

**MASTERTHESIS**

Matheus Ayres Feller

Fallstudie zur Implementierung  
von ETCS Level 1 Full Supervision  
auf Anschlussbahnen am Beispiel  
des Bahnhofteils Hohe Schaar der  
Hamburg Port Authority

**FAKULTÄT TECHNIK UND INFORMATIK**

Department Informations- und Elektrotechnik

Faculty of Engineering and Computer Science

Department of Information and Electrical Engineering

Matheus Ayres Feller

Fallstudie zur Implementierung von ETCS Level 1 Full  
Supervision auf Anschlussbahnen am Beispiel des  
Bahnhofs Hohe Schaar der Hamburg Port Authority

Masterthesis eingereicht im Rahmen der Masterprüfung  
im Studiengang Informations- und Kommunikationstechnik  
am Department Informations- und Elektrotechnik  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Pawel Buczek  
Zweitgutachter: Herr Fabian Kirschbauer

Abgegeben am 01. März 2022

**Matheus Ayres Feller**

**Thema der Masterthesis**

Fallstudie zur Implementierung von ETCS Level 1 Full Supervision auf Anschlussbahnen am Beispiel des Bahnhofteils Hohe Schaar der Hamburg Port Authority

**Stichworte**

ETCS, Signalanlagen, Zugbeeinflussungssysteme, EBO, HPA, Bft Hohe Schaar, Nebenbahn, Anschlussbahn, ETCS-Konzept.

**Kurzzusammenfassung**

Im Hinblick eines interoperablen Zugbeeinflussungssystems im europäischen Raum, umfasst diese Thesis eine Fallstudie zur Implementierung von ETCS Level 1 Full Supervision am Beispiel des Bft Hohe Schaar im Zuständigkeitsbereich der Hamburg Port Authority.

Dafür werden die Grundlagen der Schienenbahnen, der Aufbau der Gesetzgebung sowie die maßgebenden Regelwerke für die Planung bzw. Implementierung von Zugbeeinflussungssystemen beschrieben. Die Einführung in das ETCS wird durch die Vorstellung seiner Hauptkomponenten und Funktionsprinzipien veranschaulicht.

Darauffolgend wird das implementierte ETCS Konzept der Chemins de Fer Luxembourgeois (CFL) in Luxemburg untersucht und die aktuell bestehende Bahnanlage Bft Hohe Schaar analysiert. Aus diesen Informationen werden verschiedene Implementierungskonzepte entwickelt. Zur Bestimmung des geeigneten Implementierungskonzeptes für den Bft Hohe Schaar werden die entwickelten Konzepte anhand unternehmensspezifischer Kriterien bewertet. Anschließend wird das ausgewählte Konzept exemplarisch an ausgewählten Abschnitten in den Lageplan eingetragen.

**Matheus Ayres Feller**

**Title of the paper**

Case study on implementation of ETCS Level 1 Full Supervision in secondary railways based on the example of the Hohe Schaar station of the Hamburg Port Authority

**Keywords**

ETCS, Signal systems, Train Control System.

**Abstract**

With regards to an interoperable train control system in Europe, this thesis includes a case study on the implementation of ETCS Level 1 Full Supervision using the Bft Hohe Schaar (in the area of responsibility of the Hamburg Port Authority) as an example.

For this purpose, the basics of railways, the structure of legislation and the relevant regulations for the planning and implementation of train control systems are described. The introduction to the ETCS is illustrated by presenting its main components and operating principles. Subsequently, the implemented ETCS concept of the Chemins de Fer Luxembourgeois (CFL) in Luxemburg is examined and the railway system in the area of the Bft Hohe Schaar is analyzed. Various implementation concepts are developed from this information. To determine the appropriate implementation concept for the Bft Hohe Schaar the concepts developed are evaluated based on company-specific criteria. The selected concept is then implemented at selected sections of the plan for the Bft Hohe Schaar.

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
1 Einführung .....	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Ziel der Arbeit.....	1
1.3 Vorgehensweise .....	2
2 Theoretische Grundlagen .....	4
2.1 Grundlagen der Schienenbahnen.....	4
2.2 Einleitung in die Gesetzgebung und Regelwerke.....	5
2.3 European Rail Traffic Management System (ERTMS) .....	7
2.4 Einleitung in das European Train Control System (ETCS).....	8
2.4.1 Interoperabilitätrichtlinien.....	8
2.4.2 ETCS-Hardware Beschreibung Infrastrukturseite.....	9
2.4.3 ETCS-Hardware Beschreibung Fahrzeugseitig.....	10
2.4.4 Global System für Mobile Communications-Railway (GSM-R) .....	11
2.4.5 ETCS-Level .....	12
2.4.6 Betriebsarten.....	15
2.5 Funktionsprinzip des ETCS.....	17
2.5.1 Informationsaustausch und Aufbau .....	17
2.5.2 Definition Variablen .....	18
2.5.3 Definition Pakete.....	19
2.5.4 Definition Nachrichten und Telegramme.....	21
2.5.5 Ortung von Fahrzeugen im Zusammenhang mit ETCS Level 1.....	25
2.5.6 Grundsätzliche Überwachung von ETCS und Vergleich mit PZB 90 .....	26
2.6 Projektierung von Eurobalisen .....	28
2.6.1 Grundlegendes .....	28
2.6.2 Repositioning.....	32
2.6.3 Bahnübergänge .....	34
2.6.4 Sperrsignal für Rangierfahrten und Zugdeckungssignale.....	35

2.6.5	Übergang von ETCS 0 oder NTC in das ETCS Level 1 .....	35
2.6.6	Übergang von ETCS 2 in das ETCS Level NTC.....	37
2.6.7	Übergang von ETCS 2 in das ETCS Level 1 .....	39
2.7	Stellwerke im Zusammenhang mit ETCS.....	40
2.7.1	Allgemeines .....	40
2.7.2	Relaisstellwerk (RSTW).....	40
2.7.3	Elektronisches Stellwerk (ESTW).....	41
2.7.4	Digitales Stellwerk (DSTW).....	42
3	Vorhandene Strategien zur Implementierung der ETCS Ausrüstungsstufe 1 - luxemburgische Lösung .....	44
3.1	Vorstellung der luxemburgischen Lösung .....	44
3.2	ETCS Übergangskonzept luxemburgische Lösung.....	45
3.3	ETCS Endzustand luxemburgische Lösung.....	45
3.4	ETCS Konzeptanalyse luxemburgische Lösung.....	49
4	Konzeptentwicklung .....	50
4.1	Vorstellung Hamburg Port Authority (HPA) .....	50
4.2	Vorstellung Bft Hohe Schaar und Zustand der Technik .....	50
4.3	Betrachtete Betriebsfälle .....	56
4.4	Allgemeine Randbedingungen und technische Anforderungen .....	57
4.5	Auswahl des Aufrüstungskonzeptes .....	57
4.6	Grundlegende Anforderungen an die Implementierung von ETCS L1 in Bft Hohe Schaar ...	59
4.6.1	Technisch.....	59
4.6.2	Betrieblich .....	61
4.6.3	Implementierungsstrategie.....	62
4.7	Phase 1: Übergangskonzepte mit vorhandenem RSTW.....	62
4.7.1	Beschreibung des Übergangskonzeptes.....	62
4.7.2	Übergangskonzeptvariante ohne Aufwertebalisen .....	64
4.7.3	Übergangskonzeptvariante mit Aufwertebalisen .....	65
4.8	Phase 2: Endgültiges Konzept mit zukünftigem DSTW .....	66
5	Bewertung der verschiedenen Konzepte und Handlungsempfehlung .....	69
5.1	Bewertungsmethode.....	69
5.2	Phase 1: Übergangskonzepte .....	71

5.3	Phase 2: Endkonzepte .....	76
6	Konzeptdurchführung .....	81
6.1	Ausgewählte Betriebsfälle und Konzeptimplementierung .....	81
6.2	Implementierung des Übergangs- und endgültigen Konzeptes.....	81
7	Zusammenfassung.....	87
8	Ausblick.....	89
9	Literaturverzeichnis.....	90
10	Anhangsverzeichnis .....	93

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Einteilung Schienenbahn .....	4
Abbildung 2 Darstellung des Eisenbahnrechts als Pyramide .....	6
Abbildung 3 ETCS Level 0 .....	12
Abbildung 4 ETCS Level NTC.....	13
Abbildung 5 ETCS Level 1 .....	13
Abbildung 6 ETCS Level 2 .....	14
Abbildung 7 ETCS Level 3 .....	15
Abbildung 8 Telegramme-Format aus Balisenübertragung .....	22
Abbildung 9 Nachrichtenformat aus Euroloopübertragung .....	23
Abbildung 10 Nachrichtenformat Richtung Strecke-Fahrzeug .....	24
Abbildung 11 Nachrichtenformat Richtung Fahrzeug-Strecke .....	24
Abbildung 12 Darstellung Positionskorrektur von Schlupf mittels Eurobalisen .....	26
Abbildung 13 Vergleich zwischen PZB 90 und ETCS Überwachungskurven.....	27
Abbildung 14 Mindestabstand von Eurobalisen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit .....	30
Abbildung 15 Toleranzfaktor der Eurobalisen Position in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit.....	30
Abbildung 16 Prinzip Verkettung von Balisengruppen .....	31
Abbildung 17 Verwendete Symbole für die Eurobalisen .....	31
Abbildung 18 ETCS Halt-Tafel (Ne 14) (links) und Blockkennzeichen (ETCS Location Marker Board) (rechts) .....	32
Abbildung 19 Repositioning .....	32
Abbildung 20 notwendige Pakete für unbekanntem Fahrweg .....	33
Abbildung 21 Sicherung von Bahnübergang mit Fernüberwachung .....	34
Abbildung 22 Balisenverlegung für den Bahnübergang mittels Langsamfahrstelle .....	35
Abbildung 23 Sperrsignal für Rangierfahrten und Zugdeckungssignale .....	35
Abbildung 24 Paket 41 Level Transition Order.....	36
Abbildung 25 Levelwechsel von Ausrüstungsstufe 0 zur Ausrüstungsstufe 1 .....	36
Abbildung 26 Diagramm zu Levelwechsel von NTC ins ETCS Level 1.....	37
Abbildung 27 Levelwechsel von Ausrüstungsstufe 2 in die Ausrüstungsstufe NTC.....	38
Abbildung 28 Levelwechsel ETCS Level 2 zu NTC.....	38

Abbildung 29 Levelwechsel von ETCS Level 2 in ETCS Level 1 .....	39
Abbildung 30 Projektierung Levelwechsel von ETCS Level 2 in ETCS Level 1 ohne Aufwertebalisen...	39
Abbildung 31 Stelltafel-Ausschnitt eines Stellwerkes der Bauform Sp Dr S 60 .....	40
Abbildung 32 Typische Struktur eines ESTW.....	41
Abbildung 33 Redundanzprinzip bei elektronischen Stellwerken .....	42
Abbildung 34 Architektur eines digitalen Stellwerks nach .....	43
Abbildung 35 CFL Streckennetz.....	44
Abbildung 36 ETCS Level 1 – Übergangskonzept luxemburgische Lösung .....	45
Abbildung 37 ETCS Level 1 – geplantes System CFL.....	46
Abbildung 38 Vereinfachte Lichtsignalisierung der CFL.....	47
Abbildung 39 Geplante Signalisierung CFL.....	47
Abbildung 40 Abfahrtsmelder .....	48
Abbildung 41 Vergleich vorherige Signalisierung und geplante ETCS-Signalisierung.....	48
Abbildung 42 vereinfachte Übersicht der Bft Hohe Schaar Bahnanlage .....	51
Abbildung 43 Lageplan des Bft Hohe Schaar mit den Infrastrukturen der DB Strecken 1253 und 1254 .....	52
Abbildung 44 Rangierbezirk Pollhornweg.....	53
Abbildung 45 Darstellung der Funktionalitäten von verschiedenen Zugbeeinflussungssystemen .....	58
Abbildung 46 Anordnung der ETCS Level 1 FS Komponenten .....	59
Abbildung 47 ETCS Level 1 FS Konzept für Bft Hohe Schaar in Verbindung mit RSTW ohne Aufwertebalisen .....	65
Abbildung 48 ETCS Level 1 FS Konzept für Bft Hohe Schaar in Verbindung mit RSTW und Aufwertebalisen .....	66
Abbildung 49 ETCS Level 1 Endkonzeptvariante für Bft Hohe Schaar in Verbindung mit dem DSTW..	67
Abbildung 50 Eurobalisenimplementierung mit Levelwechsel bei der Einfahrt in den Bft Hohe Schaar .....	83
Abbildung 51 Eurobalisenimplementierung im Bft Hohe Schaar für sonstige Fahrten .....	86

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Bau- und Betriebsordnungen für Schienenbahnen .....	7
Tabelle 2 Präfixe der Variablen nach SUBSET 26-7 .....	18
Tabelle 3 Paketstruktur Richtung Strecke-Fahrzeug .....	19
Tabelle 4 Paketstruktur Richtung Fahrzeug-Strecke .....	19
Tabelle 5 Auszug der Paketliste Übertragungsrichtung Strecke-Fahrzeug .....	20
Tabelle 6 Auszug der Paketliste Übertragungsrichtung Fahrzeug-Strecke .....	20
Tabelle 7 CFL Signalisierung .....	47
Tabelle 8 Streckeneigenschaften Bft Hohe Schaar .....	51
Tabelle 9 Angrenzende Infrastrukturen des Bft Hohe Schaar HPA .....	51
Tabelle 10 Auszug der vorhandenen Signale im Bft Hohe Schaar .....	54
Tabelle 11 Auszug punktförmige Zugbeeinflussung .....	55
Tabelle 12 Auszug mechanisch ortsgesteuerte Weichen im Bft Hohe Schaar .....	55
Tabelle 13 Kriterien-Gewichtung .....	71
Tabelle 14 Auswertungsmatrix Übergangskonzepte .....	76
Tabelle 15 Auswertungsmatrix Endzustand .....	80

## Abkürzungsverzeichnis

Asig	Ausfahrtsignal
AW	Aufwertebalise
Bft	Bahnhofsteil
BOStrab	Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen
BTM	Balise Transmission Module
BÜ	Bahnübergang
CFL	Chemins de Fer Luxembourgeois
CS	Cold Standby
DB	Deutsche Bahn
DBGrG	Deutsche Bahn Gründungsgesetz
DMI	Driver Machine Interface
DSTW	Digitales Stellwerk
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EBOA	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung für Anschlussbahnen
EIRENE-FRS	European Integrated Railway Radio Enhanced Network Functional Requirements Specification
EIRENE-SRS	European Integrated Railway Radio Enhanced Network System Requirements Specification
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
EOA	End of Authority
ERA	Europäische Eisenbahnagentur
ERTMS	European Rail Traffic Management System
Esig	Einfahrtsignale
ESTW	Elektronisches Stellwerk
ETCS	European Train Control System
EVC	European Vital Computer
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
FFFIS	Form Fit Function Interface Specification
FIS	Functional Interface Specification
FPGA	Field Programmable Gate Array

GNSS	Global Navigation Satellite System
GSM-R	Global System for Mobile Communication Railway
HPA	Hamburg Port Authority
IS	Isolation
L2oS	Level 2 ohne Signalisierung
LEU	Lineside Electronic Unit
LoA	Limit of Authority
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network
LS	Limited Supervision
LST	Leit- und Sicherungstechnik
LZB	Linienförmige Zugbeeinflussung
MA	Movement Authority
NL	Non Leading
NP	No Power
NTC	National Train Control
ON	On Sight
OSI	Open Systems Interconnection
PS	Passive Shunting
PSD	Packet Switched Data
PT	Post Trip
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
RBC	Radio Block Center
Ril	Richtlinie
RSTW	Relaisstellwerk
RV	Reversing
SB	Stand By
SCI-CC	Standard Communication Interface Command & Control
SCI-ILS	Standard Communication Interface Interlocking System
SCI-IO	Standard Communication Interface Input/Output
SCI-LS	Standard Communication Interface Light Signal
SCI-LX	Standard Communication Interface Level Crossing

## Abkürzungsverzeichnis

---

SCI-P	Standard Communication Interface Point
SCI-RBC	Standard Communication Interface Radio Block Centre
SCI-TDS	Standard Communication Interface Train Detection System
SF	System Failure
SH	Shunting
SIL	Safety Integrity Level
SL	Sleeping
SN	National System
SR	Staff Responsible
SRS	System Requirements Specification
STM	Specific Transmission Module
TP	Trip
TSI	Technische Spezifikation für die Interoperabilität
TSI-ZSS	Teilsysteme Zugsteuerung/Zugsicherung und Signalgebung
UN	Unfitted
UNISIG	Union Industry of Signalling
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
VzG	Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten
Zsig	Zwischensignal

## 1 Einführung

### 1.1 Motivation

Eines der Hauptziele der europäischen Union, verankert in den Primärrechten der unterzeichneten Verträge durch die EU-Staaten, ist das Anstreben der Verstärkung, Vereinheitlichung und das Schaffen einer diskriminierungsfreien Binnenmarkt, sowie der freie Verkehr von Waren, Personen, Dienstleistungen und Kapital.

Um dieses Ziel erfüllen zu können, ist eine Vereinheitlichung der Transportsysteme unabdingbar. Mit dem aktuellen Anstreben der Europäischen Union zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, gehören die Eisenbahnsysteme zu den wichtigsten und zukunftsfähigen Verkehrsmitteln für Personen und Güterverkehr.

Jedoch sind die Eisenbahnsysteme in den Ländern historisch regional und mit verschiedenen Zugbeeinflussungssystemen gewachsen. Erst mit der Veröffentlichung der Richtlinie 96/48/EG vom 23.07.1996 über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems wurden die ersten Anforderungen an Interoperabilität definiert und in die strukturellen und funktionellen Teilsysteme für das Bahnsystem unterteilt. (EU-Richtlinie 96/48/EG)

Durch den freien Verkehr von Waren und Personen innerhalb des europäischen Binnenmarkts ist die Auslastung auf den Verkehrswegen stetig gestiegen, die Infrastruktur ist jedoch nicht in dem gleichen Tempo gewachsen.

Gleichzeitig verhindert die Inkompatibilität des grenzüberschreitenden Eisenbahnverkehrs eine optimierte Nutzung dieser Verkehrsmittel. Demzufolge ist eine gleichmäßige Verteilung der erhöhten Verkehrslast auf Schienen und Straßen nicht möglich. Die Auslastung wurde daher zum größten Teil auf die Straßen verlagert.

Die durch die EU-Staaten erarbeitete Lösung führt zu einer Interoperabilität des Eisenbahnwesens. In Deutschland werden die Hauptstrecken auf das European Train Control System (ETCS) Level 2 umgerüstet. Diese Infrastruktur weist eine große Sicherheit und Flexibilität auf. Sie ermöglicht außerdem eine höhere Zugdichte, was zu einer Erhöhung der Streckenkapazität führt. Jedoch ist die Aufrüstung auf ETCS Level 2 auf Nebenstrecken und Betriebsstellen aufgrund der notwendigen Streckenzentrale und des teuren Global System for Mobile Communication Railway (GSM-R) unwirtschaftlich und somit uninteressant.

Aus diesem Zusammenhang müssen Konzepte erarbeitet werden, die eine kostengünstige Implementierung von ETCS auf untergeordneten Strecken ohne Funk ermöglichen.

### 1.2 Ziel der Arbeit

Diese Masterarbeit hat das Ziel die Grundlagen des ETCS Zugbeeinflussungssystems, dessen Anforderungen sowie vorhandene Strategien zur Implementierung der ETCS Ausrüstungsstufe 1 in Betriebsart Full Supervision zu untersuchen. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wird ein geeignetes ETCS Implementierungskonzept für Nebenbahnen am Beispiel des Bahnhofsteils Hohe Schaar im Zuständigkeitsbereich der Hamburg Port Authority entwickelt.

Das entwickelte Konzept wird anschließend an ausgewählten Bereichen der betrachteten Bahnanlage implementiert. Dabei werden die Eurobalisen und dazugehörige Pakete bzw. Telegramme auf den zur Verfügung gestellten Lageplan eingetragen.

Die notwendige Hardware bzw. Softwareausrüstung für die Datenübertragung der ETCS Komponenten an den Fahrdienstleiterraum in den Übergangskonzepten, die elektrotechnischen Ausführungsplanungen, die Eintragung der Lineside Electronic Unit (LEU) sowie die Auswahl der Eurobalisen werden hier nicht betrachtet und können als Thema für eine weiterführende Fallstudie dienen.

Da die betrachtete Bahnanlage in Betrieb ist, sind die relevanten Streckengrößen wie unter anderem Geschwindigkeitsprofil, Durchrutschweg bekannt. Aus diesem Grund ist die Bestimmung dieser Größen, sowie die Berechnung von Signalabständen, Gefahrpunktabständen und Bremskurven nicht erforderlich und damit nicht Bestandteil dieser Thesis.

Aufgrund ausreichend vorhandener Literatur im Bereich der Grundlagentheorie des Eisenbahnbetriebs und der Signalgebung, wird auf eine vertiefte Darstellung dieses Themagebiets nicht eingegangen. Auf die notwendigen Regelwerke und Normen wird soweit Bezug genommen wie es für die Durchführung der Studie und die Implementierung des ETCS Konzepts notwendig ist.

