet; dadurch kommt es zu einer Fehlerfortpflanzung, welche zu den Gefährdungen ID 21, 22 und 23 führt. Daher kommt die Einstufung Kritisch zustande

Risikoanalyse des Virtual Balise Reader

ID	Erläuterung
21	Das fehlerbehaftete Rücksetzen der Odometrie des Schienenfahrzeugs hat zur Folge, dass sich der Zugschluss unerkannt im Weichenbereich befindet, dies kann zu einer Flankenfahrt führen. Eine Flankenfahrt in ein anderes Schienenfahrzeug kann zu mehreren Unfalltoten, schwerverletzten Personen und größeren Umweltschäden führen. Somit kommt die Einstufung Sehr kritisch zustande.
22	Das fehlerbehaftete Rücksetzen der Odometrie des Schienenfahrzeugs hat zur Folge, dass der EOA i.V.m. dem SVL, welche sich im gewählten Szenario an der gleichen Position befinden, überfahren wird. Dies hat eine mögliche frontale Kollision mit einem anderen Schienenfahrzeug zur Folge. Dies kann zu einer großen Anzahl an Unfalltoten und vielen schwerverletzten Personen bei extremen Umweltschäden führen. Daher kommt die Einstufung Katastrophal zustande.
23	Es wurde eine falsche VB erkannt, daher wird ein falscher Fahrweg angenommen. Das Schienenfahrzeug entgleist durch zu hohe Geschwindigkeit in der Kurve. Dies kann zu einer sehr großen Anzahl an Unfalltoten und schwerverletzten Personen bei extremen Umweltschäden führen. Somit kommt die Einstufung Katastrophal zustande.

Die folgende Tabelle 3-12 Einstufung zur Entdeckung Wahrscheinlichkeit wird die Einstufung der IDS näher erläutern.

Tabelle 3-12 Einstufung zur Entdeckung Wahrscheinlichkeit in [eigene Darstellung]

ID	Erläuterung
4	Der RAIM-Algorithmus wird verwendet, um die Integrität des Satellitensignals zu verifizieren; dies ist eine bewährte Methode, um den Fehler zu finden. Hierzu bedarf der RAIM-Algorithmus mindestens 5 Satellitensignale, um einen Fehler zu finden, und es bedarf 6 Satellitensignale, um das fehlerhafte Signal zu isolieren. Daher kommt die Einstufung der Entdeckungswahrscheinlichkeit in Sehr hoch zustande.
21 22	Die VB sind durch Linking verbunden. Liegt eine VB außerhalb des Bereichs, also nicht in ihrem Geofence, so wird dies durch den EVC detektiert. Es folgt die im Telegramm vergebene sicherheitsgerichtete Handlung Dies ist eine bewährte Methode, welche auch bei festen Balisen zum Einsatz kommt. Daher kommt die Einstufung der Entdeckungswahrscheinlichkeit in Hoch zustande.

ID	Erläuterung
23	Die ermittelte Position wird vom EVC überprüft und erzeugt einen Redundanzfehler. Des Weiteren würde dem Tf durch seine Streckenkenntnis diese Abweichung auffallen und er würde eine sicherheitsgerichtete Handlung vornehmen. Daher kommt die Einstufung der Entdeckungswahrscheinlichkeit im Hoch zustande.

3.2.4 Betrachtung der RZP aus FMEA

Die ID 4 und ID 23 fallen in die Kategorie des akzeptablen Grundrisikos, da ihre RPZ < 50 ist, müssen Sie daher nicht weiter betrachtet werden.

Die RPZ der ID 21 und ID 22 liegt in dem Bereich $50 < \text{RPZ Wert} < 125$ somit fallen sie in die Einstufung: Potenziellen Fehler und daraus resultierenden Folgen. Diese werden im Folgenden weiter betrachtet.

Die ID 21 mit einem RPZ Wert von 81, wird die Gefährdung betrachtet, die zu einer möglichen Flankenfahrt im Weichenbereich führen könnte, da sich der Zugschluss unerkannt im Weichenbereich befindet.

Die getroffene Risiko-Reduktion; Die Überprüfung des Satellitensignals mittels der RAIM-Methode würden Fehler bei der Ortung mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit erkannt werden.

Für den Fall der Nicht-Erkennung der VB1 würde die getroffene Risiko-Reduktion des Linking, die Sicherheit gerichtete Handlung, welche im Telegramm hinterlegt ist, auszuführen, in diesem Falle würde eine Zwangsbremmung (ZB) ausgelöst werden. In der Nähe befindliche Schienenfahrzeug mit demselben Fahrweg würden, durch das RBC in Kenntnis gesetzt werden und ggf. beeinträchtigt bzw. gestoppt werden.