### 1.3 Vorgehensweise

Im Kapitel 1 wird die Motivation und das Ziel dieser Masterarbeit vorgestellt. Die relevante Literatur und Grundlagen der Arbeit werden in Kapitel 2 zusammengestellt und untersucht. Diesbezüglich werden im Kapitel 2.1 zuerst die wichtigsten Begrifflichkeiten der Schienenbahnen, insbesondere die Unterteilung der Schienenbahnen, erläutert. Des Weiteren wird in Kapitel 2.2 die Gesetzgebung und Regelwerke für das Betreiben von Eisenbahnanlagen vorgestellt.

Um das Verständnis und einen umfänglichen Überblick über den Ursprung des ETCS zu ermöglichen, werden in Kapitel 2.3 die Beweggründe und politischen Gründe, im speziellen die Notwendigkeit der Entwicklung eines standardisierten europäischen Zugbeeinflussungssystems, erörtert.

Ab Kapitel 2.4 wird das ETCS und dessen für diese Arbeit wichtigsten Bestandteile eingeführt. Zuerst werden die streckenseitigen, sowie die fahrzeugseitigen Komponenten der ETCS Infrastruktur zusammen mit dem GSM-R Funksystem und den Grundlagen der existierenden ETCS Level vorgestellt. Die Darstellung und Erläuterung der ETCS-Betriebsarten runden dieses Kapitel ab.

Das Funktionsprinzip des ETCS wird in Kapitel 2.5 behandelt. Dort wird über den Kommunikationsaustausch zwischen Fahrzeugen und Strecke sowie über Begrifflichkeiten wie Variablen, Nachrichten und Pakete aufgeklärt. Darüber hinaus wird die Ortung von Fahrzeugen und die grundsätzliche Funktionsweise der Überwachung mit ETCS erläutert.

Das Kapitel 2.6 behandelt die Projektierung von Eurobalisen in ausgewählten Betriebsfällen. Dafür werden sowohl die Union Industry of Signalling (UNISIG)-Subsets als auch die vorhandene Literatur konsultiert.

Für einen möglichen Anschluss der Ausrüstungsstufe 1 der ETCS Komponenten an das Stellwerk wird in Kapitel 2.7 auf die Eigenschaften von verschiedenen Stellwerken und deren Erweiterungsmöglichkeiten mit ETCS eingegangen.

Kapitel 3 stellt vorhandene Strategien zur Implementierung der ETCS Ausrüstungsstufe 1 vor. Dabei wird in Kapitel 3.1 die „Luxemburgische Lösung“ vorgestellt. Sie besteht aus zwei Konzepten, wobei das Kapitel 3.2 das Übergangskonzept vorstellt und Kapitel 3.3 den Endzustand behandelt. Kapitel 3.4 schließt diesen Abschnitt mit der Analyse, inwieweit diese Konzepte als Basis für die Konzeptentwicklung in dieser Arbeit genutzt werden können.

Die folgenden Kapitel stellen den Schwerpunkt der Arbeit dar. Das Kapitel 4 beschreibt die Konzeptentwicklung des ETCS Level 1 Full Supervision für die Fallstudie dieser Thesis.

In Kapitel 4.1 wird die Hamburg Port Authority (HPA), vorgestellt, Kapitel 4.2 behandelt die Bahnanlage Bft Hohe Schaar sowie deren Stand der Technik. Eine große Rolle spielt die Analyse der häufigsten verwendeten Betriebsfälle, welche in Kapitel 4.3 vorgestellt werden.

Diese Informationen bilden in Kapitel 4.4 die Basis für die Bestimmung der Randbedingungen und die technischen Anforderungen an ein zu entwickelndes Konzept. Darauf basierend wird in Kapitel 4.5 die empfohlene Ausrüstungsstufe ausgewählt.

Im Anschluss werden die technischen und betrieblichen grundlegenden Anforderungen erläutert und die Implementierungsstrategie in Kapitel 4.6 formuliert. Da die flächendeckende Transition auf ETCS in Deutschland schrittweise erfolgen soll, wird die Implementierung in zwei Phasen aufgeteilt. Ein Übergangszustand, dargestellt in Kapitel 4.7 und ein Endzustand, in Kapitel 4.8. Diese Zustände beinhalten jeweils verschiedene Alternativkonzepte, die unterschiedliche Gesichtspunkte im Rahmen der unternehmenswirtschaftlichen Anforderungen berücksichtigen.

Die Bewertung der verschiedenen Konzeptvarianten gemäß einer Nutzwertanalyse mit Gewichtung der unterschiedlichen Gesichtspunkte, sowie die Auswahl des für das HPA geeigneten Konzepts findet in Kapitel 5 statt.

Um die Konzeptionierung abzuschließen, wird in Kapitel 6 in ausgewählten Streckenabschnitten des HPA Bft Hohe Schaar eine beispielhafte Implementierung durchgeführt.

Abschließend wird die gesamte Arbeit in Kapitel 7 zusammengefasst und Verbesserungen sowie mögliche weiterführende Arbeiten in Kapitel 8 vorgeschlagen.

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Grundlagen der Schienenbahnen

Um den Gültigkeitsbereich von Vorschriften, Normen und Anforderungen sowie den Zuständigkeitsbereich in der Aufsicht der Schienenbahnen in Deutschland darstellen zu können, muss zunächst zwischen Eisenbahnen und sonstigen Schienenbahnen differenziert werden. Eisenbahn wird definiert als ein „auf zwei eisernen Schienen und meistens eigenem Verkehrsweg laufendes, maschinengetriebenes Verkehrsmittel zur Beförderung von Personen und/oder Gütern“ (Pachl 2018). Diese Definition ist sehr allgemein formuliert und kann zu Irrtum führen, da eine sonstige Schienenbahn meiste ebenfalls die Definition der Eisenbahn erfüllt. Jedoch zählen zum Beispiel Hoch- und Untergrundbahnen und Bergbahnen als sonstige Schienenbahn.

Die Unterteilung der Schienenbahnen kann aus der Abbildung 1 entnommen werden.

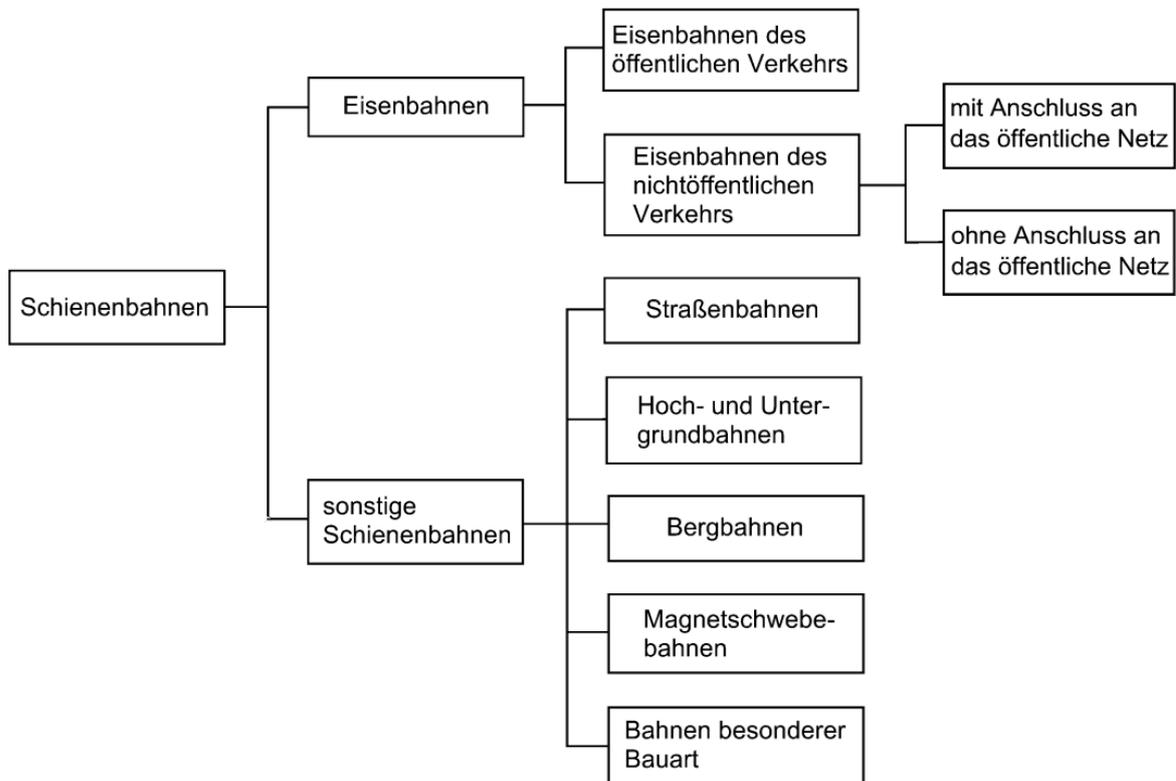


Abbildung 1 Einteilung Schienenbahn  
(Pachl 2018)

Die Anforderungen an die Schienenbahnen hängen von deren Klassifizierung ab. Für diese Thesis sind die Schienenbahnen aus der Kategorie der Eisenbahn von Relevanz. Diese werden in die folgenden zwei Unterkategorien unterteilt:

- **Eisenbahnen des öffentlichen Verkehrs:** Hier müssen die allgemeinen Anforderungen von geltenden technischen Normen und Vorschriften für die öffentliche Eisenbahn erfüllt werden.

- **Eisenbahn des nicht-öffentlichen Verkehrs:** Diese Kategorie wird ebenfalls in die zwei folgenden Unterkategorien unterteilt:
  - Mit Anschluss an das öffentliche Netz: Diese Bahnen werden auch als Anschlussbahnen bezeichnet. Da die Fahrzeuge in beiden Netzen verkehren können, müssen diese Bahnen teilweise die gültigen Vorschriften und technischen Spezifikationen des öffentlichen Netzes erfüllen und mindestens mit einem kompatiblen Zugbeeinflussungssystem ausgestattet sein.
  - Ohne Anschluss an das öffentliche Netz: In dieser Kategorie dürfen die für öffentliche Eisenbahnen gültigen Vorschriften und technischen Spezifikationen abweichen.

## 2.2 Einleitung in die Gesetzgebung und Regelwerke

Die Eisenbahnunternehmen und deren Zuständigkeitsbereiche werden zwischen Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) und Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) differenziert.

Für diese Thesis sind die EIU von Relevanz. Das allgemeine Eisenbahngesetz definiert EIU in (AEG) §2 Absatz 7 wie folgt: „Betreiber von Eisenbahnanlagen ist jedes Eisenbahninfrastrukturunternehmen, das für den Betrieb, die Instandhaltung, den Ausbau und die Erneuerung von Eisenbahnanlagen innerhalb eines Netzes zuständig ist.“

Betreiber von Eisenbahnanlagen müssen sowohl nationale als auch die internationale Rechte befolgen. Die Hierarchie des Eisenbahnrechtes können aus der Pyramide in der Abbildung 2 entnommen werden. Grundsätzlich hat das internationale Recht Vorrang über das nationale Recht. Jedoch überwiegt auf Bahnebene das EU-Recht, da die Beachtung und Umsetzung von internationalen Bahnstandards, aufgrund unterschiedlicher Entwicklungsstadien der Eisenbahnen innerhalb der einzelnen Länder, nicht möglich ist.

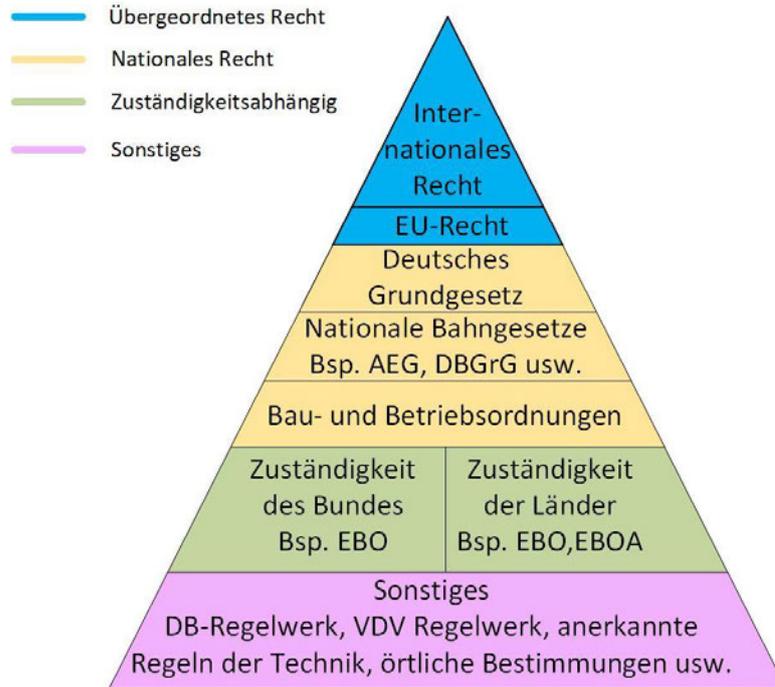


Abbildung 2 Darstellung des Eisenbahnrechts als Pyramide  
Angelehnt an (Frank Zwanziger 2021)

Die Gesetzgebung in der europäischen Ebene hat das Ziel die Interoperabilität des Bahnsystems zwischen den EU-Ländern zu gewährleisten.

Das nationale Recht muss die europäischen technischen Spezifikationen auf nationaler Ebene umsetzen und die übrigen Spezifikationen für den Bahnbetrieb regeln. Wobei zwischen dem Zuständigkeitsbereich des Bundes und der Länder, sowie des öffentlichen und nicht-öffentlichen Bahnverkehrs zu unterscheiden ist.

Die Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) beinhaltet die wesentlichen Begriffserklärungen, allgemeinen Anforderungen an den Betrieb und die Rahmenbedingungen für die Erstellung von Bahnanlagen. Sie beschreibt keine direkten Richtlinien, sondern gibt verbindliche Vorgaben für den sicheren Betrieb vor und stellt den Verantwortlichkeitsbereich und Geltungsbereich dieser Verordnung für die Schienenbahnen dar.

Sie unterteilt außerdem die Eisenbahnstrecken des öffentlichen Verkehrs in Haupt- und Nebenbahnen (EBO §1 Absatz 2). Die Entscheidung über die Eingruppierung der Netze unterliegt den jeweiligen Unternehmen für die Eisenbahn des Bundes und den zuständigen Landesbehörden über die sonstigen öffentlichen Netze. Die Unterschiede zwischen Neben- und Hauptbahnen können dem EBO entnommen werden. Beispielhaft kann hier die höchste zugelassene Geschwindigkeit bei Nebenbahnen von 100 km/h genannt werden, auf welche im späteren Verlauf der Arbeit näher eingegangen wird (EBO §40 Fahrgeschwindigkeit). Untenstehend sind die Rechtsverordnungen und deren Gültigkeitsbereich tabellarisch in der Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 Bau- und Betriebsordnungen für Schienenbahnen  
(Pachl 2018)

Rechtsverordnung	Abkürzung	Gültig für	Zuständige Behörde
Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung	EBO	Regelspurige Eisenbahnen des öffentlichen Verkehrs	Bundesminister für Verkehr
Bau- und Betriebsordnung für Schmalspurbahnen	ESBO	Schmalspurige Eisenbahnen des öffentlichen Verkehrs	Bundesminister für Verkehr
Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen	BOStrab	Straßenbahnen und straßenbahnähnliche Bahnen, Hoch- und Untergrundbahnen	Bundesminister für Verkehr
Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung für Anschlussbahnen <sup>a</sup>	EBOA/BOA <sup>a</sup>	Anschlussbahnen	Landesverkehrsbehörde

<sup>a</sup> Zum Teil abweichender Titel in einzelnen Bundesländern

Die verbindlichen Definitionen, technischen Normen, Anforderungen und gültigen Rechtsverordnungen an den Bau und Betrieb von Schienenbahnen werden von den zuständigen Stellen vorgegeben und beaufsichtigt.

Die sonstigen Regelwerke an der untersten Stelle der Pyramide beinhalten örtliche Bestimmungen, gültige Regelwerke sowie technische Mitteilungen für den Bahnbetrieb.

### 2.3 European Rail Traffic Management System (ERTMS)

Die verschiedenen Zugsteuerungs- und Zugsicherungssysteme sowie die Signalgebung im europäischen Eisenbahnverkehr verhindert eine grenzübergreifende Kompatibilität. Das europäische Gemeinschaftsprojekt European Rail Traffic Management System (ERTMS) wurde initiiert, um ein einheitliches Eisenbahnsystem zu etablieren.

Ziel des Projektes sind unter anderen (Schnieder 2020):

- **Die Förderung des Wettbewerbs:** Ohne proprietäre Systemlösungen wird durch die standardisierte und anforderungsgebundene Technik eine transparente und diskriminierungsfreie Vergabe von Lieferungen und Leistungen ermöglicht.
- **Vereinfachung des Zulassungsprozesses:** Im Vordergrund werden die Verantwortlichkeiten und verbindlichen Aufgaben im Zulassungsprozess dargestellt und können von allen Marktteilnehmern angewendet werden.
- **Interoperabilität:** Der Zugverkehr soll grenzüberschreitend gewährleistet sein. Dafür sollen z.B. die Spurweiten, die Lichtraumprofile, die Traktionsstromversorgungen sowie die Zugsteuerungs- und Zugsicherungssysteme miteinander kompatibel sein.
- **Sicherer und qualitätsgerechter Betrieb:** Ein höheres Sicherheitsniveau kann von bestehenden Zugsteuerungs- und Zugsicherungssystemen nicht in vollem Umfang gewährleistet werden. Bei Fahrten mit höheren Geschwindigkeiten können Lichtsignale nicht rechtzeitig erkannt werden. Aus diesem Grund ist eine Führerstandsinalisierung notwendig. In diesem Betrieb

übernehmen die automatisierten Zugsteuerungs- und Zugsicherungssysteme die Verantwortung für das sichere Führen des Zuges.

- **Erhöhung der Streckenleistungsfähigkeit:** Die meisten Infrastrukturen können mit den bestehenden Zugsteuerungs- und Zugsicherungssystemen die steigende Auslastung nicht mehr bedienen. Die Errichtung neuer Strecken und Betriebsstellen ist zeit- und kostenintensiv. Infolgedessen müssen die Eisenbahninfrastrukturunternehmen die Leistungsfähigkeit der vorhandenen Strecken erhöhen. Das Fahren im wandernden Raumabstand ist eine Strategie zum Erreichen dieses Ziels.
- **Reduktion der Lebenszykluskosten:** Implementierte Technologien in der Eisenbahninfrastruktur bestimmen langfristig Aspekte wie Wartungskosten und Instandhaltungsaufwand. Durch bidirektionale funkunterstützte Übertragung signaltechnischer Informationen ist ein Verzicht auf kostenintensive Systeme wie Ortsfestsignale und Gleisfreimeldungsanlagen möglich.

Das ERMTS ist in verschiedene Systemgebiete unterteilt, wie das Global System for Mobile Communication Railway (GSM-R) und das European Train Control System (ETCS). Für diese Arbeit ist jedoch letzteres von größerer Bedeutung. Auf Spezifikationen und Funktionsweise des GSM-R Systems wird in dieser Arbeit nur insoweit Bezug genommen, wie es für die Vollständigkeit dieser Thesis und das Verständnis des ETCS Systems erforderlich ist.

## 2.4 Einleitung in das European Train Control System (ETCS)

### 2.4.1 Interoperabilitätrichtlinien

Das ETCS wird auf den Grundlagen der Richtlinien für die Interoperabilität des Eisenbahnsystems im europäischen Raum entwickelt und in System Requirements Specifications (SRS) detailliert. Diese Richtlinien sind von den Mitgliedstaaten in nationales Recht umzusetzen. Alle Bahnanlagen, beispielsweise die TEN Korridore, die das ETCS implementieren, müssen diese Spezifikationen umsetzen.

Die Interoperabilitätrichtlinien sind in strukturelle Teilsysteme unterteilt. Die nachfolgende Übersicht der Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) wurde aus (Schnieder 2020) entnommen:

- **TSI CCS:** Technische Spezifikation für die Interoperabilität der Teilsysteme „Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung“ des transeuropäischen Eisenbahnsystems (Recast).
- **TSI ENE:** Technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Energie“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union.
- **TSI INF:** Technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Infrastruktur“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union.
- **TSI LOC&PAS:** Technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge – Lokomotiven und Personenwagen“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union.
- **TSI NOI:** Technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge – Lärm“.
- **TSI PRM:** Technische Spezifikation für die Interoperabilität bezüglich der Zugänglichkeit des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union für Menschen mit Behinderungen und Menschen mit eingeschränkter Mobilität.

- **TSI SRT:** Technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems bezüglich der „Sicherheit in Eisenbahntunneln“ im Eisenbahnsystem der Europäischen Union.
- **TSI WAG:** Technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge – Güterwagen“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union.

Die Eisenbahnagentur der europäischen Union (ERA) beschreibt diese technischen Spezifikationen sowohl von Strecke als auch von Fahrzeugen in sogenannten Subsets. Die Schnittstellenspezifikationen zwischen Fahrzeug und Strecke sind ebenso definiert und werden in den zwei folgenden Arten von Dokumenten behandelt:

- **Functional Interface Specification (FIS):** In dieser Dokumentation werden nur die Anforderungen an Funktionalitäten beziehungsweise Verhalten der Schnittstellen festgelegt. Beispiel für Schnittstellen ist die Verbindung zwischen dem Fahrzeug und der ETCS-Ausrüstung oder zwischen Stellwerk und der Funkstreckenzentrale (Schnieder 2020).
- **Form Fit Function Interface Specification (FFFIS):** Hier werden die physikalischen Schnittstellen zwischen der ETCS-Ausrüstung in allen Open Systems Interconnection Models (OSI-Model) definiert. Beispielsweise die zu verwendeten Stecker (RJ45), BUS-Systeme (PROFIBUS) und die Baudrate (1500 Kbps), das Specific Transmission Module (STM) für die Kommunikation mit dem Driver Maschine Interface (DMI), STM Control, Hodometer (UNISIG 2015a). Die Verwendung von standardisierten Schnittstellen und Komponenten hat den Vorteil, dass die Anzahl der benötigten Interfaces für die Gewährleistung der Interoperabilität reduziert wird.

### 2.4.2 ETCS-Hardware Beschreibung Infrastrukturseite

Für die Implementierung von ETCS Ausrüstungen dürfen nur zugelassene Komponenten in den beschriebenen Teilsystemen eingesetzt werden.

Im Folgenden werden die Hauptkomponenten der ETCS streckenseitigen Ausrüstung insoweit erläutert, wie es für das Verständnis der Funktionsweise für die Erstellung dieser Masterthesis notwendig ist. Die Auflistung aller technischen Spezifikationen sowie die Beschreibung und Erläuterung von Funktionsprinzipien jedes Subsystems ist nicht Bestandteil dieser Thesis und wird aufgrund dessen nicht im Detail beschrieben.

- **Eurobalise:** Ist ein induktiver Uplink Transponder, der zwischen den Schienen installiert wird. Ihre Funktionsweise kann wie folgt beschrieben werden: Das Triebfahrzeug ist mit einer Antenne ausgestattet, die eine Frequenz von 27.095 MHz kontinuierlich ausstrahlt. Überfährt sie eine Eurobalise wird ein kleiner Strom induziert. Dadurch ist sie aktiv und das gespeicherte Telegramm wird mit einer Frequenz von 4.24 MHz ans Balise Transmission Module (BTM) im Fahrzeug gesendet. Es sind zwei Balisentypen zu unterscheiden:
  - **Festdatenbalisen:** Diese sind mit unveränderlichen Telegrammen vorprogrammiert. Sie beinhalten eine eindeutige Identifikationsnummer sowie die Lagekoordinaten der Eurobalisen. Aus diesem Grund werden sie sowohl als Ortungsbalisen (Kilometersteine) als auch Anmeldebilisen eingesetzt. Bei Aktivierung der Eurobalise nimmt der Zug eine Funkverbindung über die GSM-R zur Funkstreckenzentrale auf.
  - **Transparentdatenbalisen:** Neben den vorprogrammierten Telegrammen ist es möglich veränderbare Telegrammen zu übertragen. Die Transparentdatenbalisen werden

an der Line Side Unit (LEU) über Kabel mit der standardisierten Schnittstelle C angeschlossen. Sie senden ein ständig anstehendes Signal in Echtzeit (ohne Zwischenspeicherung). Beim Ausfall der LEU fällt die Eurobalise in die Rückfallebene und sendet ein vorprogrammiertes Default-Telegramm. (Schnieder 2020)

- **Euroloop:** Seine Funktionsweise basiert auf der linienförmigen Datenübertragung über einen Linienleiter. Das Kabel hat eine maximale Länge von 1000 m. Damit die Antenne des Triebfahrzeugs nicht die Telegramme des benachbarten Gleises empfängt, muss der Euroloop von einer Eurobalise angekündigt werden. Dafür sendet sie das Paket 134 -End of Loop Marker (EOLM). Dieses verfügt über die Entfernung zum Euroloop (DLOOP), die Länge des Euroloops (L\_LOOP) sowie die Entschlüsselungsinformationen des Loop-Telegramms (Q\_SSCODE). Durch die kontinuierliche Datenübertragung muss das Triebfahrzeug nicht auf die Daten der festinstallierten Eurobalisen warten und kann früher mit dem Brems- oder Beschleunigungsvorgang starten. Dadurch werden die Beschleunigungs- sowie Bremszeiten reduziert. Demzufolge wird die Streckenleistungsfähigkeit erhöht. (Schnieder 2020)
- **Lineside Electronic Unit (LEU):** Die LEU beinhaltet eine Liste von vorprogrammierten Telegrammen und ist mit Transparentdatenbalisen verbunden. Diese ETCS Komponente ist kein standardisiertes Subsystem, da ihre Verbindung mit dem Stellwerk über eine serielle Schnittstelle oder über den Abgriff der Lichtsignale nicht vorgegeben ist.

Diese Einheit weist folgende Funktionen auf: Zunächst werden die Signalabgriffe aus der Fahrwegsicherung ermittelt. Daraus werden die empfangenen Daten analysiert und überprüft. Bei zulässigem Signalbegriff sendet die LEU das passende Telegramm an die Transparentdatenbalisen. Bei inkonsistenten Zuständen sendet die LEU ein „Default“ Telegramm gleichbedeutend mit einem Haltesignal.

Die LEU kann auch als zentralisiertes LEU (Z-LEU) ausgeführt werden. Dabei wird die LEU direkt an das Stellwerk angeschlossen und erhält von dort die notwendige Logik für die Übermittlung eines geeigneten Telegramms. (Schnieder 2020)

- **Radio Block Center (RBC):** Das RBC (Funkstreckenzentrale) ist eine Komponente der ETCS Level 2 und 3. Seine Funktionen sind unter anderem die Bildung einer Schnittstelle zwischen Strecke und Fahrzeugen, die Übermittlung von Fahrterlaubnissen, das Führen und Überwachen des Zugverkehrs in seinem Bereich sowie die Übergabe eines Zuges an eine Nachbarzentrale. Die notwendigen Daten erhält es über das GSM-R vom Stellwerk. (Schnieder 2020)

#### 2.4.3 ETCS-Hardware Beschreibung Fahrzeugseitig

Damit ein Fahrzeug die ETCS Infrastruktur nutzen kann, muss es dafür mit den entsprechenden zugelassenen Komponenten ausgestattet sein. Untenstehend sind die relevantesten ETCS-Hardwarekomponenten- Fahrzeugseitig vorgestellt.

- **European Vital Computer (EVC):** Dieser Fahrzeugrechner funktioniert nach dem mehrkanaligen Datenverarbeitungsprinzip und weist eine hohe Zuverlässigkeit auf. Die Daten werden parallel von mehreren Rechnersystemen ausgewertet und nur wenn mindestens zwei Kanäle das gleiche Ergebnis liefern, wird der Befehl ausgeführt. Weichen die Ergebnisse ab, fällt der EVC in eine sichere Rückfallebene. Das EVC hat die Aufgabe, die von der Infrastruktur übermittelten

Informationen zu verarbeiten. Dazu zählen die Überwachung des Triebfahrzeugs und der Fahrerlaubnis, die Einhaltung der Geschwindigkeit und Bremsverhalten, Level, Levelwechsel und Betriebsartswechsel. (Schnieder 2020)

- **Hodometer:** Das Hodometer ermittelt die zurückgelegte Strecke. Die Hodometrie kann mit verschiedenen Verfahren ermittelt werden. Exemplarisch werden die bekanntesten Hodometer vorgestellt:
  - **Drehzahlsensoren:** sie werden an Achslagern angebracht. Dieser Sensor ermittelt die Drehzahl der Räder und übermittelt diese an den EVC. Dieser rechnet den Wert in die zurückgelegte Strecke um.
  - **Doppler Radarsensoren:** Radarantennen werden unter dem Fahrzeug angebracht. Sie senden ein Signal mit einer bestimmten Frequenz auf das Gleisbett. Das Signal wird vom Gleisbett an die Radarantenne reflektiert. Durch die Frequenzveränderung des ausgelesenen Signals kann die Geschwindigkeit bzw. der zurückgelegte Weg bestimmt werden.
  - **Optische Geschwindigkeitssensoren:** Mit diesem Verfahren wird die zurückgelegte Strecke mit optischen Sensoren, die den Schienenkopf als Referenz verwenden, bestimmt.
- **Global Navigation Satellite System (GNSS):** Durch die Navigationsatelliten können die Position und Geschwindigkeiten des Zuges bestimmt werden. Das GNSS bietet eine absolute und genaue Ortung. Jedoch kein garantiertes Service Level und nur eine begrenzte Integrität von sicherheitsrelevanten Anwendungen. Demzufolge können GNSS nicht ohne weitere Stützkomponenten für die Bestimmung der Ortung oder zurückgelegte Strecke verwendet werden. (Schnieder 2020)
- **Specific Transmission Module (STM):** Das STM bildet eine Schnittstelle zwischen dem nationalen Zugbeeinflussungssystem und einem Fahrzeug mit ETCS-Ausrüstung. Das STM übersetzt die empfangenen Daten in die ETCS Sprache. Damit kann das Fahrzeug die Informationen verarbeiten und gemäß Vorgaben reagieren. (DB Netze 2014)
- **Antenne:** Die Antenne wird unter dem Fahrzeug installiert. Bei Überfahren von einem Euro-loop oder Eurobalisen werden diese aktiviert und Telegramme ausgetauscht.

### 2.4.4 Global System für Mobile Communications-Railway (GSM-R)

Die Infrastruktureinrichtung und die Triebfahrzeuge können durch dieses digitale Funksystem Nachrichten austauschen. GSM-R kann als eine eisenbahnspezifische Anpassung des GSM Standards für den Einsatz im Eisenbahnbetrieb verstanden werden. Die erweiterten Funktionen beinhalten unter anderem:

- **Registrierung und Adressierung:** Eindeutige Registrierung und Adressierung von Teilnehmern mit Kerndaten wie Rangierfahrtnummer. Das ermöglicht es z.B. den Triebfahrzeugführer über die Fahrtnummer zu erreichen.
- **Ortsabhängige Adressierung:** Durch diese Funktion können ortsfeste Teilnehmer von mobilen Funkteilnehmern erreicht werden.

- **Gruppenverbindungen:** Möglichkeit der mehrkanaligen Verbindung. Dadurch können mehrere Teilnehmer gleichzeitig kommunizieren.
- **Vorrangige Verbindung:** Vorhandene Verbindung können von vorrangigen Verbindungen unterbrochen werden. Beispielsweise Notrufverbindungen. (DB-Richtlinie 481.0302)

Weitere Spezifikationen können den EIRENE-SRS (European Integrated Railway Radio Enhanced Network System Requirements Specification), weitere Funktionalitäten den Functional Requirements Specification (EIRENE-FRS) entnommen werden.

#### 2.4.5 ETCS-Level

Wie im Kapitel 2.3 dargestellt wurde, müssen die Eisenbahnverkehrsunternehmen ihre Strecken nach definierten Standards herstellen, um die Interoperabilität zu gewährleisten. In Blick auf örtliche Verhältnisse wie Höchstgeschwindigkeit, Auslastung und Zugdichte der Strecke, kann eine Ausrüstung mit vollen ETCS-Funktionalitäten nicht sinnvoll oder unwirtschaftlich sein.

Um Flexibilität in der Infrastruktur und gleichzeitig die Interoperabilität zu garantieren, wurde das ETCS in folgende Level bzw. Ausrüstungsstufen unterteilt:

- **Level 0:** Wenn die Infrastruktur über kein ETCS verfügt oder das Triebfahrzeug mit dem vorhandenen Zugbeeinflussungssystem inkompatibel ist, die Strecke kein Zugbeeinflussungssystem aufweist oder der Triebfahrzeugführer dieses Level auswählt, fällt das ETCS in diese Rückfallebene (siehe Abbildung 3). Der EVC überwacht dabei die zulässige Höchstgeschwindigkeit ohne Zugbeeinflussungssystem. In Deutschland ist diese in der EBO auf 50 Km/h festgelegt. (DB Netze 2014)

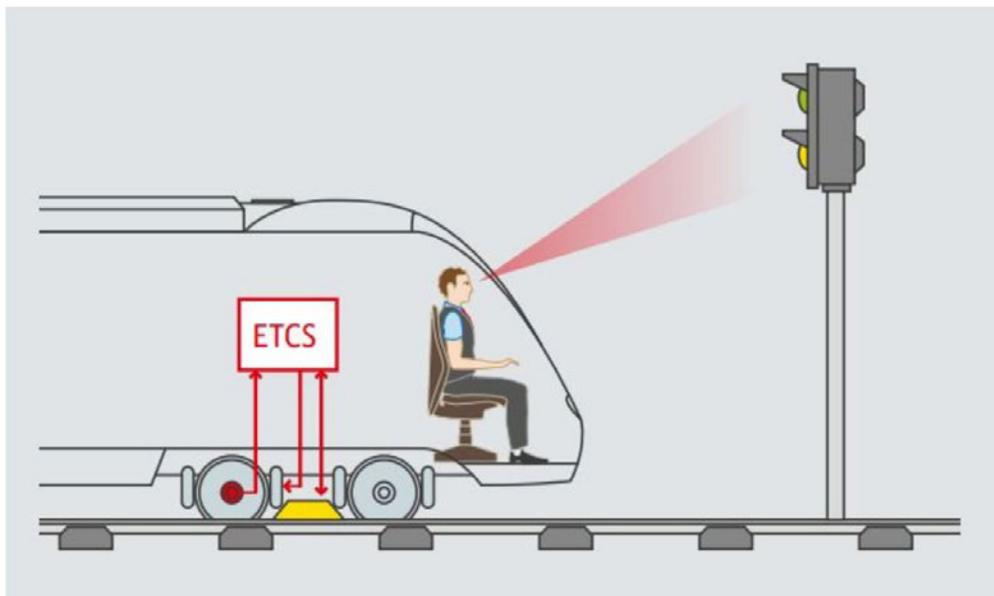


Abbildung 3 ETCS Level 0  
(DB-Richtlinie 418.8300Z01)

- ETCS Level NTC (National Train Control) PZB/LZB:** In der SRS Baseline 3 wurde dieses Level eingeführt. Dabei übergibt das Fahrzeuggerät die Überwachung an das nationale Zugbeeinflussungssystem (siehe Abbildung 4). In Deutschland entspricht dies der PZB/LZB. (DB-Richtlinie 418.8300Z01)

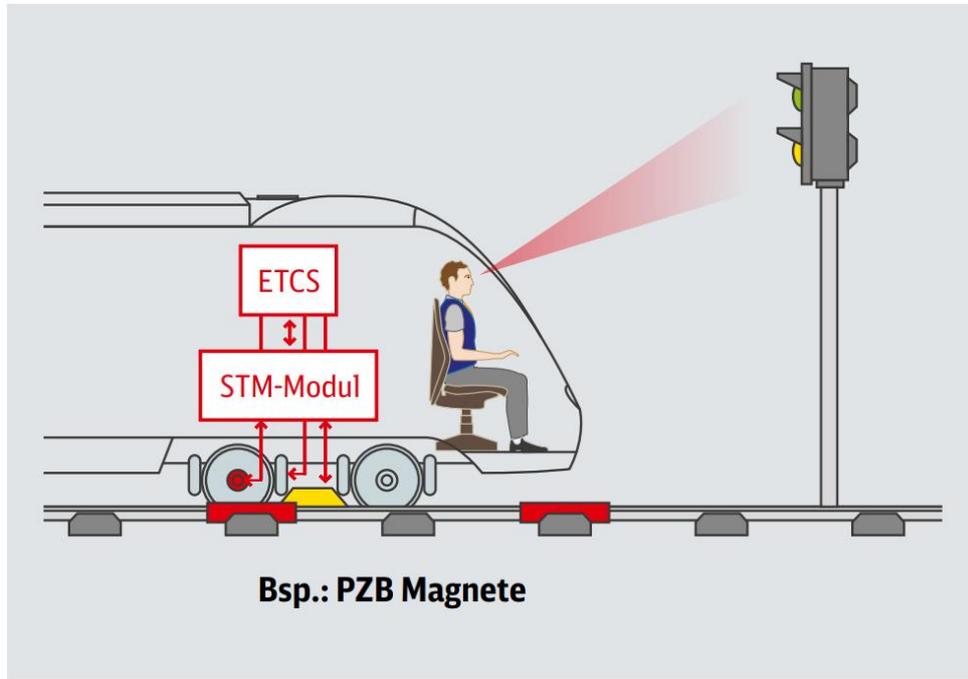


Abbildung 4 ETCS Level NTC  
(DB-Richtlinie 418.8300Z01)

- ETCS L1:** In dieser Ausrüstungsstufe sind die nationale ortsfeste Signalisierung und Gleisfreimeldung vorhanden. Diese Daten zusammen mit den Streckendaten werden mittels LEU, Eurobalisen und gegebenenfalls Euroloop an Fahrzeuggeräte übermittelt (siehe Abbildung 5). Der Fahrzeugrechner überwacht die zulässige Höchstgeschwindigkeit und das Ende der Fahrterlaubnis. (Schnieder 2020) (DB Netz AG 2021)

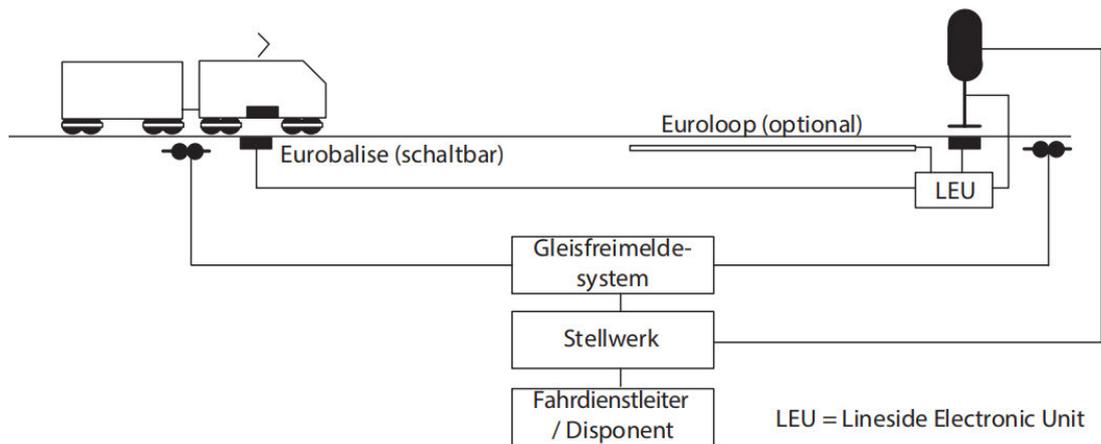


Abbildung 5 ETCS Level 1  
(Schnieder 2020)

- **ETCS L2:** In diesem Level ist eine ortsfeste Signalisierung optional. Stattdessen ist eine ständige Verbindung zwischen dem RBC und dem Fahrzeuggerät über GSM-R vorhanden. Die Informationen aus dem Stellwerk wie Weichenlage, Räumung des Abschnitts und die zulässige Höchstgeschwindigkeit werden an das RBC übermittelt (siehe Abbildung 6). Das RBC erzeugt aus den Informationen die Fahrerlaubnisse und überwacht die Einhaltung der Parameter wie das Ende der Fahrerlaubnis und die Bremskurve. Die Eurobalisen dienen als Kilometersteine zur Ortung des Triebfahrzeugs. (Schnieder 2020) (DB Netz AG 2021)

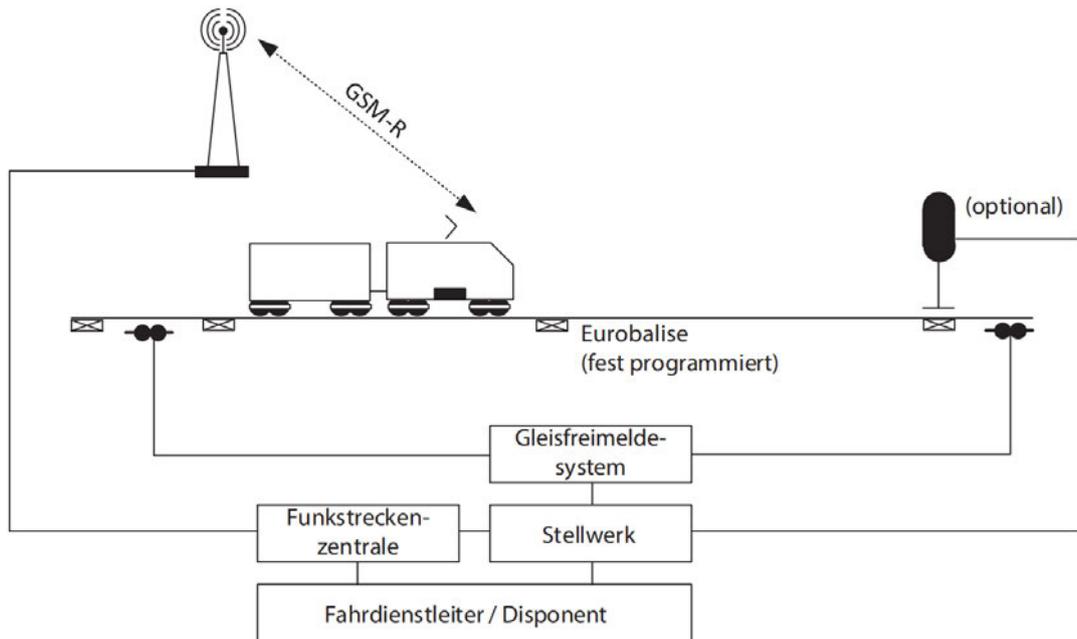


Abbildung 6 ETCS Level 2  
(Schnieder 2020)