Die ID 22 mit einem RPZ Wert von 90, wird die Gefährdung betrachtet, die mögliche frontale Kollision mit einem anderen Schienenfahrzeug zur Folge haben könnte. Die getroffene Risiko-Reduktion: Die Überprüfung des Satellitensignals mit der bewährten RAIM-Methode würden Fehler bei der Ortung erkannt werden.

Der Kontext wird im folgenden Kapitel der Diskussion weiterhin betrachtet.

4 Diskussion

Die Ergebnisse aus dem vorangegangenen Kapitel werden in diesem näher betrachtet und auf die angewandten Methoden eingegangen.

4.1 Einstufung der FMEA

Die FMEA ist eine wissenschaftliche Bottom-Up Bewertungstechnik, die stark von der Automobilindustrie geprägt ist. Die Norm der FMEA [DIN EN 60812] ist aus dem Jahr 2006. Eine neue Norm ist seit Jahr 2015 im Entwurf [Entwurf DIN EN 60812]. Die Beispiele der Einstufung der RPZ beziehen sich auf die Automobilindustrie und stammen von der Automotive Industry Action Group (AIAG) und dem Verband der Automobilindustrie (VDA). Weiter Beispiele sind in dem FMEA Handbuch [FMH-19] aufgeführt. Aus diesem stammen auch die Tabellen zur Einstufung.

Das Sicherheitsniveau im Schienenverkehr ist viel höher als im Straßenverkehr, dies zeigt die Studie von der Allianz pro Schiene auf Basis der Daten vom Statistischen Bundesamt. Sie zeigt, dass das Verletzungsrisiko in Deutschland im Schienenfahrzeug 159-mal geringer ist als im Auto. Das Todesrisiko 59-mal geringer ist als im Auto, bezogen pro Milliarde Personenkilometer. [ALL-20]

Daher ist die Einstufung der Bedeutung (siehe Kapitel 2.5.2) sehr auf die Sicherheit ausgerichtet. Die Einstufung katastrophal (10 höchster wert) geht von „Eine große Anzahl an Personen betreffend und zu vielen Todesfällen führend; und/oder extremer Umweltschaden.“[DIN EN 50126].

Die automobile Industrie geht bei der einer Einstufung von sehr hoch 10 „Auswirkung auf den sicheren Betrieb des Fahrzeugs und/oder anderer Fahrzeuge, die Gesundheit des Fahrers oder der Beifahrer oder anderer Verkehrsteilnehmer.“ [FME-21]

Somit ist zu überlegen, ob es für diesen Industriezweig spezifische DIN-Normen geben sollte.

Der RPZ kann einen Wert zwischen 1 und 1000 annehmen, es werden nicht alle Werte der Menge erreicht, da sie aus der Multiplikation von 3 Faktoren besteht: $RPZ = A \times B \times E$. Der Wertebereich der RPZ liegt zwischen 1 und 1000, dabei ist die Anzahl an möglichen Kombination 120.

4.2 Möglichkeit der Verwendung weiterer Sensoren

Die GNSS wird im Schienenfahrzeug für nicht sicherheitsrelevante Systeme verwendet. Ein Beispiel hierfür ist das Fahrgastinformationssystem (FIS) zur Ansage der Fahrgasthalte.

Das betrachtete System des VBR hat nur einen Sensor. Falls dieser ausfällt, funktioniert das System des VBR nicht mehr. Somit wäre es besser ein System von Sensoren zu verwenden, um den Ausfall eines Sensors kompensieren zu können.

Ein System mit mehreren Signalen gleicher Art bedarf einer Datenfusion, hier würde sich ein 2oo3-Voter anbieten. Dazu wäre ein System mit 3 GNSS-Antennen auf dem Dach des Schienenfahrzeugs mit jeweils eigenem GNSS-Empfänger notwendig. Der Installationsabstand der GNSS-Antennen wird vor der Datenfusion korrigiert, so dass die GNSS-Empfänger der drei Kanäle die gleiche Position schätzen. Ein 2oo3-Voter benötigt zwei von drei Kanälen, die (ungenau) identische Ergebnisse liefern, damit der Voter einen Ausgang haben kann. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung eines Kalman Filters, der Vergleich hiervon wurde in dem Paper [KAV-20] untersucht.

Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung eines zusätzlichen anderen Sensors, zum Beispiel einer Kamera im Führerstand zur Erkennung der Hektometer Tafeln. Da in Tunnel die freie Sicht zum Himmel nicht gewährleistet ist und somit der Empfang des GNSS-Signales nicht möglich ist.

Des Weiteren wäre es sinnvoll, weitere Sensoren an den VBR anzuschließen, um einen möglichen Ausfall eines Sensors kompensieren zu können. Ein Beispiel wäre eine Kamera im Führerstand zur Erkennung der Hektometer Tafeln. Des Weiteren könnte die Information auf der Strecke zur Plausibilisierung der GNSS Signals genutzt werden.

5 Fazit

Die sichere Integration der Innovativen des VBRs in ein Schienenfahrzeug wurde in dieser Arbeit durch die Methoden des CSM-Prozesses und der FMEA untersucht. Zunächst wurden die Grundlagen des Zugsicherungssystems ETCS, der satellitenbasierten Ortung mittels GNSS und der Risiko-Analyse vorgestellt.

Auf Basis der genannten Grundlagen—wurde untersucht, ob eine bordautonome Zugortung mit einem akzeptablen Risiko möglich ist. Dabei bezieht sich die Arbeit ausschließlich auf das Szenario von Zugfahrten auf eingleisigen Nebenstrecken mit dem Zugsicherungssystem ETCS Level 2. Zur Beantwortung der Fragestellung wurde der CSM-Prozess angewendet und anschließend eine explizite Risiko-Abschätzung in Form einer FMEA zur Betrachtung der durch die Hazop-Methode ermittelten Gefährdungen gewählt. Final wird die FMEA auf vier Gefährdungen angewendet. Im Ergebnis wird mit Hilfe der FMEA gezeigt, dass das Risiko der vier untersuchten Gefährdungen einem akzeptablen Niveau entspricht. Somit wurde durch diese Arbeit gezeigt, dass im Rahmen des ausgewählten Szenarios eine bordautonome Zugortung mittels GNSS sich dieses System für den Bahnbetrieb eignet.

Bei der Interpretation der Ergebnisse dieser Arbeit sollte beachtet werden, dass nur ein Szenario betrachtet wurde. Für eine ganzheitliche Betrachtung aller möglichen Risiken ist es notwendig, weitere Szenarien aufzustellen und zu untersuchen. Darüber hinaus erfolgte die Einstufung der FMEA qualitativ, da für die quantitative Einstufung des VBR keine belastbaren Daten zum Zeitpunkt der Erstellung dieser studentischen Arbeit verfügbar waren. Diese Punkte bieten Anlass zu weiteren, wissenschaftlichen Untersuchungen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden mit anerkannte Methoden des Eisenbahnbereich zur Bewertung von Änderungen an Schienenfahrzeugen wie beispielsweise der CSM-Prozess und die FMEA angewendet. Zudem sind die Schnittstellen in der Systemdefinition klar zu erkennen und werden strukturiert in der Hazop-Methode analysiert. Aus diesen Gründen sind die Ergebnisse dieser Arbeit im Rahmen des betrachteten Szenarios durch das strukturierte Vorgehen positiv zu bewerten.

Quellenverzeichnis

- [ALL-20] Allianz pro Schiene, Daten & Fakten, 2020, <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/sicherheit/daten-fakten/> (besucht am 08.11.2022)
- [CLU-22] The European Space Agency, The Clug Project , 2022, <http://clugproject.eu/en>, (besucht am 08.11.2022)
- [DAB-19] Corinna Salander, Das Europäische Bahnsystem Akteure, Prozesse, Regelwerke, 1 Auflage, Springer Vieweg, 2019, ISBN 978-3-658-23495-9
- [DBF-20] Jürgen Janicki, Horst Reinhard, Michael Rüffer , Schienenfahrzeugtechnik , 4. Auflage, Bahn Fachverlag, 2020, ISBN 978-3-943214-26-0
- [DBA-21] DB Netz AG, ETCS - European Train Control System <https://www.vde8.de/de/vde-82-neubau/ausruestung/etcs> (besucht am 20.10.2022)
- [EES-17] The European Space Agency, GNSS-Based Rail Signaling gets World Premiere in Australia, 2017, Alstom pioneers the use of Galileo to help measure the location and speed of trains (europa.eu) (besucht am 08.11.2022)
- [EIS-19] Lothar Fendrich, Eisenbahninfrastruktur 3. Auflage, Springer Vieweg, 2019, ISBN 978-3-662-56062-4
- [EID-20] Jochen Trinckauf, Ulrich Maschek, Richard Kahl, Claudia Krah, ETCS in Deutschland, 1. Auflage, PMC Media House, 2020, ISBN 978-3-96245-219-3
- [ETC-21] Lars Schnieder , European Train Control System (ETCS), 2. Auflage, Springer Vieweg, 2021, ISBN 978-3-662-62878-2
- [ESP-20] European Union Agency for the Spaceprogram (EUSPA), Alstom pioneers the use of Galileo to help measure the location and speed of trains, 2020, <https://www.euspa.europa.eu/newsroom/news/alstom-pioneers-use-galileo-help-measure-location-and-speed-trains> , (besucht am 08.11.2022)