- **ETCS L3:** Der Hauptunterschied zwischen diesem Level und von den vorherigen besteht darin, dass die ortsfeste Signalisierung entfällt und die Gleisfreimeldeanlage an das Triebfahrzeug verlagert wird (siehe Abbildung 7). Demzufolge muss das Triebfahrzeug die eigene Integrität überwachen. Durch die eigene Integritätsüberwachung und die Verlagerung der Gleisfreimeldeanlage auf das Triebfahrzeug, muss die Strecke nicht mehr in Blockabschnitten befahren werden, sondern in wandernden Raumabständen (Bremswegabstand). Die Eurobalisen dienen als Kilometersteine zur Ortung des Triebfahrzeugs. (Schnieder 2020) (DB Netz AG 2021)

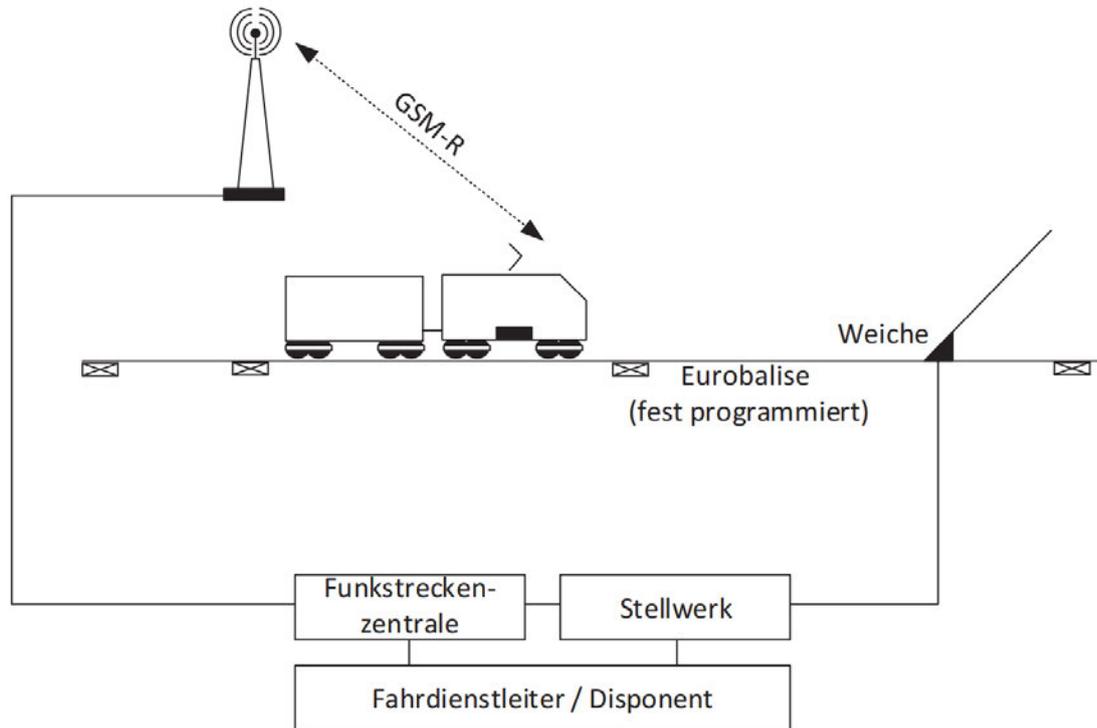


Abbildung 7 ETCS Level 3  
(Schnieder 2020)

Obwohl das ETCS Level 3 in der SRS spezifiziert ist, konnte im Zuge der Recherche für diese Arbeit keine Strecke in Deutschland ermittelt werden, die mit dieser Ausrüstungsstufe ausgerüstet ist oder für welche die Implementierung dieses Levels geplant ist.

#### 2.4.6 Betriebsarten

Das ETCS bietet eine große Flexibilität und verfügt über verschiedene Betriebsarten, die in Abhängigkeit des Ausrüstungslevels der Infrastruktur eingestellt werden. Das Fahrzeuggerät wird je nach Betriebsart auf einen bestimmten Überwachungsumfang eingestellt. Die Spezifikationen der Betriebsarten sind in dem UNISIG Subset 26-4 definiert und werden untenstehend dargestellt:

- **Full Supervision (FS):** Diese Betriebsart kann nicht vom Triebfahrzeugführer ausgewählt werden, sondern wird vom Fahrzeuggerät automatisch eingeschaltet, sobald alle benötigten fahrzeug- und streckenseitigen Komponenten für die Vollüberwachung und Führerstandssignalisierung vorhanden sind. Das Geschwindigkeitsprofil und die Gradienten müssen dem Triebfahrzeug bekannt sein. In diesem Fall werden die Führungsgrößen und die Meldung „ENTRY SUPERVISION“ am Führerstand angezeigt. (ERA 2016a)
- **Limited Supervision (LS):** In dieser Betriebsart wird das Triebfahrzeug signalgeführt und es erfolgt keine Führerstandssignalisierung. Wie im Full Supervision Mode wird die Betriebsart automatisch ausgewählt, wenn die Ausrüstungsvoraussetzungen erfüllt sind und der Befehl zum Levelwechsel von den Eurobalisen übermittelt wird. Dabei erhält das Fahrzeuggerät die Streckendaten punktförmig aus den Eurobalisen und führt eine Hintergrundüberwachung durch. (Schnieder 2020) (ERA 2016a)

- **Isolation (IS):** Bei Störung des Fahrzeuggeräts kann der Fahrzeugführer den Fahrzeugrechner von den übrigen Systemen des Fahrzeugs isolieren. Der EVC erhält keine Informationen über die Strecke und der Triebfahrzeugführer trägt die Verantwortung für die Einhaltung der Fahrten. (Schnieder 2020) (ERA 2016a)
- **No Power (NP):** Im stromlosen Zustand ist der EVC im No Power Betrieb. (DB Netz AG 2021)
- **System Failure (SF):** Hier handelt es sich um eine Notfallebene, die bei sicherheitsrelevanten Fehlern in der ETCS-Fahrzeugausrichtung auftritt. In dieser Betriebsart leitet der EVC eine Zwangsbremung bis zum Stillstand ein. (DB Netz AG 2021) (ERA 2016a)
- **Sleeping (SL):** In dieser Betriebsart wird das Triebfahrzeug ferngesteuert und keine Signalisierung wird im Führerstand angezeigt. Der EVC ist aktiv und empfängt die Telegramme aus der Strecke, führt jedoch keine Überwachung durch.
- **Stand By (SB):** Diese Betriebsart kann nicht ausgewählt werden. Der EVC schaltet automatisch in den Stand By Modus nach dem Einschalten des Systems. Er ist zuständig für den Stillstand des Fahrzeugs und die Stillstandüberwachung. Der Triebfahrzeugführer hat keine Verantwortung für den Zug. (DB Netz AG 2021) (ERA 2016a)
- **Shunting (SH):** Das Ziel dieser Betriebsart ist das Ermöglichen von Rangierfahrten. Mit dem Fahrzeug im Stillstand kann der Shunting-Modus vom Triebfahrzeugführer oder streckenseitig (in diesem Fall muss der Triebfahrzeugführer den Betriebsartwechsel quittieren) eingeleitet werden. Der EVC überwacht die Höchstgeschwindigkeit und den Rangierbereich und der Triebfahrzeugführer ist für die Rangierfahrt verantwortlich.
- **Unfitted (UN):** Auf Strecken, die über keine ETCS verfügen, wird in dieser Betriebsart verkehrt. Dabei wird die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 50 Km/h überwacht und die Fahrt erfolgt signalgeführt.
- **Staff Responsible (SR):** Der Triebfahrzeugführer kann auf diese Betriebsart wechseln, wenn das ETCS den Fahrweg nicht kennt, z.B. beim Hochfahren des Systems oder bei Verlust der Funkverbindung. Die Überwachung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und die maximale erlaubte zurückgelegte Strecke in diesem Modus obliegt dem EVC. Der Triebfahrzeugführer muss die Signale beachten und sicherstellen, dass der Abschnitt frei ist und die Weichen in die richtigen Lage umgelegt sind. (Schnieder 2020) (DB Netz AG 2021) (ERA 2016a)
- **On Sight (ON):** In dieser Betriebsart wird auf Sicht gefahren. Sie kann nur streckenseitig eingestellt werden. Dabei muss der Triebfahrzeugführer den Betriebsartwechsel quittieren und den Belegungszustand der Freimeldeabschnitte feststellen. Die Verwendung dieser Betriebsart ist sinnvoll, wenn die Streckeneinrichtung, wie z.B. die Gleisfreimeldeanlagen oder BÜSA, gestört sind oder in einen besetzten Gleisabschnitt eingefahren wird. Dabei überwacht der EVC die zulässige nationale Höchstgeschwindigkeit und das Ende der Fahrterlaubnis. (Schnieder 2020) (DB Netz AG 2021) (ERA 2016a)
- **Trip (TP):** Diese Betriebsart führt zu einer Zwangsbremung. Sie wird bei verschiedenen Fehlern automatisch hervorgerufen, beispielsweise bei vorbeifahren an einem Ne 14 Signal, wenn dabei die Tasten „Override“ und „EOA“ nicht betätigt wurden, bei fehlerhaften Eurobalisen, Vorbeifahrt an einem Haltsignal, PZB Zwangsbremung im NTC Modus infolge eines 2000 Hz

Magneten oder wenn die vom EVC erwarteten<sup>1</sup> Eurobalisen nicht gefunden werden. Der EVC führt die Zwangsbremmung aus und der Triebfahrzeugführer muss auf den vollständigen Stillstand des Fahrzeugs warten. (Schnieder 2020) (DB Netz AG 2021) (ERA 2016a)

- **Post Trip (PT):** Nach dem der Triebfahrzeugführer die Taste zur Quittierung der Betriebsart Trip betätigt hat, wechselt der EVC in die Betriebsart Post Trip. Es ist möglich eine bestimmte Distanz (Landesabhängig) zurückzufahren. Die ETCS-Einrichtung überwacht die maximal erlaubte zurückgelegte Strecke in der Rückfahrt und der Triebfahrzeugführer ist zuständig für die Rückwärtsbewegung. (Schnieder 2020) (DB Netz AG 2021) (ERA 2016a)
- **Non Leading (NL):** Der Non Leading Modus wird auch als „Slave Mode“ oder umgangssprachlich als Abschleppmodus bezeichnet. Hier wird die ETCS-Ausrüstung des Fahrzeugs nicht mit dem führenden Triebfahrzeug verbunden. Diese Betriebsart wird z. B. in Schiebelokomotiven eingestellt, um die Zugkraft eines Zuges bei Steigungen zu erhöhen. Die ETCS-Einrichtung führt keine Überwachungsfunktion durch. Der Triebfahrzeugführer muss die Anzeige im Führerraum befolgen. (Schnieder 2020) (DB Netz AG 2021) (ERA 2016a)
- **National System (SN):** In dieser Betriebsart übergibt das ETCS die Überwachung an das nationale Zugbeeinflussungssystem ab. (DB Netz AG 2021)
- **Reversing (RV):** Dieser Modus ermöglicht dem Triebfahrzeugführer ohne Führerstandwechseln, z.B. in Gefahrensituationen beispielsweise bei einem Gefahrereignis im Tunnel, rückwärtszufahren. Dafür muss die Strecke projektiert sein. Der EVC überwacht dabei die maximale zulässige Rückfahrtsgeschwindigkeit und -distanz, der Triebfahrzeugführer muss diese einhalten. (Schnieder 2020) (DB Netz AG 2021)
- **Passiver Shunting (PS):** In dieser Betriebsart wird das Fahrzeug mechanisch mit einem anderen gekuppelt und die ETCS-Einrichtungen werden nicht miteinander verbunden. Das ETCS-System führt keine Überwachung durch und der Triebfahrzeugführer trägt keine Verantwortung für die Fahrt. (Schnieder 2020) (DB Netz AG 2021)

## 2.5 Funktionsprinzip des ETCS

### 2.5.1 Informationsaustausch und Aufbau

Wie in Kapitel 2.4 beschrieben, ist das ERMTS/ETCS ein System mit festgelegten Anforderungen an Strecke und Fahrzeuge. Als Grundlage dafür dienen die Subsets aus den Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI). Die Kommunikationsprotokolle werden gemäß (ERA 2016c), (ERA 2016d), (ERA 2015) und den dazugehörigen Unterkapiteln erstellt.

Die ERMTS/ETCS-Kommunikationsverfahren, beziehungsweise: -sprache, kann sowohl über die Fahrzeugantenne und die Eurobalisen oder den Euroloop als auch über den GSM-R Funk zwischen dem Fahrzeuggerät und der Funkstreckenzentrale erfolgen.

Der ERMTS/ETCS Kommunikationsaufbau ist in Variables (Variablen), Packets (Pakete), Messages (Nachrichten) und Telegrams (Telegrammen) unterteilt. (ERA 2016c)

---

<sup>1</sup> Verkettung von Eurobalisen. Siehe Kapitel 2.6.1

Die Variablen und Pakete werden im UNISIG Subset 26 Kapitel 7 beschrieben und die Nachrichten und Telegramme sind im UNISG Subset 26 Kapitel 8 definiert.

### 2.5.2 Definition Variablen

Variablen haben einen eindeutigen Datentyp, Wertebereich und sind nicht unterteilbar. Für die Gewährleistung der Funktionalität des Systems müssen bestimmte Variablen mit gültigen Werten zugewiesen werden. Die Wertezuweisung der Variablen müssen den Spezifikationen der „Assignment of Values to ETCS Variables“ (ERA 2021) entsprechen. Außerdem weisen die Variablen folgenden Eigenschaften auf (ERA 2016c):

- Sie können Werte annehmen, die sich auf die Bedeutung der Variable beziehen.
- Werte mit der relevantesten Bedeutung/Wichtigkeit sind in dem höchsten Wertbereich gespeichert (z.B. Integer 32 Bit 32767).
- Übergangswerte werden zwischen dem normalen und höchsten Wertbereich gespeichert.
- Die Variablen haben eine eindeutige und einmalige Bezeichnung.
- Die Variablendefinitionen sind von Übertragungsmedien unabhängig.
- Signalbehaftete Variablen müssen das 2'er Komplement verwenden.
- Bei Verwendung von 1 Bit Variablen entspricht 0 = False und 1 = True.
- Offsets bei numerischen Variablen sollen so weit wie möglich vermieden werden.
- Die Bitreihenfolge wird als MSB (Most Significant Bit) gespeichert.

Die Variablen weisen folgende Präfixe, wie in der Tabelle 2 festgehalten, auf:

Tabelle 2 Präfixe der Variablen nach Subset 26-7  
(ERA 2016c)

Präfixe	Variable
A_	Acceleration
D_	Distance
G_	Gradient
L_	Length
M_	Miscellaneous
N_	Number
NC_	Class Number
NID_	Identity Number
Q_	Qualifier
T_	Time /Date
V_	Speed
X_	Text

### 2.5.3 Definition Pakete

Ein Paket kann als eine Sammlung von Informationen angesehen werden. Für ein besseres Verständnis über dieses Thema werden nachfolgend die wesentlichen Bestandteile und die Pakete, die in der (ERA 2016c) definiert sind, dargestellt.

#### Paketstruktur

Eine Struktur mit mehreren Variablen in einer Einheit bildet ein Paket. Der Paketheader und das zu sendende Payload hängen von den übermittelten Daten und der Übertragungsrichtung (Strecke-Fahrzeug oder Fahrzeug-Strecke) ab. In den untenstehende Tabelle 3 und Tabelle 4 werden die Paketheader in Abhängigkeit der Übertragungsrichtung dargestellt:

- **Übertragungsrichtung Strecke-Fahrzeug:**

Tabelle 3 Paketstruktur Richtung Strecke-Fahrzeug nach (ERA 2016c)

Bedeutung	Präfix + Variable Name	Bemerkung
Nummer	NID_PACKET	Paket Identifikation
Richtung	Q_DIR	Richtung des Paketes
Länge	L_PACKET	Paketgröße
Skalierung	Q_SCALE	Spezifiziert in welcher Skalierung die Distanzen angegeben sind. (nur vorhanden in Paketen, die Angaben zu Distanzen enthalten)
Information	.....	Gespeicherte Information in der Variablen

- **Übertragungsrichtung Fahrzeug-Strecke:**

Tabelle 4 Paketstruktur Richtung Fahrzeug-Strecke nach (ERA 2016c)

Bedeutung	Präfix + Variable Name	Bemerkung
Nummer	NID_PACKET	Paket Identifikation
Länge	L_PACKET	Paketgröße
Skalierung	Q_SCALE	Spezifiziert in welcher Skalierung die Distanzen angegeben sind. (nur vorhanden in Paketen, die Angaben zu Distanzen enthalten)
Information	.....	Gespeicherte Information in der Variablen

#### Paketliste

Jedes Paket erfüllt eine bestimmte Funktion, wie das Befehlen eines Levelwechsels (Paket 41 Level Transition Order) oder das Paket 12 (Movement Authority) welches einen Fahrbefehl beinhaltet.

Die vollständige Liste mit den standardisierten Paketen in Abhängigkeit der Übertragungsrichtung ist in Anhang A zu sehen. Ein Auszug davon ist in den folgenden Tabelle 5 und Tabelle 6 dargestellt:

- **Übertragungsrichtung Strecken-Fahrzeug:**

Tabelle 5 Auszug der Paketliste Übertragungsrichtung Strecke-Fahrzeug nach (ERA 2016c)

Packet Number	Packet Name
3	National Values
5	Linking
12	Level 1 Movement Authority
15	Level 2/3 Movement Authority
16	Repositioning Information
21	Gradient Profile
27	International Static Speed Profile
41	Level Transition Order
42	Session Management
45	Radio Network registration
65	Temporary Speed Restriction
66	Temporary Speed Restriction Revocation
72	Packet for sending plain text messages
76	Packet for sending fixed text messages
80	Mode profile
132	Danger for Shunting information
137	Stop if in Staff Responsible
255	End of Information

- **Übertragungsrichtung Fahrzeug-Strecke:**

Tabelle 6 Auszug der Paketliste Übertragungsrichtung Fahrzeug-Strecke nach (ERA 2016c)

Packet Number	Packet Name
0	Position Report
1	Position Report based on two balise groups
2	Onboard supported system versions
4	Error Reporting
5	Train running number
9	Level 2/3 transition information
11	Validated train data
44	Data used by applications outside the ERTMS/ETCS system.

Auf eine vollständige Beschreibung und Darstellung aller Pakete und Variablen wird hier verzichtet. In den folgenden Kapiteln wird auf bestimmte Pakete und Variablen bei Notwendigkeit detailliert eingegangen.

### 2.5.4 Definition Nachrichten und Telegramme

Übertragungen, die über das Euroradioverfahren oder Euroloop erfolgen, werden Nachrichten genannt. Der Kommunikationsaustausch über Eurobalise wird als Telegramm bezeichnet. In beiden Fällen ist die Struktur gleich und besteht aus folgenden Teilen:

- Ein Header
- Bei Euroradioübertragung, wenn nötig, vordefinierte Variablenätze.
- Bei Euroradioübertragung, wenn nötig, vordefinierte Paketsätze.
- Benötigte Pakete für die Anwendung.

Für Nachrichten und Telegramme gelten folgende Regeln:

- Die Daten müssen in der vorgegebenen Reihenfolge (von oben nach unten) übermittelt werden.
- Das Empfängerverhalten soll von der Paketreihenfolge unabhängig sein.
- Die streckenseitige Datenübertragung darf höchstens einen Pakettypen instanzieren.
- Die fahrzeugzeitige Datenübertragung darf höchstens einen Pakettypen instanzieren.
- Ausnahme zu diesen Regeln werden in (ERA 2016d) aufgelistet.

#### **Regel für die Telegramme aus der Balisenübertragung**

Die folgende Abbildung 8 stellt das Format der Telegramme aus den Balisenübertragungen dar.

<b>General Format of Balise Telegram</b>			
Field No.	VARIABLE	Length ( bits)	Remarks
1	Q_UPDOWN	1	Defines the direction of the information: Down-link telegram (train to track) (0) Up-link telegram (track to train) (1)
2	M_VERSION	7	Version of the ERTMS/ETCS system.
3	Q_MEDIA	1	Defines the type of media: Balise (0)
4	N_PIG	3	Position in the group. Defines the position of the balise in the balise group.
5	N_TOTAL	3	Total number of balises in the balise group
6	M_DUP	2	Used to indicate whether the information of the balise is a duplicate of the balise before or after this one.
7	M_MCOUNT	8	Message counter (M_MCOUNT) - 8 bits. To enable detection of a change of balise group message during passage of the balise group.
8	NID_C	10	Country or region.
9	NID_BG	14	Identity of the balise group.
10	Q_LINK	1	Marks the balise group as linked (Q_LINK = 1) or unlinked (Q_LINK = 0)
	Packet 0 (optional)	14	Virtual Balise Cover marker
	Information	Variable	This information is composed according to the rules applicable for packets.
	Packet 255	8	Finishing flag of the telegram

Abbildung 8 Telegramme-Format aus Balisenübertragung (ERA 2016d)

Neben der Formatvorgaben gelten folgende Regeln:

- Jede übermittelte Information muss als vollständiges Paket übertragen werden. Die Unterteilung der Daten auf zwei oder mehrere Eurobalisen ist nicht erlaubt.
- Das Paket „0“ soll als erstes übermittelt werden

#### **Regel für die Nachrichten aus einem Euroloop**

Die Nachrichten aus einem Euroloop sind ebenso fest definiert und weisen, wie in der Abbildung 9 dargestellt, folgendes Format auf.

General Format of Loop Message			
Field No.	VARIABLE	Length ( bits)	Remarks
1	Q_UPDOWN	1	Defines the direction of the information: Down-link message (train to track) (0) Up-link message (track to train) (1)
2	M_VERSION	7	Version of the ERTMS/ETCS system.
3	Q_MEDIA	1	Defines the type of media: Loop (1)
4	NID_C	10	Country or region.
5	NID_LOOP	14	Identity of Euroloop.
	Information	Variable	This information is composed according to the rules applicable for packets.
	Packet 255	8	Finishing flag of the message

Abbildung 9 Nachrichtenformat aus Euroloopübertragung (ERA 2016d)

Durch die Variable Q\_UPDOWN wird die Übertragungsrichtung festgelegt.

Des Weiteren sind in den Spezifikationen für Nachrichten aus einem Euroloop keine weiteren Regeln definiert.

#### **Regel für die Übertragungen mit sicherem Datenübertragungsverfahren (Euroradio)**

Die übermittelte Daten zwischen Fahrzeuggerät und Streckenzentrale über Funk beinhalteten sicherheitsrelevanten Informationen. Diese werden durch das das Euroradio-Protokoll gemäß (ERA 2015) gesichert (Schnieder 2020). Es sind zwei Übertragungsformate je Übertragungsrichtung definiert. Die sind in den Abbildung 10 und Abbildung 11 zu sehen.

Field No.	VARIABLE	Remarks
1	NID_MESSAGE	Message Identification Number
2	L_MESSAGE	Message length including everything (from field 1 to padding inclusive).
3	T_TRAIN	Time Stamp from RBC (see sections 3.16.3.2 & 3.16.3.3).
4	M_ACK	Indicates whether the message must be acknowledged (or not) by the on-board equipment (message n° 146).
5	NID_LRBG	Identification Number of LRBG.
...	variables as required by NID_MESSAGE	If needed for this message. Used when sending variables which are not included in a packet.
...	packets as required by NID_MESSAGE	If needed for this message.
	Optional packets	Refer to section 8.4.4.4 of this document.
	Padding	If required.

Abbildung 10 Nachrichtenformat Richtung Strecke-Fahrzeug (ERA 2016d)

Field No.	VARIABLE	Remarks
1	NID_MESSAGE	Message Identification Number
2	L_MESSAGE	Message length including everything (from field 1 to padding inclusive).
3	T_TRAIN	Time Stamp from Train (see chapter 3 – Data Consistency).
4	NID_ENGINE	Identity of the train.
5	variables as required by NID_MESSAGE	If needed for this message. Used when sending variables which are not included in a packet.
6	Packet 0 or 1	Train-to-track packet type 0 – Position report, or packet type 1 - Position report based on two balise groups. Not included in messages 146, 154, 155, 156 and 159.
7	Other Packets as required by NID_MESSAGE	
8	Optional packets	
	Padding	If required.

Abbildung 11 Nachrichtenformat Richtung Fahrzeug-Strecke (ERA 2016d)

Neben den Formatvorgaben gelten folgende Regeln:

- Die Identität von Nachrichten wird nur einmal vergeben.
- Nachrichten mit nicht definierten Identitäten werden als ungültig vom Fahrzeugempfänger ausgewertet. Ausnahme: Wenn der Identitätsunterschied nur an einer höheren Systemversion liegt.
- Jede Nachricht muss ihre Datenlänge im Feld L\_MESSAGE enthalten.
- Bei Unstimmigkeiten zwischen der angegebenen Datenlänge und der erwarteten Datenlänge im Feld L\_MESSAGE soll die Nachricht als ungültig ausgewertet werden.
- Die Nachrichten bestehen aus instanziierten und definierten Variablen und Paketen.
- Das Hinzufügen von optionalen Paketen, die in der Abbildung 11 dargestellt sind, muss bei streckenseitiger Übertragung in manchen Nachrichten möglich sein.

In dieser Arbeit wird nicht auf die einzelnen Nachrichten sowie Telegramme eingegangen und deren Bedeutung erklärt, sondern nur auf bestimmte Nachrichten und Telegramme insoweit Bezug genommen, wie für die Nachvollziehbarkeit und Vollständigkeit diese Masterthesis erforderlich ist.

### 2.5.5 Ortung von Fahrzeugen im Zusammenhang mit ETCS Level 1

Die zurückgelegte Strecke eines Fahrzeugs kann durch die Multiplikation der Anzahl der Radumdrehungen mit dem Radumfang bestimmt werden. Mit der Abnutzung der Räder wird, aufgrund des Rad-Schiene-Kontaktes, sein Umfang kleiner. Dadurch ist die gespeicherte Radumfangkonstante im Fahrzeugrechner nicht mehr mit dem tatsächlichen Radumfang übereinstimmend. Aus diesem Grund ist diese Methode ungenau.

Die Ermittlung von Geschwindigkeiten und zurückgelegten Distanzen ist auch durch die Zählung der Wellenumdrehungen möglich. Da diese Methode von Radumfang abhängig ist, ist diese jedoch ebenso mit Unsicherheit verbunden.

Aufgrund von Zugkräften am Radumfang ergibt sich ein Schlupf zwischen Schienen und Fahrzeugrad. Es sind zwei Fälle von Schlupf zu unterscheiden:

- **Schleudern:** Radumfanggeschwindigkeit größer als Fahrgeschwindigkeit
- **Gleiten:** Radumfanggeschwindigkeit kleiner als Fahrgeschwindigkeit

Das Prinzip beider Schlupf-Arten ist in der Abbildung 12 dargestellt:

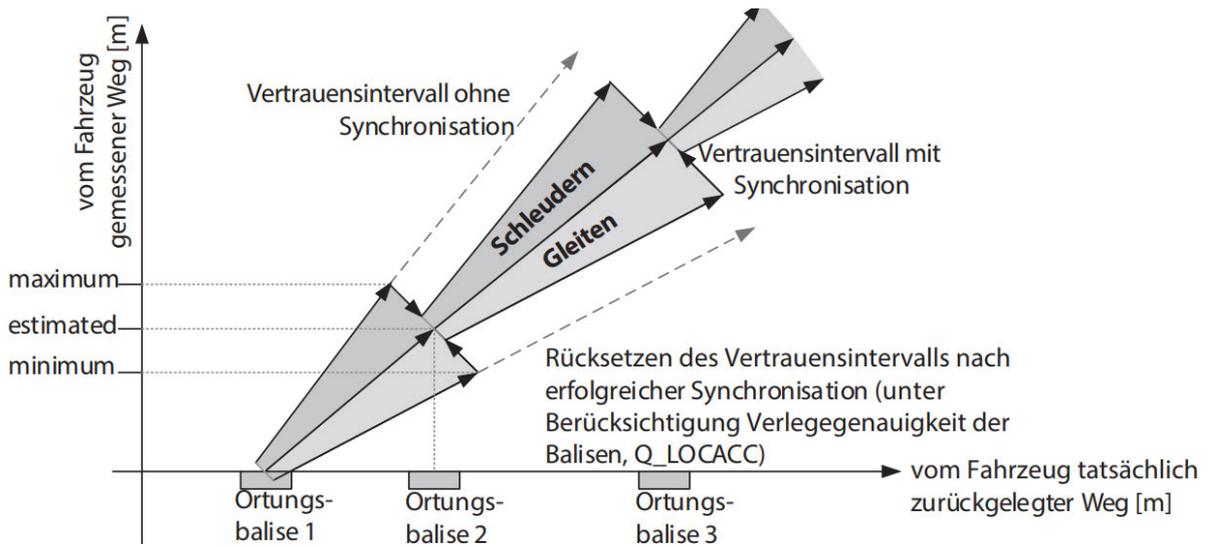


Abbildung 12 Darstellung Positionskorrektur von Schlupf mittels Eurobalisen (Schnieder 2020)

Um die Positionsgenauigkeit des Fahrzeugs auf der Strecke zu erhöhen, werden zusätzlich zu den in Kapitel 2.4.3 beschriebenen Fahrzeugsensoren, Eurobalisen als Positionsreferenz für das Fahrzeug verwendet. Damit kann das Fahrzeug mögliche Abweichungen von gemessener und tatsächlicher Position auf der Strecke korrigieren.

### 2.5.6 Grundsätzliche Überwachung von ETCS und Vergleich mit PZB 90

Die Überwachung durch die PZB 90 und das ETCS wird anhand nachstehender Abbildung 13 dargestellt. In diesem dargestellten Betriebsfall fährt ein Fahrzeug über ein Vorsignal in Richtung eines Hauptsignals. Dabei beträgt der Bremswegabstand der Strecke 1000 m.

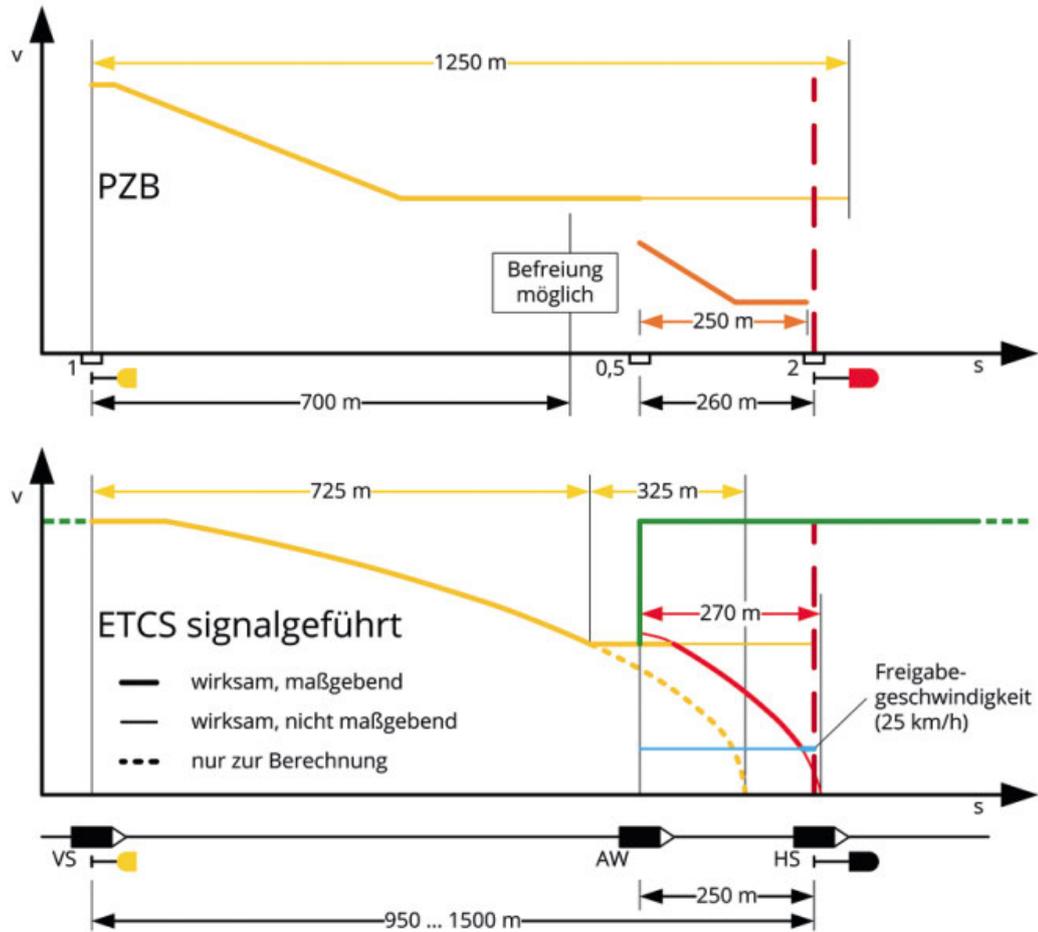


Abbildung 13 Vergleich zwischen PZB 90 und ETCS Überwachungskurven (Trinckauf et al. 2020)

Die Überwachung durch die PZB 90 Zugbeeinflussung kann wie folgt erläutert werden:

Wenn das Hauptsignal „Halt“ zeigt, ist der 1000 Hz Magnet am Vorsignal, der 500 Hz Magnet und der 2000 Hz Magnet vor dem Hauptsignal aktiv. Aufgrund des Haltbegriffs muss der Triebfahrzeugführer den Bremsvorgang einleiten und vor dem Hauptsignal anhalten. Nach dem Überfahren des 1000 Hz Magneten muss der Triebfahrzeugführer die Wachsamkeitstaste bedienen. Der 500 Hz Magnet ruft eine wegabhängige Geschwindigkeitsüberwachung für die nächsten 250 m hervor.

Wenn das Hauptsignal während der Bremskurve auf „Fahrt“ wechselt, sind der 500 Hz Magnet und der 2000 Hz Magnet nicht mehr aktiv. Damit kann der Triebfahrzeugführer nach 700 m das Fahrzeug aus der Überwachung mit der Freitaste befreien und mit der höchsten zugelassenen Geschwindigkeit weiterfahren.

Bleibt das Hauptsignal während der Bremskurve auf Halt, sind die 500 Hz-, 1000 Hz- und 2000 Hz Magneten aktiv. Leitet der Triebfahrzeugführer den Bremsvorgang nicht ein, bricht er diesen ab oder hält nicht vor dem Hauptsignal, wird eine Zwangsbremung ausgelöst und der Zug innerhalb des Durchschweges zu halten gebracht.

Die Beeinflussung durch das ETCS Level 1 kann wie folgt erläutert werden:

Bei der ETCS Zugbeeinflussung überwachen keine PZB 90 Magneten die Fahrt, sondern die Eurobalisen. Wobei die Balisengruppe VS am Vorsignal als ein 1000 Hz Magnet, die Balisengruppe AW als 500 Hz Magnet und die Balisengruppe HS als ein 2000 Hz Magnet analog betrachtet werden können. Bei der Überfahrt der verlegten Eurobalisen VS am Vorsignal werden die Datenpakete mit den notwendigen Streckendaten, wie höchstzulässiger Geschwindigkeit, Gradient Profile und eine gültige Fahrterlaubnis an das Fahrzeug übermittelt. Falls das Vorsignal den Signalbegriff „Halt erwarten“ zeigt, wird eine Geschwindigkeitseinschränkung im Abstand von 725 m übertragen, mit der das Fahrzeug innerhalb von 325 m anhalten kann (gelbe Linie).

In diesem Beispiel sind die Aufwertebalisen AW 250 m vor dem Hauptsignal platziert. Wenn das Hauptsignal „Fahrt“ zeigt, wird eine Fahrterlaubnis (grüne Linie), die bis zur nächsten Balisengruppe gültig ist, gesendet. Bei Überfahrt dieser Balisengruppe wird eine neue Fahrterlaubnis für den nächsten Streckenabschnitt übermittelt. Im Gegensatz dazu, wenn das Hauptsignal „Halt“ zeigt, übermitteln die Aufwertebalisen eine Fahrterlaubnis mit einer Länge von 270 m (rote Linie). Der Distanzunterschied zwischen dem Hauptsignal und der Balisengruppe HS ergibt sich aus der Planungstoleranz.

Die Freigabegeschwindigkeit ab dem Punkt AW wurde so hoch wie die höchstzulässige Rangiergeschwindigkeit von 25 Km/h gewählt (blaue Linie). Falls ein Fahrzeug die Balisengruppe HS bei Halt zeigendem Hauptsignal überfährt, übermittelt diese eine sofortige Zwangsbremmung. (Trinckauf et al. 2020)

## 2.6 Projektierung von Eurobalisen

### 2.6.1 Grundlegendes

Damit das Fahrzeug die Funktionalitäten des ETCS verwenden kann, müssen die relevanten Pakete von der Strecke entweder über das RBC (beim ETCS Level 2) oder über Eurobalisen (beim ETCS Level 1) an das Fahrzeug übermittelt werden. Die Grundlagen zur Erstellung von Telegrammen, Nachrichten und Paketen wurden in Kapitel 2.5 erörtert.

Ebenso wie die Erstellung von Telegrammen und Nachrichten an bestimmte Regeln gebunden ist, sind die Platzierung von Eurobalisen und die zu übermittelnden Pakete geregelt.

Um einen Überblick über die relevantesten Grundregeln für die Projektierung von Eurobalisen zu ermöglichen, wird untenstehend eine Sammlung von relevanten Informationen und Regeln für die Implementierung von Eurobalisen dargestellt. Da ein spezifisches Regelwerk der Deutsche Bahn für die Projektierung von ETCS Level 1 in der Betriebsart FS nicht existiert, basiert die Projektierung der Eurobalisen in dieser Thesis auf folgenden Regelwerken:

- UNISIG Subset 0-26: System Requirements Specification
- UNISIG Subset 0-40: Dimensioning and Engineering rules
- Buch European Train Control System (ETCS), 2020 von Lars Schieder
- Buch ETCS in Deutschland, 2021 von Jochen Trinckauf, Ulrich Maschek, Richard Kahl, Claudia Krahl
- Buch Systemtechnik des Schienenverkehrs Bahnbetrieb planen, steuern und sichern, 2018 von Jörn Pachl

- Deutsche Bahn Richtlinie 819 „LST-Anlagen planen“
- Deutsche Bahn Richtlinie 301 „Signalbuch“

Die folgenden Systemanforderungen beziehungsweise Regel stammen aus den konsultierten Literaturen und sind nicht als vollständig zu betrachten.