Quellenverzeichnis

- [ESP-22] European Union Agency for the Spaceprogram (EUSPA), Entwicklung der Navigation: Von Militär und Marine zur Öffentlichkeit, https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Entwicklung_der_Navigation_Von_Militaer_und_Marine_zur_Oeffentlichkeit (besucht 7.11.2022)
- [EUS-21] European Union Agency for the Spaceprogram (EUSPA), What is SBAS, <https://www.euspa.europa.eu/european-space/eu-space-programme/what-sbas> (besucht am 15.10.2022)
- [FMH-19] Verband der Automobilindustrie , AIAG & VDA FMEA-Handbuch, 2019 , AIAG & VDA FMEA-Handbuch_DEUTSCH-Verband der Automobilindustrie e.V. Qualitäts Management Center (VDA QMC)
- [FME-21] Hans-Joachim Pfeufer, FMEA – Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse nach AIAG und VDA, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag, ISBN 978-3-446-46741-5
- [GAL-15] Seventh framework programme of the European Community, Galileo Localisation for Railway Operation Innovation, 2015, <http://www.galoroi.eu> (besucht am 20.10.2022)
- [GAL-22] European Union Agency for the Spaceprogram (EUSPA), Galileo Performance Reports of Q1-2022, <https://www.gsc-europa.eu/news/galileo-performance-reports-of-q1-2022-available-for-download> (besucht am 01.11.2022)
- [GEO-17] Dr. Sandro Rodriguez Garzon, Dmytro Arbuzin, Axel Küpper Geofence index, A performance estimator for the reliability of proactive location-based services, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7962430/> (besucht am 07.10.2022)
- [GOV-22] Official U.S. Government, Information about the Global Positioning System (GPS) and related topics <https://www.gps.gov/> (besucht am 23.3.2022)
- [GSC-22] European GNSS Service Centre, What is Galileo <https://www.gsc-europa.eu/> (besucht am 28.10.2022)

Quellenverzeichnis

- [KAV-20] Tianxiang Lan, Arne Geffert, Andreas Dodinoui, Uwe Becker , Kalman Filtering Versus Voting: Which Strategy is Best for Multi-Sensor Localization? <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9317318> (besucht am 13.10.2022)
- [NGG-16] Zheng Yao , Mingquan Lu, Next-Generation GNSS Signal Design, 6 Auflage , Springer Vieweg, 2016 , ISBN 978-981-15-5798-9
- [NGT-16] Seventh framework programme of the European Community, Next Generation Train Control , 2016, Next Generation Train Control | NGTC Project | Fact Sheet | FP7 | CORDIS | European Commission (europa.eu) (besucht am 17.10.2022)
- [PAC-21] Pachtl Jörg, Systemtechnik des Schienenverkehrs, 10. Auflage, Springer Vieweg, 2021, ISBN 978-3-658-31165-0
- [PIL-12] DLR, PiLoNav, Precise and Integer Localisation and Navigation in Rail and Inlandwater Traffic https://www.dlr.de/kn/en/desktopdefault.aspx/tabid-12748/22264_read-29574/ (besucht am 11.11.2022)
- [PUA-13] Hauptmann Ulrich, Prozess- und Anlagensicherheit, Springer Vieweg, 2013, ISBN 978-3-642-37252-0
- [RAI-16] Borio D, Gioia C. Galileo, the added value for integrity in harsh environments. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC98446> (besucht am 22.10.2022)
- [SID-22] Patrick Marsch, Richard Fritzsche, Bernd Holfeld, Fang-Chun Kuo, 5G für das digitalisierte Bahnsystem der Zukunft, ein Ausblick auf FRMCS, Signal + Draht, Ausgabe 03/22
- [STA-18] Satellite Technology for Advanced Railway Signalling STARS, D5.3 EGNSS Target Performances to meet railway safety requirements. 2018 <https://www.stars-rail.eu/results-publications/> (besucht am 3.10.2022)
- [TLP-14] Debiao Lu ,GNSS for Train Localisation Performance Evaluation and Verification, TU Braunschweig, Dissertation, 2014