- Balisengruppen können aus einer bis acht Eurobalisen bestehen.
- Die Anzahl der Eurobalisen hängen von Länge, Zweck und Anzahl der zu übermittelnden Telegramme ab.
- Die Informationen des nächsten Streckenabschnitts müssen vor dem einzufahrenden Streckenabschnitt bekannt sein.
- Duplizierte Dateninhalte werden mit der Variable M\_DUP angekündigt.
- Balisengruppen besitzen eine eindeutige Identität, bestehend aus Werten von Ländern und Regionskennung, die in der Variable NID\_C gespeichert sind.
- Balisengruppen besitzen eine Identitätsnummer. (Variable NID\_BG)
- Die Anzahl der Eurobalisen in der Gruppe ist in der Variable N\_TOTAL gespeichert.
- Die Position der Eurobalisen in der Gruppe ist in der Variable N\_PIG bekannt.
- Die Fahrtrichtungsinformation wird aus mehreren Eurobalisen durch die Variable Q\_DIR bestimmt.
- Die Verlegung von Eurobalisen in Weichen ist nicht gestattet.
- 5 m vor und nach Bahnübergängen dürfen keine Eurobalisen verlegt werden.
- Im Bereich von Schleifen an Bahnübergängen dürfen keine Eurobalisen angeordnet werden.
- Bei Radien kleiner als 180m ist keine Balisenverlegung möglich
- Eine LEU kann höchstens zwei Eurobalisen ansteuern. Da eine Balisengruppe aus bis zu acht Eurobalisen bestehen kann, dürfen die LEUs kaskadiert werden.
- Damit ein Fahrzeug in den nächsten Streckenabschnitt einfahren darf, muss es vorher die Streckeneigenschaften kennen.
- Der kleinste Abstand zwischen zwei Standard Eurobalisen ist in Subset 036 definiert und kann aus folgenden Diagrammen hergeleitet werden:

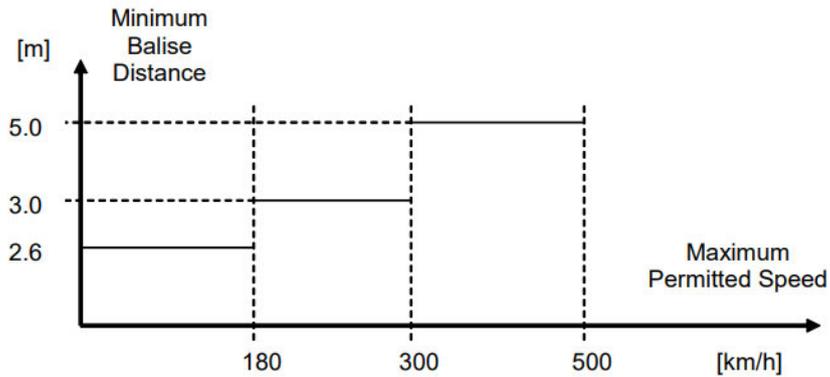


Abbildung 14 Mindestabstand von Eurobalisen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit (UNISIG 2015a)

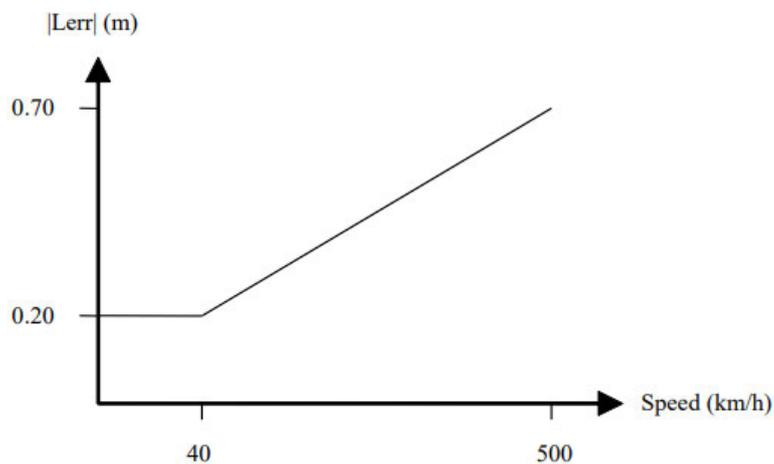


Abbildung 15 Toleranzfaktor der Eurobalisen Position in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit (UNISIG 2015a)

Die Abbildung 14 beschreibt den Mindestabstand zwischen zwei Eurobalisen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und die Abbildung 15 definiert einen Toleranzfaktor für die Balisenposition, ebenfalls in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit. Daraufhin können die Anforderungen an den Mindestabstand zwischen zwei Eurobalisen aus der Spezifikationen der (UNISIG 2015a) mit folgender Formel zusammenfassend beschrieben werden, wobei  $v$  die geplante Geschwindigkeit in dem Streckenabschnitt ist:

$$d_{min} = 2.6 \text{ m} + 0.2 \text{ s} * v \quad [1]$$

- Die Bezugsposition der Balisengruppe wird durch das Setzen der Variable N\_PIG=0 in erster Eurobalise gekennzeichnet. Daraus werden die Abstände zu den anderen Balisengruppen abgeleitet. Die Hodometrie-Ungenauigkeit wird durch die Variable Q\_LOCACC angepasst. In dieser Variable wird angegeben, wie groß die Abweichung der Distanz bis zu der erwarteten Balisengruppe sein darf.
- Die Balisengruppen werden durch das Paket 5 (Linking) angekündigt. Das Prinzip der Verkettung basiert auf der Ankündigung von Balisengruppen in einem vorgegebenen Abstands-Erwartungsfenster. Zur Verdeutlichung dessen werden zwei Verkettungsarten in Abbildung 16 dargestellt.

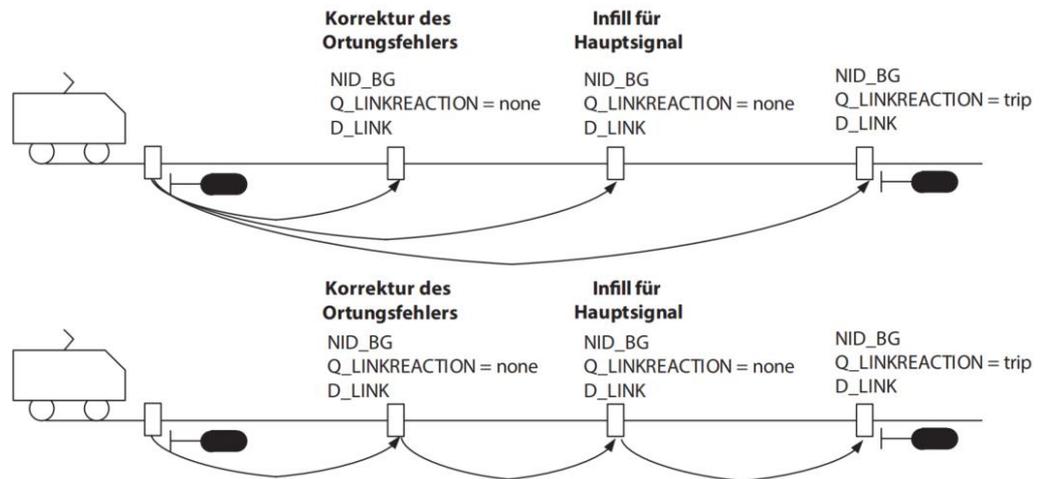


Abbildung 16 Prinzip Verketzung von Balisengruppen (Schnieder 2020)

Die Verketzung von Eurobalisen dient drei Zwecken (Schnieder 2020):

- 1) Fehleroffenbarung: Wenn die angekündigte Balisengruppe nicht in dem Abstands-Erwartungsfenster ausgelesen wird, kann eine Reaktion einprogrammiert werden, wie z.B. Zwangsbremmung.
  - 2) Korrektur des Ortungsfehlers: Durch das Überfahren von Fixpunkten kann die Position des Fahrzeugs korrigiert werden.
  - 3) Bestimmung der Fahrrichtung zu einer Einzelbalise.
- In dieser Thesis werden die Symbole für die Eurobalisen gemäß Ril 819.9002, wie in der Abbildung 17 zu sehen ist, dargestellt.

Bedeutung	Symbol
Datenpunkt als Einzelbalise, ungesteuert	
Datenpunkt als Balisengruppe, ungesteuert	
Datenpunkt als Einzelbalise, gesteuert	
Datenpunkt als Balisengruppe, gesteuert	

Abbildung 17 Verwendete Symbole für die Eurobalisen (Trinckauf et al. 2020)

- Ne 14 - ETCS Halt-tafel (ETCS Stop marker) und Blockkennzeichen (ETCS Location Marker Board)

In der Abbildung 18 ist die Ne 14 (ETCS Halt-Tafel) und das Blockkennzeichen (ETCS Location Marker Board) dargestellt.

Die Ne 14, ortsfest am Hauptsignal angebracht, handelt es sich um ein Haltesignal für Züge in der Betriebsart SR. Die alleinstehende Ne 14 bedeutet „Halt“ für Züge, die weder in der Betriebsart FS noch in OS verkehren. Gleichzeitig verbietet es Kleinwagenfahrten und Fahrten in der Betriebsart SH ohne den Befehl des Fahrdienstleiters.

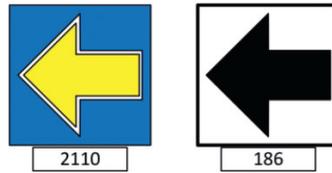


Abbildung 18 ETCS Halt-Tafel (Ne 14) (links) und Blockkennzeichen (ETCS Location Marker Board) (rechts)  
nach (Trinckauf et al. 2020)

Im Signalbuch (Richtlinie 301) wird das Blockkennzeichen als Orientierungszeichen behandelt. Das hat die Funktion den Triebfahrzeugführer über die Bezeichnung der aktuellen Blockstelle zu informieren. Sie werden auf Blockstellen aufgestellt, die nicht durch den Standort eines Hauptsignals oder ETCS-Halt-Tafel (Ne 14) gekennzeichnet sind. Aus diesem Grund gilt das Blockkennzeichen nur für anzeigegeführte Züge.

Mit dem Blockkennzeichen ist kein Signalbegriff verbunden und ist aus diesem Grund kein Signal im Sinne der Eisenbahn-Signalordnung.

Die Pfeile der ETCS Halt-Tafel und Blockkennzeichen zeigen in Richtung des Gleises, für welches sie gelten. Die Ziffer unter den Pfeilen kennzeichnet die ETCS-Blockstelle. (Trinckauf et al. 2020)  
(Das beste Lexikon 2021)

Wie oben dargestellt sind verschiedene Regeln für die Balisenverlegung zu beachten. Darüber hinaus müssen auch die dazugehörigen Pakete übermittelt werden. Diese hängen von verschiedenen Betriebsfällen ab. Um ein umfassendes Verständnis darüber zu ermöglichen, wird in den nachfolgenden Kapiteln in allgemeiner Form die Balisenverlegung in Abhängigkeit von den ausgewählten relevanten Betriebsfällen dargestellt.

## 2.6.2 Repositioning

Repositioning wird verwendet, wenn der Fahrweg für ein fahrendes Fahrzeug nicht eindeutig ist. Das wird anhand der nachstehenden Abbildung 19 visualisiert.

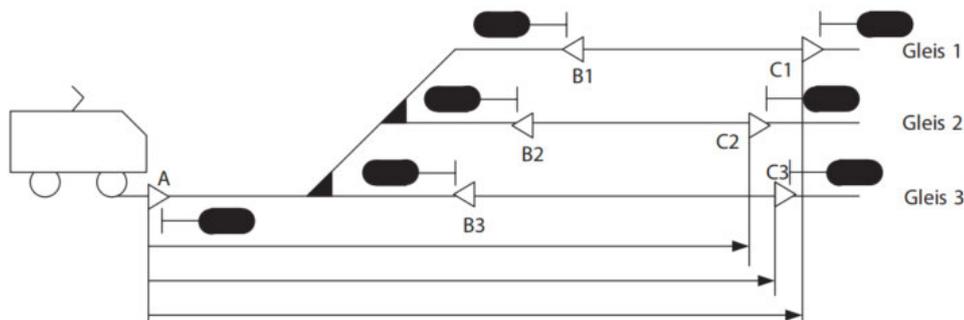


Abbildung 19 Repositioning  
(Schnieder 2020)

Bei Anfahren an Signal A ist der Fahrweg für das Fahrzeug nicht eindeutig. Es sind drei Fahrwege von Signal A Richtung Gleis 1, 2 oder 3 möglich. Jede Fahrstraße kann ein eigenes Geschwindigkeitsprofil besitzen. Für die Projektierung der Eurobalisen werden am Startsignal A immer die restriktivsten Fahrbefehle und Streckeninformationen übertragen.

Die Eurobalisen am Signal A deklarieren die nächste Balisengruppe zuerst als unbekannt und verweisen darauf, dass sie Repositioning-Informationen beinhalten.

In dem übertragenden Verkettungspaket (Paket 5) wird die Distanz zwischen der Balisengruppe A und der nächsten Balisengruppe mit der größtmöglichen Repositioning-Entfernung angegeben. In dem dargestellten Beispiel in Abbildung 19 entspricht das der Balisengruppe B1.

Außerdem wird ein Fahrbefehl auf Basis der kürzesten Strecke und des restriktivsten Geschwindigkeits- und Gradientenprofils an das Fahrzeug übertragen. In dem dargestellten Beispiel in Abbildung 19 sind dies entsprechend die Informationen von C2.

Bei Überfahren einer der Eurobalisen B1, B2 oder B3 übermitteln sie die Verkettungsinformationen zusammen mit den Streckeneigenschaften und eine aktualisierte Fahrerlaubnis mit der Länge von B bis zum Zielsignal C wird erteilt.

Die nächste Abbildung 20 stellt eine mögliche Eurobalisen- sowie Paket-Anordnung für Repositioning dar. Angenommen wird, dass das Fahrzeug in Punkt A startet und in ETCS Level 1 in der Betriebsart Full Supervision verkehrt. Die zu implementierenden Pakete auf den möglichen Fahrwegen von Signal A in Richtung C1, C2 oder C3 sind identisch, nur die enthaltenen Variablenwerte sind teilweise unterschiedlich.

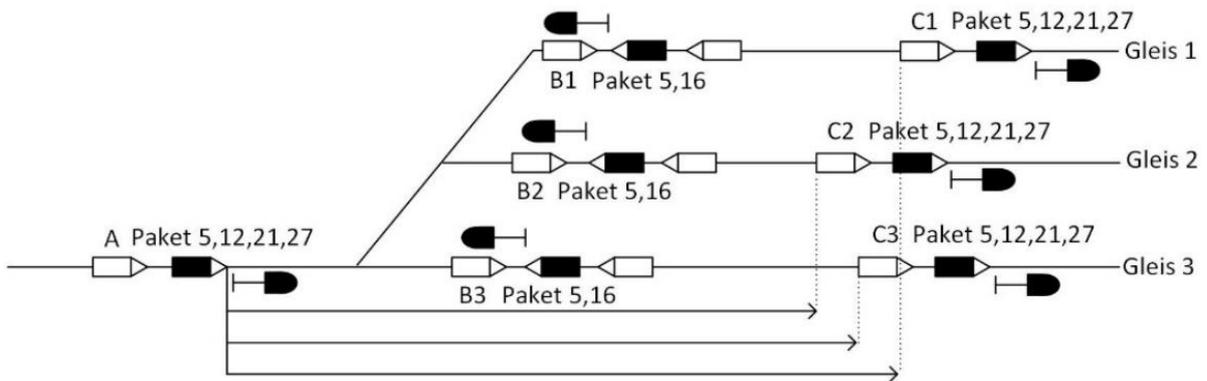


Abbildung 20 notwendige Pakete für unbekanntem Fahrweg nach (SBB CFF FFS 2016b)

Bei Überfahren des Signals A muss eine neue Fahrerlaubnis (Paket 12) übermittelt werden. Diese muss die restriktivste statische Geschwindigkeit sowie die restriktivste Schienen-Neigung der möglichen Fahrwege C1, C2 oder C3 (Paket 27, 21) enthalten. Die Verkettung zur nächsten Balisengruppe (Paket 5) wird als unbekannt gekennzeichnet. (Schnieder 2020) (SBB CFF FFS 2016b) (SBB CFF FFS 2016a)

In den B-Punkten wird die Repositionierungsinformation (Paket 16) und die nächste Balisengruppe mit dem Paket 5 angekündigt. Die C-Balisengruppen übermitteln eine gültige Fahrerlaubnis mit dem Paket 12, das Neigungsprofil und das statische Geschwindigkeitsprofil (Paket 21 und 27) für den Abschnitt und gegebenenfalls die Verkettung zur nächsten Balisengruppe mit dem Paket 5.

### 2.6.3 Bahnübergänge

Die Implementierung von Eurobalisen bei der Sicherung von Bahnübergängen mit Hauptsignaldeckung erfolgt analog zu einer Fahrt zwischen Vor- und Hauptsignalen. Dabei erhält der Zug am Vorsignal eine Fahrerlaubnis zur Weiterfahrt oder zum Halt am Hauptsignal. (Trinckauf et al. 2020)

In der Überwachungsart „Fernüberwachung“ wird die Einfahrt des Zuges in den Bahnübergang durch das ETCS nicht technisch gesichert, da keine Verbindung zum Stellwerk vorhanden ist. Dabei hat der Zug bei ungesichertem Bahnübergang davor anzuhalten.

Im Folgenden wird die Sicherung von Bahnübergängen mit einem Überwachungssignal (ÜS) behandelt, da diese den Bahnübergangszustand mit den Begriffen BÜ 0 (nicht gesichert) und BÜ 1 (gesichert) anzeigen und dadurch mit dem ETCS abgesichert werden kann.

Die Sicherung des Bahnübergangs mit dem ETCS erfolgt mittels gesteuerter Langsamfahrstelle wie in der Abbildung 21 projiziert ist.

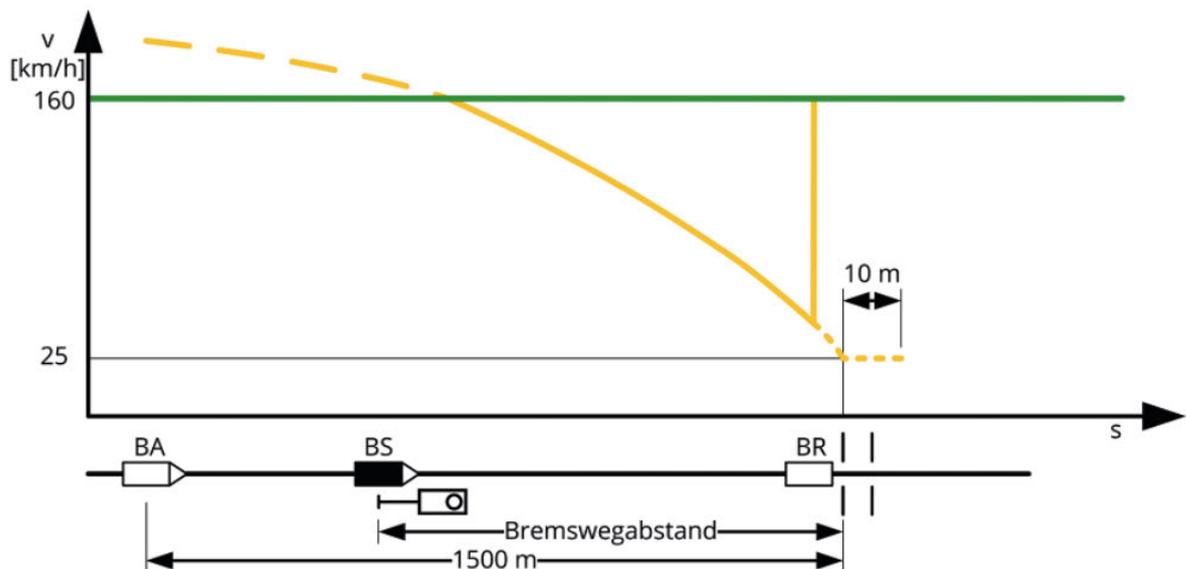


Abbildung 21 Sicherung von Bahnübergang mit Fernüberwachung (Trinckauf et al. 2020)

Im diesem Beispiel wurde eine Langsamfahrstelle von 10 m und eine überwachte Geschwindigkeit von 25km/h angenommen. Die Festdatenbalisen BA sind 1500 m vor dem BÜ und kündigen eine Langsamfahrstelle an das Fahrzeug an. Die steuerbaren Eurobalisen BS sind zuständig für die Übertragung des Sicherungszustandes des Bahnübergangs. Wenn der Bahnübergang gesichert ist, hebt die Balisengruppe BS die Langsamfahrstelle auf, sonst übermittelt sie ein Leertelegamm. Die Balisengruppe BR vor dem Bahnübergang hebt den Befehl der Langsamfahrstelle auf. (Trinckauf et al. 2020)

Die Balisenverlegung kann wie in folgender Abbildung 22 implementiert werden.

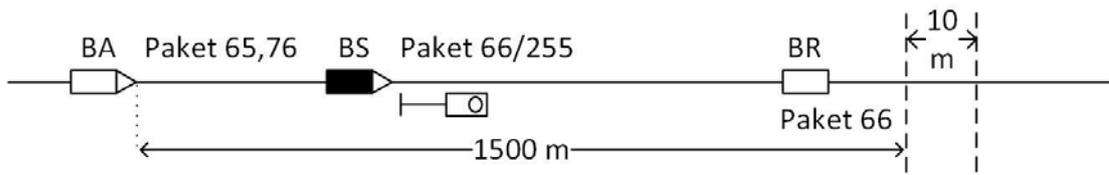


Abbildung 22 Balisenverlegung für den Bahnübergang mittels Langsamfahrstelle nach (Schnieder 2020) (Trinckauf et al. 2020) (SBB CFF FFS 2016b)

Die Balisengruppe BA kann neben der Ankündigung der Langsamfahrstelle (Paket 65) zusätzlich eine Information an den Triebfahrzeugführer senden über den Zustand des Bahnübergangs (Paket 76). Paket 76 ist das Paket zum Übertragen von Textmeldungen, welches den Triebfahrzeugführer beispielsweise darüber informiert, ob ein BÜ beschädigt ist. Die steuerbare Balisengruppe BS kann die Langsamfahrstelle mit dem Paket 66 (Aufheben temporäre Langsamfahrstelle) aufheben oder ein Leertelegamm mit dem Paket 255 (Telegrammenkennung) senden. Die Eurobalise BR hebt die Langsamfahrstelle mit dem Paket 66 auf.

#### 2.6.4 Sperrsignal für Rangierfahrten und Zugdeckungssignale

Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Implementierung von Eurobalisen an den Sperrsignalen für Rangierfahrten und Zugdeckungssignalen mit ETCS. Nachfolgend wurde eine Variante aus verschiedenen Literaturen zusammengesetzt und in der Abbildung 23 dargestellt.

Nachfolgend wird eine Variante aus der konsultierten Literatur zusammengesetzt und in der

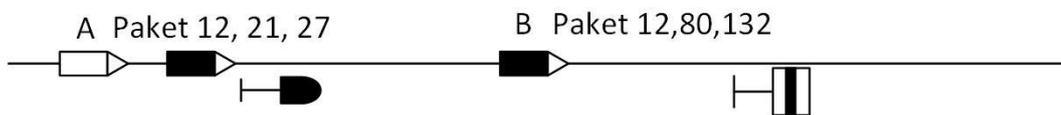


Abbildung 23 Sperrsignal für Rangierfahrten und Zugdeckungssignale angelehnt an (Schnieder 2020) (ERA 2016a) (Trinckauf et al. 2020) (ERA 2016b) (SBB CFF FFS 2016b)

Am Signal A erhält das Fahrzeug eine gültige Fahrerlaubnis bis Balisengruppe B zusammen mit den Streckendaten. Die Balisengruppe B markiert das Ende der Fahrerlaubnis mit dem Paket 12 und überträgt das Betriebsartprofil SH für die Rangierfahrten mit dem Paket 80. Mit dem Paket 132 (Halt für Rangierbewegung) wird bei Halt zeigenden Rangiersignal das nicht erlaubte Rangieren überwacht.