Quellenverzeichnis

- [VDB-21] Verband der Bahnindustrie: Zugbeeinflussungssysteme: Sicherheitsnetz des Schienenverkehrs <https://bahnindustrie.info/de/bahntechnik-erklart/zugbeeinflussungssysteme> , (besucht am 22.12.2022)
- [VDB-22] Verband der Bahnindustrie, Foto ETCS-Euro-Balise im Gleis, zu Veröffentlichung Freigebens Foto durch VDB, <https://www.bahnindustrie.at/b16m313/pressefotos> , (besucht am 14.10.2022)
- [SUBSET-026] System Requirements Specification, 3.6.0 , https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-3-etcs-b3-r2-gsm-r-b1_en
- [SUBSET-035] Specific Transmission Module, 3.2.0
- [SUBSET-036] Form Fit Function Interface Specification for Eurobalise 3.1.0
- [SUBSET-041] Performance Requirements for Interoperability, 3.2.0
- [ERA_ERTMS] ERTMS/ETCS, ETCS Driver Machine Interface, 3.6.0 , Figure 39- Circular Speed Gauge (CSG), in TSM with OvS status,
- [ERA1209/146] European Union Agency for Railways, Clarification note vom 25. April 2022 ,Requirements capture ERA1209/146 V1.1
- [EBO] Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO), §2 Allgemeine Anforderungen
- [96/48/EG] RICHTLINIE 96/48/EG DES RATES, vom 23. Juli 1996 über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems
- [402/2013] Durchführungsverordnung (EU) Nr. 402/2013 Der Kommission vom 30. April 2013 über die gemeinsame Sicherheitsmethode für die Evaluierung und Bewertung von Risiken

-
- [545/2018] Durchführungsverordnung (EU) 545/2018 Der Kommission vom 4. April 2018 über die praktischen Modalitäten für die Genehmigung für das Inverkehrbringen von Schienenfahrzeugen und die Genehmigung von Schienenfahrzeugtypen
- [797/2016] RICHTLINIE (EU) 797/2016 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 11. Mai 2016
- [DIN EN 17727-2] Norm DIN EN 16727-2: Bahnanwendungen Oberbau - Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung
- [DIN EN 50121-3] Norm DIN EN 50121-3: Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit - Teil 3-1: Bahnfahrzeuge - Zug und gesamtes Fahrzeug
- [DIN EN 50125-1] Norm DIN EN50125-1: Bahnanwendungen Umweltbedingungen für Betriebsmittel Teil 1: Betriebsmittel auf Bahnfahrzeugen
- [DIN EN 50126] Norm DIN EN 50126: Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) - Teil 1: Generischer RAMS-Prozess
- [DIN EN 60812] Norm DIN EN 60812: Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen –Verfahren für die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)
- [Din EN 61373] Norm DIN EN 61373: Bahnanwendungen - Betriebsmittel von Bahnfahrzeugen - Prüfungen für Schwingen und Schocken
- [DIN EN 61373] Norm DIN EN 61373: Bahnanwendungen - Betriebsmittel von Bahnfahrzeugen - Prüfungen für Schwingen und Schocken
- [DIN EN 61882] NORM DIN EN 61882: HAZOP-Verfahren (HAZOP-Studien)
- [MIL-STD-1629A] Military STANDARD:MIL-STD-1629A,Department of Defense, Washington, Procedures for performing a Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis

Abkürzungsverzeichnis

AIAG	Automotive Industry Action Group
BG	Balisen Gruppe
ERA	Europäische Eisenbahnagentur
ERTMS	European Railway Transport Management System
ETCS	European Train Control System
EVC	European Vital Computer
EOA	End of Authority
FIS	Fahrgastinformationssystem
FRMCS	Future Railway Mobile Communication System
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
DMI	Driver Machine interface
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSM-R	Global System for Mobile Communications Railway
LEU	Lineside Electronics Unit
LRBG	Last Relevant Balise Group
Navstar	Navigation System by Timing and Ranging
MA	Movement Authority
MEO	Mittleren Erdumlaufbahn
RBC	Radio Block Center
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring
RPZ	Risikoprioritätszahl
RMV	Risikomanagementverfahren