Folgend werden die Prinzipien und die Vorgehensweise von Levelwechsel (auch Übergänge/Transitionen genannt) anhand von Beispielen aus der Literatur präsentiert.

#### 2.6.5 Übergang von ETCS 0 oder NTC in das ETCS Level 1

In diesem Beispiel erfolgt ein ETCS-Levelwechsel von Ausrüstungsstufe 0 zur Ausrüstungsstufe 1. Der ETCS Levelwechsellvorgang kann in folgenden Schritten beschrieben werden:

Die erste Balisengruppe kündigt den Levelwechsel an das Fahrzeug an. Dafür wird das Paket 41 (Level Transition Order), in der Abbildung 24 dargestellt, an die Fahrzeugantenne übermittelt. Zu diesem Zeitpunkt gilt noch die für diesen Abschnitt vorgesehene Geschwindigkeit.

<b>Description</b>	Packet to identify where a level transition shall take place. In case of mixed levels, the successive M_LEVELTR's go from the highest priority level to the lowest one.		
<b>Transmitted by</b>	Any		
<b>Content</b>	<b>Variable</b>	<b>Length</b>	<b>Comment</b>
	NID_PACKET	8	
	Q_DIR	2	
	L_PACKET	13	
	Q_SCALE	2	
	D_LEVELTR	15	
	M_LEVELTR	3	
	NID_NTC	8	If M_LEVELTR = 1 (NTC)
	L_ACKLEVELTR	15	
	N_ITER	5	
	M_LEVELTR(k)	3	
	NID_NTC(k)	8	If M_LEVELTR(k) = 1 (NTC)
	L_ACKLEVELTR(k)	15	

Abbildung 24 Paket 41 Level Transition Order (ERA 2016c)

Das Paket enthält relevante Variablen mit Informationen für den Levelwechsel wie zum Beispiel die Paketidentifikation (NID\_PACKET), die Skalierung der Abstände 1 m, 10 m usw. (Q\_SCALE), der Abstand bis zum Levelwechsel (D\_LEVELTR) und das erwartete Ausrüstungslevel im nächsten Streckenabschnitt (M\_LEVELTR). Nach der Auswertung der Daten wird der Übergang in das ETCS Level 1 dem Fahrzeugführer in seiner Führerstandsanzeige signalisiert. (Schnieder 2020) (ERA 2016c) (ERA 2016d)

Die zweite Balisengruppe übermittelt den Befehl zum Levelwechsel zusammen mit einer Fahrterlaubnis und den Streckeninformationen wie die zulässige Geschwindigkeit und das Gradientenprofil.

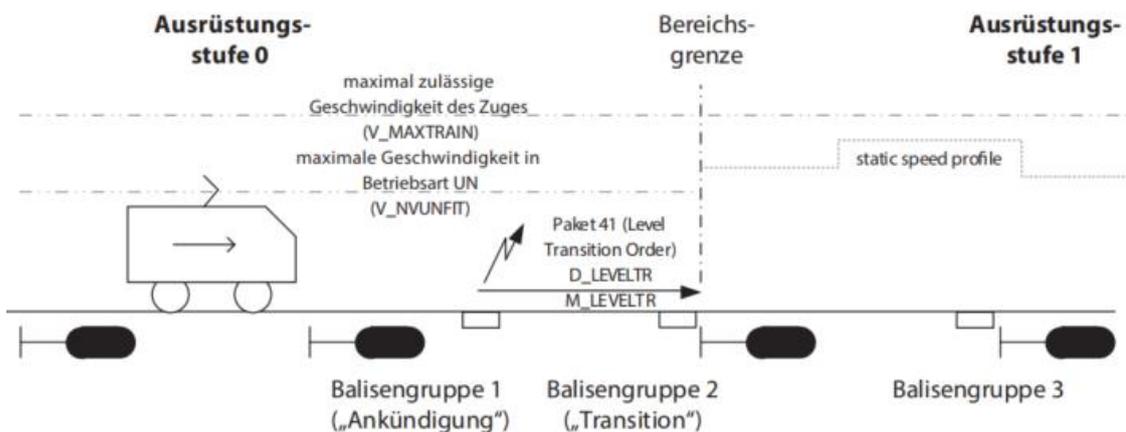


Abbildung 25 Levelwechsel von Ausrüstungsstufe 0 zur Ausrüstungsstufe 1 (Schnieder 2020)

Die Balisengruppe 3 kann neue Informationen an das Fahrzeug übermitteln, die die Fahrterlaubnis auslöschen oder verlängern.

Anhand der vorherigen Abbildung 25 wurde allgemein die Vorgehensweise der Levelwechsel von ETCS Level 0 in ETCS Level 1 dargestellt. Im Folgenden wird der Levelwechsel von NTC in das ETCS Level 1 in der Abbildung 26 dargestellt. Der Unterschied zwischen dem Levelwechsel ETCS Level 0 und NTC in das ETCS Level 1 liegt daran, dass der Levelwechsel von Level NTC ins ETCS Level 1 im Gegensatz zu ETCS Level 0 eine Bestätigung des Levelwechsels durch den Triebfahrzeugführer benötigt. (Schnieder 2020) (DB Netze 2014) (Adler 1981)

Untenstehend ist ein Diagramm mit den zu übermittelnden Telegrammen dargestellt.

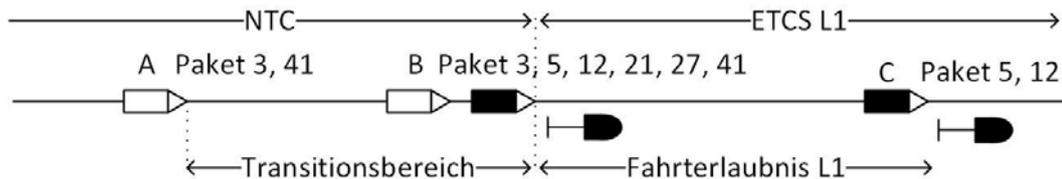


Abbildung 26 Diagramm zu Levelwechsel von NTC ins ETCS Level 1 nach (SBB CFF FFS 2016a) und (SBB CFF FFS 2016b)

Die Balisengruppe A überträgt das Paket 3 mit den gültigen nationalen Werten und kündigt mit dem Paket 41 den Levelwechsel in Punkt B an. Im Transitionsbereich zwischen Balisengruppen A und B fährt das Fahrzeug im Modus NTC. Beim Erreichen der Balisengruppe B wird Paket 3 aus Redundanzgründen erneut gesendet, sowie der Levelwechselbefehl (Paket 41), das internationale statische Geschwindigkeitsprofil (Paket 27), das Neigungsprofil (Paket 21), Fahrterlaubnis Level 1 (Paket 12) und die Verketten der Balisengruppe. Ab Punkt B verkehrt das Fahrzeug in ETCS Level 1

### 2.6.6 Übergang von ETCS 2 in das ETCS Level NTC

Der Levelwechsel von ETCS Level 2 in ein nationales Zugbeeinflussungssystem (NTC) wird schrittweise eingegangen.

Im Ausgangspunkt wird der Zug im ETCS Level 2 geführt und das Specific Transmission Module (STM) ist im Betrieb „Cold Standby“ (CS). Eine Eurobalise übermittelt an das Fahrzeuggerät den Befehl das STM zu aktivieren. Diese Information wird dem Triebfahrzeugführer auf der Führerstandsanzeige signalisiert. (UNISIG 2015b)

Spätestens 10 Sekunden nach dem Überfahren der Ankündigungsbalise muss das STM von der Betriebsart „Cold Standby“ zu „Hot Standby“ (HS) wechseln. Im HS Modus ist das STM aktiv und kann Daten mit der NTC Ausrüstung austauschen. Diese Informationen werden an das Fahrzeuggerät übermittelt. Darüber hinaus erlangt das STM Zugriffsrechte auf die Schnittstelle zur Fahrzeugsteuerung, wie zum Beispiel das Bremssystem. Trifft die Betriebsart HS in diesem Zeitfenster nicht ein, wird es als fehlerhaft betrachtet. (Schnieder 2020) (ERA 2016c) (ERA 2016d)

Das ETCS-Fahrzeuggerät erhält vom STM die Streckenparameter, wie Höchstgeschwindigkeit bei der Transition, Gradienten Profil und Abstand bis zum Levelwechsel. Bei Erreichen der Transitionschranke schaltet sich das STM in den „Data Available“ (DA) Modus. (Schnieder 2020) (ERA 2016c) (ERA 2016d)

Nach einem definierten Abstand vor dem Levelwechsel muss der Triebfahrzeugführer die Transition quittieren. Erfolgt keine Quittierung bis zu 5 Sekunden nach der Transitionschranke, führt das ETCS eine Betriebsbremsung aus. (Schnieder 2020)

Die Schritte des Levelwechsels von Ausrüstungsstufe 2 in die Ausrüstungsstufe NTC sind in der Abbildung 27 dargestellt.

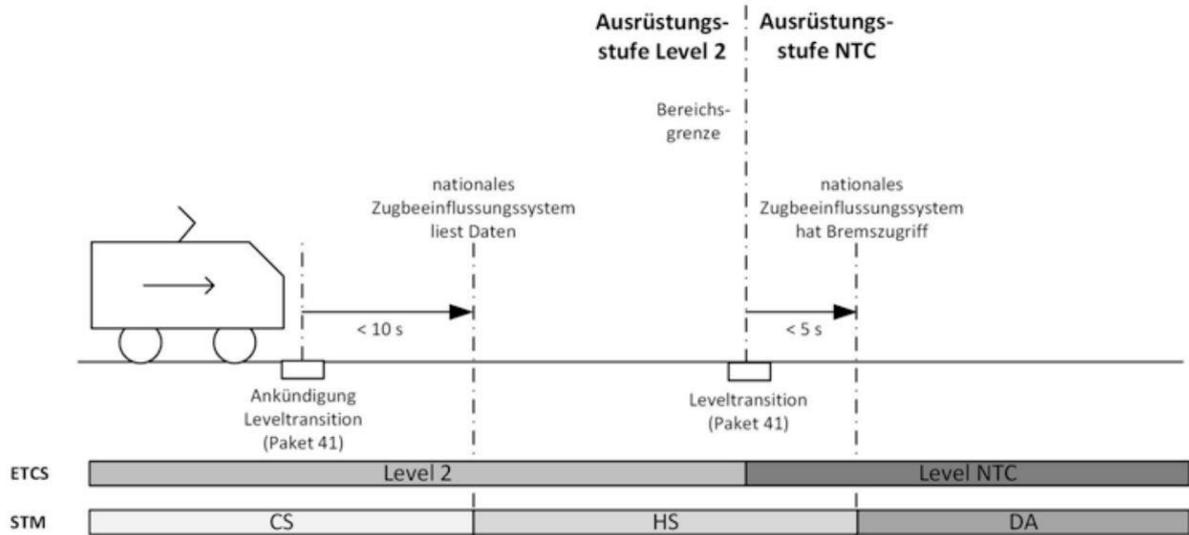


Abbildung 27 Levelwechsel von Ausrüstungsstufe 2 in die Ausrüstungsstufe NTC (Schnieder 2020)

Das Fahrzeug wird in Level NTC geführt, bis es in einen neuen Abschnitt mit einer anderen Ausrüstungsstufe einfährt.

In Abbildung 28 werden die benötigten Pakete für diesen Levelwechsel dargestellt.

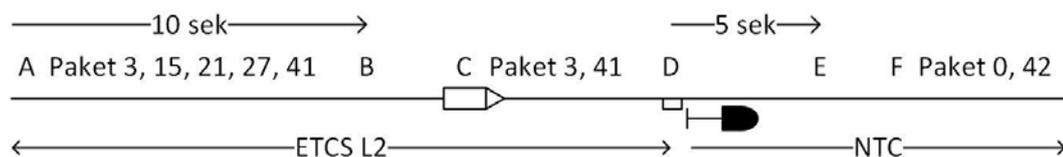


Abbildung 28 Levelwechsel ETCS Level 2 zu NTC nach (Schnieder 2020) (ERA 2016a) (ERA 2016b)

Im Punkt A kündigt der RBC den Levelwechsel mit dem Paket 41 an und überträgt eine gültige Fahrerlaubnis Level 2/3 mit den Paket 15. Außerdem werden die nationalen Werte sowie die Streckendaten des nächsten Streckenabschnitts mit den Paketen 3, 21 und 27 übermittelt. Der Triebfahrzeugführer hat 10 Sekunden, zwischen Punkte A und B, um den Levelwechsel zu bestätigen. Der Punkt C übermittelt erneut das Paket 3 und ordnet den Levelwechsel mit den Paket 41 am Grenzsignal im Punkt D an. Nach 5 Sekunden, zwischen Punkte D und E, muss der Triebfahrzeugführer den Levelwechsel bestätigen. Sobald das gesamte Fahrzeug den Bereich des Ausrüstungslevel 2 verlassen hat, sendet es das Paket 0 eine Positionsmeldung (Position Report) an das RBC. Daraufhin sendet das RBC das Paket 42 Sitzungsmanagement (Session Management) an das Fahrzeug, um die Verbindung mit der Streckenzentrale zu trennen.

### 2.6.7 Übergang von ETCS 2 in das ETCS Level 1

Der Levelwechsel von ETCS Level 2 in das ETCS Level 1 wird anhand der Abbildung 29 erläutert.

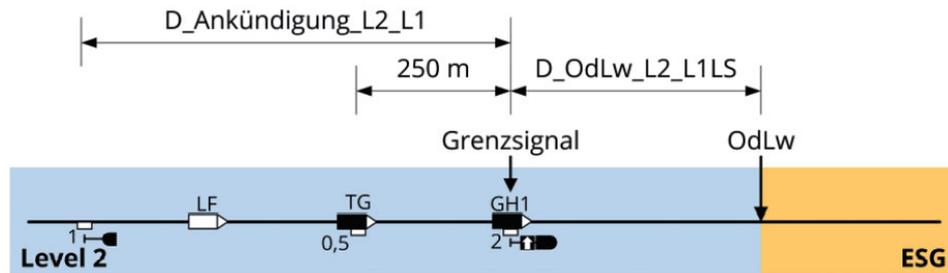


Abbildung 29 Levelwechsel von ETCS Level 2 in ETCS Level 1 (Trinckauf et al. 2020)

Sobald das Fahrzeug das Ausrüstungslevel Level 2 verlässt, kündigt das RBC den Levelwechsel im Abstand „D\_Ankündigung\_L2\_L1“ vor dem Grenzsignal mit dem Paket 41 an. Dabei wird der Ort des Levelwechsels (OdLw) D\_OdLW\_L2\_L1LS 100 m hinter dem Grenzsignal definiert.

Die Balisengruppe TG wird 250 m vor dem Grenzsignal verlegt. Diese übertragen eine gültige Fahrerlaubnis Level 1 (Paket 12) in Abhängigkeit des aktuellen Signalbegriffs, sowie die Aufforderung zum Levelwechsel (Paket 41), die nationalen Werte (Paket 3), Neigungsprofil (Paket 21) und Geschwindigkeitsprofil (Paket 27). Am Signal GH1 können zusätzliche Pakete beispielsweise Paket 137 (Stop if in Staff Responsible) übertragen werden.

Die obige Darstellung für den Levelwechsel sieht Aufwertebalisen (Datenpunkt TG) vor. Für den Fall, dass keine Aufwertebalisen vorgesehen sind, wird in der Abbildung 30 eine Variante ohne Aufwertebalisen dargestellt.

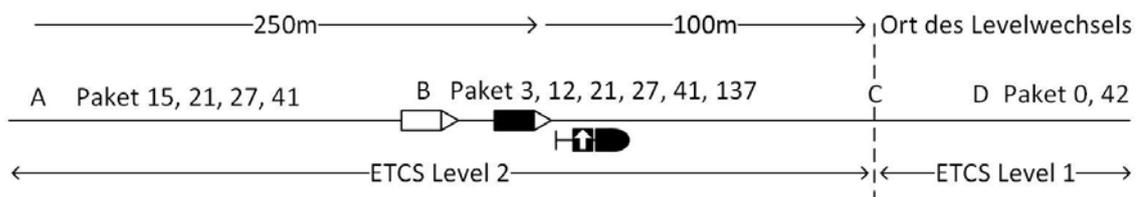


Abbildung 30 Projektion Levelwechsel von ETCS Level 2 in ETCS Level 1 ohne Aufwertebalisen nach (Schnieder 2020) (Trinckauf et al. 2020) (ERA 2016b)

Im Punkt A, 250 m vor dem Grenzsignal, werden die benötigten Pakete für die Fahrt in ETCS Level 2 an das Fahrzeug übermittelt. Zusätzlich wird der Levelwechsel an dem Grenzsignal mit dem Paket 41 angekündigt. Bei Überfahrt über das Grenzsignal am Punkt B werden die Streckendaten des folgenden Streckenabschnitts zusammen mit einer Fahrerlaubnis Level 1 mit dem Paket 12 und der Befehl des Levelwechsels an Punkt C, 100 m hinter dem Grenzsignal, mit dem Paket 41 übermittelt. Optional kann das Paket 137 (Stop if in Staff Responsible) übermittelt werden, um eine unerlaubte Weiterfahrt in dieser Betriebsart zu verhindern.

Im Punkt D, sobald das gesamte Fahrzeug den Bereich des Ausrüstungslevels 2 verlassen hat, sendet es das Paket 0 Positionsmeldung (Position report) an das RBC. Daraufhin sendet das RBC das Paket 42 Sitzungsmanagement (Session Management) an das Fahrzeug, um die Verbindung mit der Streckenzentrale zu trennen.

## 2.7 Stellwerke im Zusammenhang mit ETCS

### 2.7.1 Allgemeines

Im Kapitel 2.4 wurde gezeigt, dass die ETCS Komponenten sowohl über standardisierte als auch nicht standardisierte elektronische Komponenten und Schnittstellen, wie die LEU, verfügen.

Die Eurobalisen können mit festen oder mit dynamischen Daten programmiert werden. Letzteres muss von einem geeigneten Rechner in Echtzeit erzeugt und an die Balisen weitergeleitet werden.

Der erste Schritt für die Aufrüstung eines Betriebes auf ein ETCS Zugbeeinflussungssystem, ist die Betrachtung der Funktionalitäten und Erweiterungsmöglichkeiten des vorhandenen Stellwerks. In den nächsten Kapiteln wird über den Zusammenhang von verschiedenen Stellwerkstechniken mit den ETCS Komponenten eingegangen.

### 2.7.2 Relaisstellwerk (RSTW)

Ein Relaisstellwerk (RSTW) ist vergleichbar mit einem Field Programmable Gate Array (FPGA), der in der Lage ist logische Verknüpfungen durchzuführen.

Trotz verschiedenen Herstellern und RSTW Bauarten, wie die Dr S 57, die Sp Dr S 59 und die GS III Sp 68, arbeiten alle RSTW mit dem gleichen Prinzip indem die sicherungstechnischen Abhängigkeiten elektrisch über Relaisschaltungen realisiert werden.

Der Stellbereich der Fahrwegelemente wird auf einer ebenen Bedieneroberfläche dargestellt. Darauf werden die Betriebszustände der Bahnanlage in unterschiedlichen Leuchtmeldern abgebildet. Die Bedienungselemente (beispielweise Drucktasten oder Zugtasten) sind auf dem Gleisbild platziert wie die zugehörigen Einrichtungen in der Außenanlage. In der Abbildung 31 wird eine Bedieneroberfläche von der Bauform Sp Dr S 60 dargestellt.

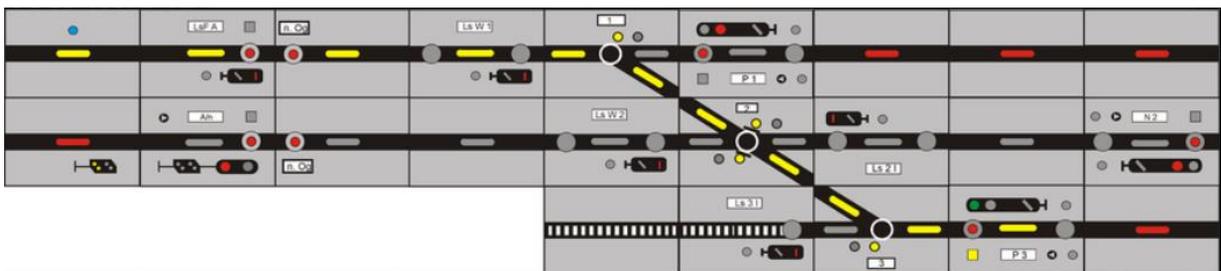


Abbildung 31 Stelltafel-Ausschnitt eines Stellwerkes der Bauform Sp Dr S 60 (Maschek 1996)

Nach der Bedienung der Anlage in der Bedienungsfläche werden die Fahrwegelemente der Außenanlage elektrisch angesteuert. Aufgrund dieser Steuerungsart mit Kupferkabelverbindungen liegt die Stellentfernung bei ca. 6,5 km.