Abkürzungsverzeichnis

SBAS	Satellite-based Augmentation Systems
STM	Specific Transmission Module
SVL	Supervised Location
TEN	Transeuropäische Netze
Tf	Triebfahrzeugführer
TSI	Technical Specifications for Interoperability
JRU	Juridical Recording Unit
VB	Virtuelle Balise
VBR	Virtuelle Balise Reader
ZZS	Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung
ZB	Zwangsbremse

Bildverzeichnis

Bild 1-1 Aufbau der Arbeit [eigene Darstellung].....	6
Bild 2-1 Schnittstellen des ERMS/ETCS aus [Subset-026]	8
Bild 2-2 ETCS-Euro-Balise im Gleis [VDB-22]	10
Bild 2-3 Zulässige Abweichungen bei der Zugortung mit ETCS, [eigene Darstellung] in Anlehnung an [STA-18]	12
Bild 2-4 Zugposition im Bezug auf LRBG in Anlehnung an [Subset-026] [eigene Darstellung]	13
Bild 2-5 Driver Machine Interface [ERA_ERTMS]	14
Bild 2-6 Komponenten des ETCS Levels 1 [eigene Darstellung]	16
Bild 2-7 ETCS Level 2 [eigene Darstellung]	17
Bild 2-8 ETCS Level 3 mit Zugintegritätsprüfung an Bord [eigene Darstellung]	17
Bild 2-9 Struktur der GNSS, [eigene Darstellung]	18
Bild 2-10 Positionsbestimmung zweidimensional dargestellt [eigene Darstellung]	20
Bild 2-11 Mehrwegeempfang [eigene Darstellung]	21
Bild 2-12 Regelwerkspyramide im Eisenbahnsektor in Anlehnung an [DAB-19], [DBF-20], [eigene Darstellung]	23
Bild 2-13 Auszug aus der Anlage Risikomanagementverfahren und unabhängige Bewertung aus der CM-Verordnung [402/2013], [eigene Darstellung]	25
Bild 2-14 Explizierte Risikoabschätzung aus der CSM-Verordnung [402/2013], [eigene Darstellung]	28
Bild 3-1 Komponenten des Virtual Balise Reader [eigene Darstellung]	31
Bild 3-2 Geofence der virtuellen Balisen [eigene Darstellung]	33
Bild 3-3 Komponenten und Systemgrenze des VBR [eigene Darstellung] .	35
Bild 3-4 Beschreibung des Szenarios [eigene Darstellung]	41

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Leitwörter der Hazop mit dessen Bedeutung [DIN EN 61882] [eigene Darstellung]	27
Tabelle 2-2 RPZ Einstufung in Anlehnung an [FMH-19], [eigene Darstellung]	29
Tabelle 2-3 Beschreibung des Faktors Auftretenswahrscheinlichkeit von Gefährdungsfällen in Anlehnung an [DIN EN 50126] [eigene Darstellung]	29
Tabelle 2-4 Beschreibung des Faktors Bedeutung der Gefährdung in Anlehnung an [DIN EN 50126], [eigene Darstellung]	30
Tabelle 2-5 Beschreibung der Entdeckungswahrscheinlichkeit in Anlehnung an [DIN EN 50126], [FME-21], [eigene Darstellung]	30
Tabelle 3-1 Bewertung der Signifikanz [eigene Darstellung]	32
Tabelle 3-2 Systemumgebung der VBR nach DIN EN 50125-1 [eigene Darstellung]	34
Tabelle 3-3 Komponenten und ihrer Funktion des VBR [eigene Darstellung]	35
Tabelle 3-4 Gefährdung Ermittlung nach Hazop [DIN EN 61882] [eigene Darstellung]	36
Tabelle 3-5 Einstufung der Gefährdungen aus Tabelle 3-4 [eigene Darstellung]	37
Tabelle 3-6 Betrachtung der nicht Sicherheit relevanten ID [eigene Darstellung]	38
Tabelle 3-7 Tabelle der GNSS Projekte [eigene Darstellung]	40
Tabelle 3-8 Auswahl an mögliche Szenarien	40
Tabelle 3-9 FMEA Szenario eingleisige Nebenstrecke angelehnt an [DIN EN 60812] in (eigener Darstellung)	42
Tabelle 3-10 Einstufung des Auftretens [eigene Darstellung]	43
Tabelle 3-11 Einstufung der Bedeutung [eigene Darstellung]	43
Tabelle 3-12 Einstufung zur Entdeckung Wahrscheinlichkeit in [eigene Darstellung]	44