Aufgrund der fehlenden Recheneinheit für die Erzeugung von komplexen Signalen und Telegrammen, kann ein Relaisstellwerk nicht verwendet werden, um Eurobalisen direkt zu steuern.

Dennoch ist der Einsatz von Relaisstellwerk im Zusammenhang mit dem ETCS Zugbeeinflussungssystem durch die Verwendung von LEUs möglich.

Diese Stellwerkbauart ist eine alte Technik, die durch neue Stellwerkvarianten wie ESTW und DSTW ersetzt wird.

### 2.7.3 Elektronisches Stellwerk (ESTW)

Ein elektronisches Stellwerk (ESTW) ist die Weiterentwicklung des Relaisstellwerks. Der Funktionsumfang beider Stellwerke ist nachverwandt. Elektronische Stellwerke sind rechnergesteuert und die Stellwerklogik wird im Gegensatz zu Relaisstellwerk durch Software realisiert.

Die Rechner können mittels Bussysteme vernetzt werden. Dadurch ist die Entfernung, zwischen den zu stellenden elektrischen Elementen und dem Stellwerk nicht mehr von Übertragungsmedien begrenzt. Somit ermöglicht diese Architektur eine höhere Zentralisierung der Sicherung und Steuerung ebenso wie einen größeren Stellwerksbereich des Stellwerks. (Adler 1981)

Die Schnittstellen von elektronischen Stellwerken sind nicht standardisiert und herstellerspezifisch. Ein typischer ESTW Aufbau kann aus der Abbildung 32 entnommen werden.

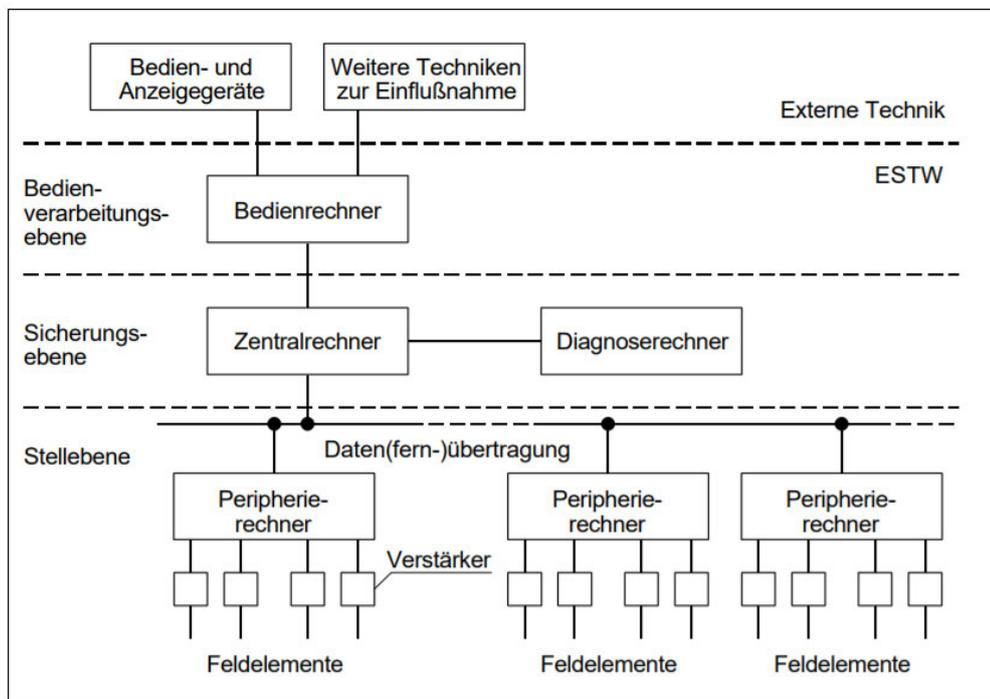


Abbildung 32 Typische Struktur eines ESTW (Maschek 1996)

Die Abbildung 32 stellt das „Drei-Ebenen-Modell“ dar. Die Aufgaben der Ebenen können in folgende Aufgabenschwerpunkte unterteilt werden: Bedienungsverarbeitung, Sicherungstechnische Verknüpfung und Ansteuerung der Feldelemente. (Maschek 1996)

Das interne Sicherheitskonzept von elektronischen Stellwerken wird durch das Redundanzprinzip gewährleistet. Bei diesem Prinzip werden die logischen Verknüpfungen von mehreren unabhängigen Rechnern berechnet. Wie im Abbildung 33 gezeigt.

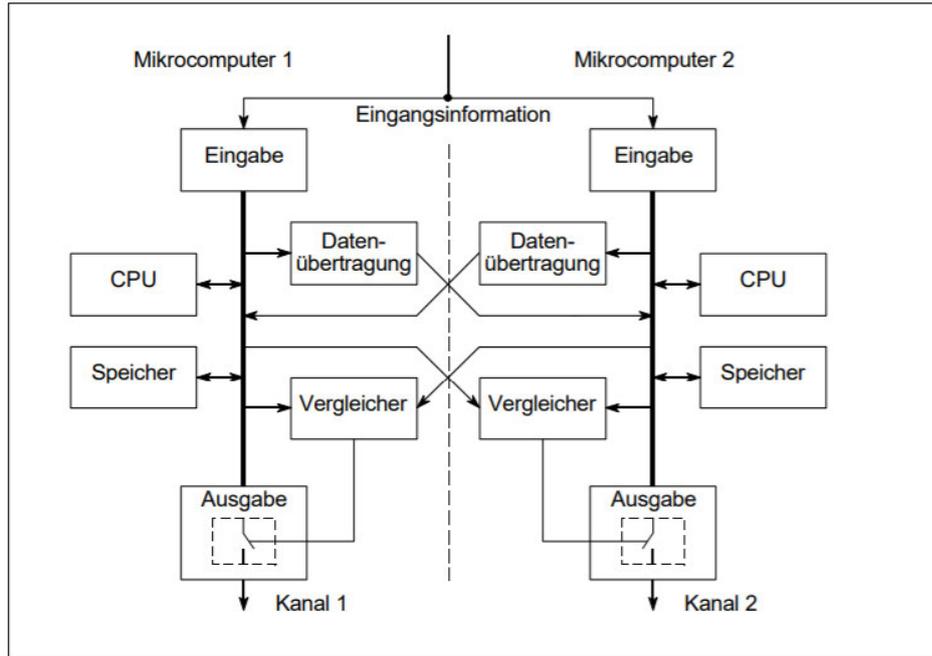


Abbildung 33 Redundanzprinzip bei elektronischen Stellwerken (Maschek 1996)

Nachdem die Eingabedaten von zwei verschiedenen Rechnern verarbeitet wurden, wird das Ergebnis miteinander verglichen. Wenn die Ergebnisse identisch sind, sind sie gültig und werden an die Stellenebene weitergeleitet.

#### 2.7.4 Digitales Stellwerk (DSTW)

Ein Digitales Stellwerk (DSTW) ist ein weiterentwickeltes ESTW. Es verfügt über standardisierte Schnittstellen, was eine herstellerunabhängige direkte Verbindung zwischen dem Stellwerk und jedem zu stellendem Element ermöglicht. Aus diesem Grund kann die Sicherungsanlage in Module geteilt werden, mit dem Stellwerk als Recheneinheit und Fahrweegelementen als Unterelemente. Zu den Fahrweegelementen zählen die Streckenzentrale, Nachbarstellwerk, Bahnübergänge, Bedienplatz, Lichtsignale, Gleisfreimeldeeinrichtung und Weichenantriebe.

Durch die Aufteilung in Modulen können die notwendigen Komponenten für die Erstellung, Erneuerung, Erweiterung oder Instandhaltung von Fahrwegsicherungskomponenten von verschiedenen Anbietern erworben werden. Demzufolge werden die zukünftigen Implementierungen kostengünstiger und dadurch attraktiver.

Die physikalische Kommunikation wird über ein IP basiertes System realisiert und die Stellbefehle werden digital über ein IT-Datenkabel übermittelt.

Außerdem können durch die Verwendung von IT-Kabel statt Kupferkabel für die Datenübermittlung die zu stellenden Komponenten in größeren Entfernungen vom Stellwerk liegen. (DB Netz AG 2019a)

Ein weiterer Vorteil von DSTW gegenüber ESTW ist die verbesserte Diagnosefähigkeit, welche die zustandsabhängige Instandhaltung erleichtert. Die schnellere Fehlerfindung erhöht somit zusätzlich die Verfügbarkeit der Anlage.

Die standardisierten Schnittstellen sind wie folgt definiert:

- SCI-RBC (Standard Communication Interface Radio Block Centre): Schnittstelle zur ETCS-Streckenzentrale
- SCI-ILS (Standard Communication Interface Interlocking System): Schnittstelle zum Nachbarstellwerk
- SCI-LX (Standard Communication Interface Level Crossing): Schnittstelle für Bahnübergänge mit Überwachungsart Fahrstraßenüberwachung (FSÜ)
- SCI-CC (Standard Communication Interface Command & Control): Schnittstelle zum Bedienplatz
- SCI-IO (Standard Communication Interface Input/Output): Schnittstelle für universelle digital Ein- und Ausgabesignale
- SCI-LS (Standard Communication Interface Light Signal): Schnittstelle zu Lichtsignalen
- SCI-TDS (Standard Communication Interface Train Detection System): Schnittstelle zur Gleisfreimeldeanlage
- SCI-P (Standard Communication Interface Point): Schnittstelle zur Steuerbaugruppe für Weichenantriebe

Untenstehend in der Abbildung 34 ist die Struktur von einem DSTW mit seinen dazugehörigen Komponenten dargestellt. Wie zu erkennen ist, ist keine standardisierte Schnittstelle für die LEU vorgesehen.

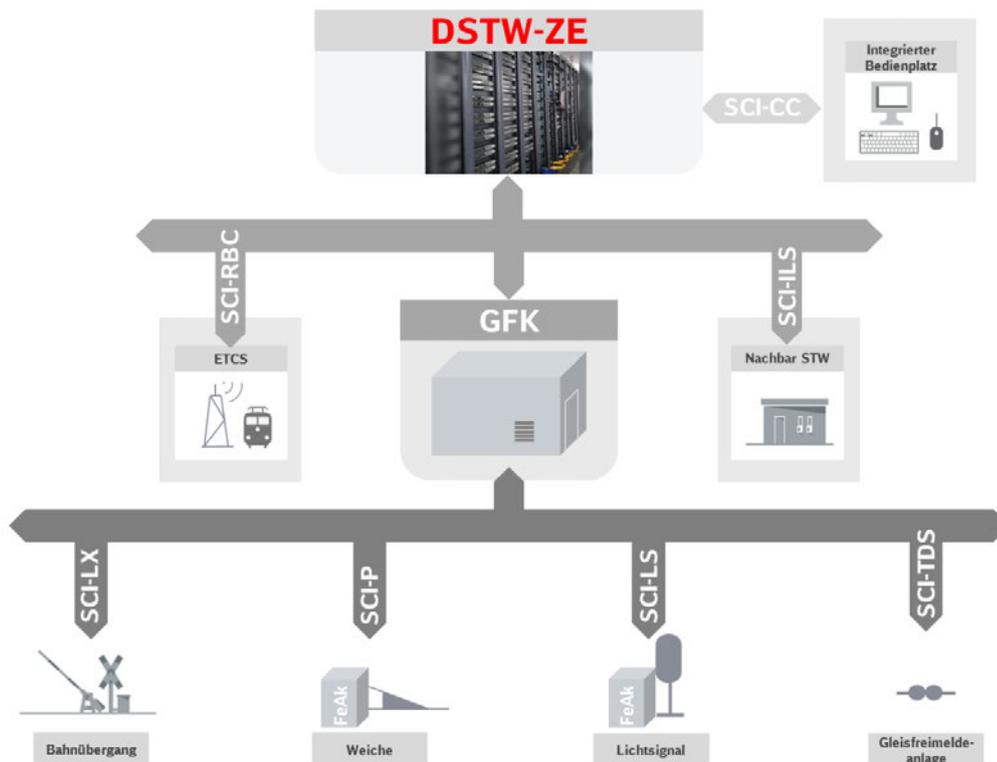


Abbildung 34 Architektur eines digitalen Stellwerks nach (DB Netz AG 2019b)

Aufgrund der nicht vorgesehenen Schnittstelle zwischen Digitalem Stellwerk und den Eurobalisen, muss diese im Rahmen der Projektplanung spezifiziert werden.

### 3 Vorhandene Strategien zur Implementierung der ETCS Ausrüstungsstufe 1 - luxemburgische Lösung

#### 3.1 Vorstellung der luxemburgischen Lösung

Das luxemburgische ETCS Level 1 Implementierungskonzept ist in der konsultierten Literatur stark vertreten und wurden in verschiedenen Veröffentlichungen und Artikel in Fachzeitschriften ausgeführt.

Das gesamte luxemburgische Schienennetz, abgebildet in der Abbildung 35, ist seit dem 20.7.2017 mit ETCS Level 1 ausgerüstet.

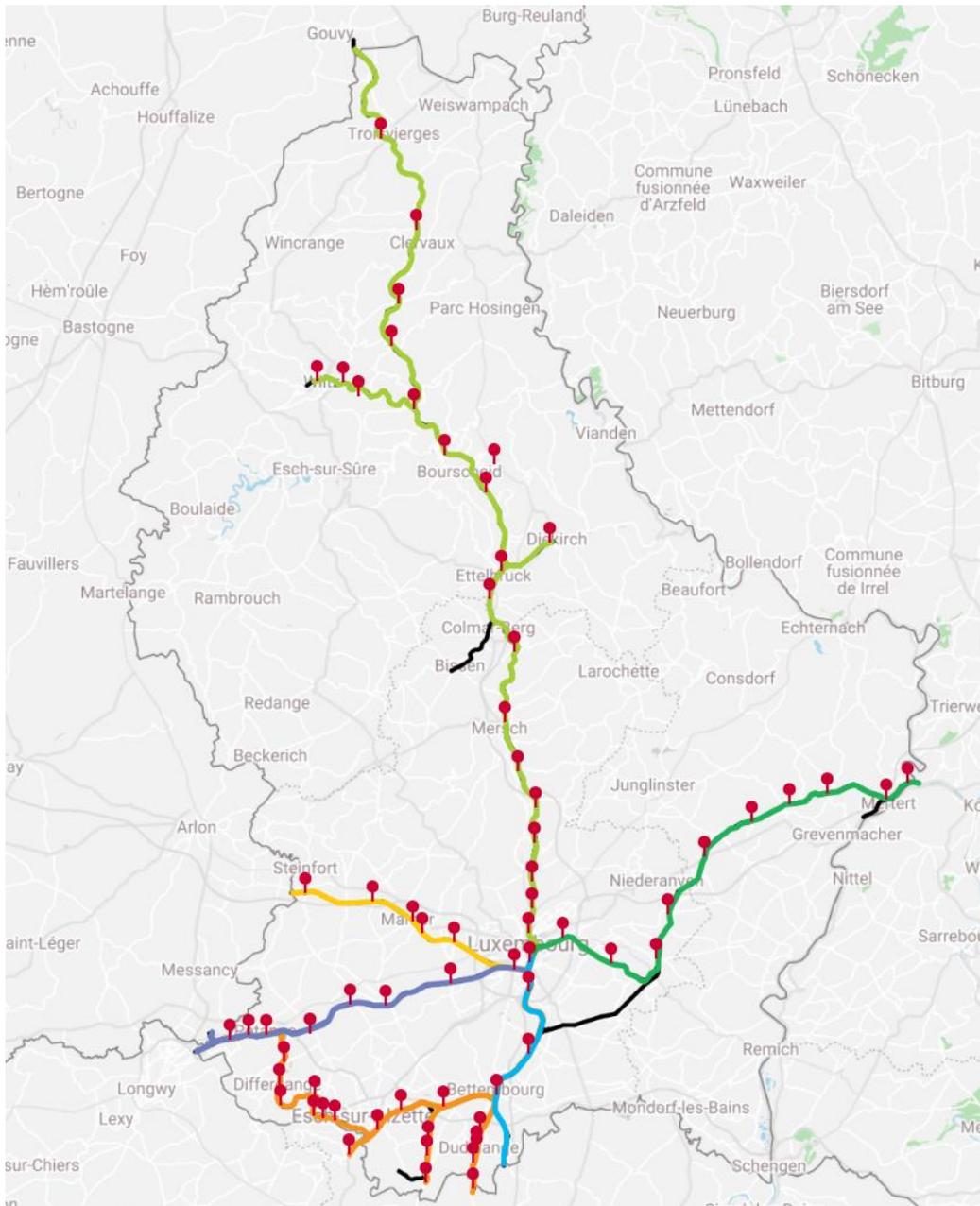


Abbildung 35 CFL Streckennetz  
(CFL 2022)

Auf dem luxemburgischen Schienennetz verkehren sowohl Güterzüge als auch Passagierzüge. Im Jahr 2018 ist die Anzahl der beförderten Passagiere auf knapp 23 Millionen gestiegen. (Muller 2018)

Wie aus der Abbildung 35 zu erkennen ist, weist das betrachtete luxemburgische Schienennetz eine typische „Bahnhof - freie Strecke - Bahnhof“-Struktur auf. Zudem lässt sich aus der beförderten Fahrgastanzahl, Anzahl von Betriebsstationen und Streckenlänge auf einen höheren Zug-Takt schließen.

### 3.2 ETCS Übergangskonzept luxemburgische Lösung

Im Jahr 1999 hat die Luxemburgische Eisenbahngesellschaft CFL entschieden seine Strecken mit ETCS Level 1 FS auszurüsten.

Zunächst haben sie ein Übergangskonzept implementiert, in dem die vorhandenen Vor- und Hauptsignale sowie das Relaisstellwerk im Bestand bleiben. Da keine Eingriffe in die Sicherungstechnik für die Aufrüstung notwendig waren, mit Ausnahme des Signalabgriffs für die LEU, hat die Bahnanlage die gleichen Funktionalitäten wie vor der Maßnahme. Der Unterschied liegt an der Möglichkeit auf Zugfahrten, die entweder in dem nationalen Zugbeeinflussungssystem (Memor II+) oder ETCS stattfinden können.

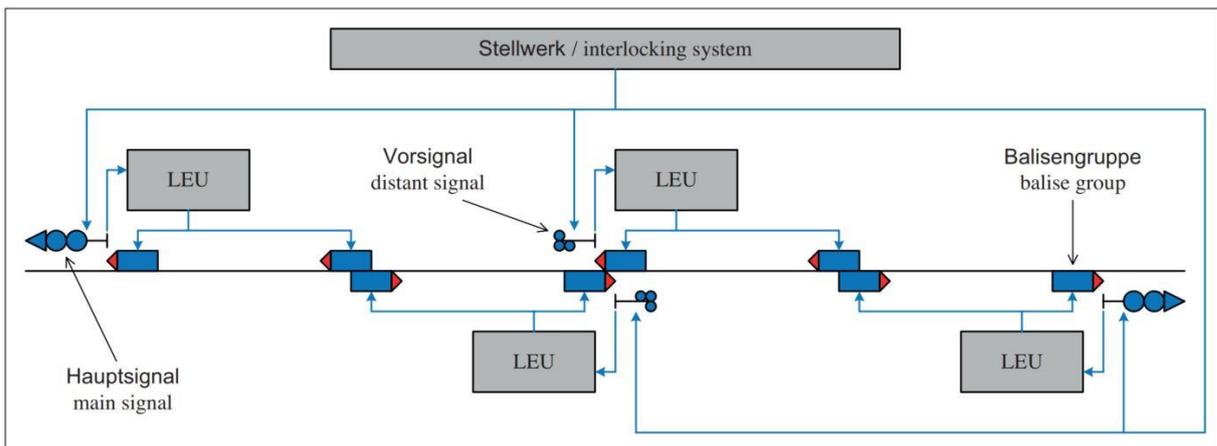


Abbildung 36 ETCS Level 1 – Übergangskonzept luxemburgische Lösung (Arend et al. 2018)

Dieses Konzept war als Übergangslösung implementiert, um die alten Stellwerke mit den ETCS Komponenten zu verbinden (Arend et al. 2018).

Wie aus der Abbildung 36 zu erkennen ist, greifen die LEUs die Fahrbegriffe direkt aus den Lichtsignalen ab und wandeln diese in die Telegramme für die Eurobalisen um, die vor den Lichtsignalen platziert wurden. Außerdem sind die vorhandenen Vor- und Hauptsignale im Bestand verblieben. Sie müssen in der Regel nicht beachtet werden und dienen als Rückfallebene. Des Weiteren werden durch die Eurobalisen die Fahrbefehle ans Fahrzeug übermittelt.

### 3.3 ETCS Endzustand luxemburgische Lösung

Mit dem Abschluss dieser ersten Implementierungsphase und Sammlung von Erfahrungswerten wurde ein neues Konzept entwickelt mit dem Ziel das Stellwerk in die ETCS Komponenten zu integrieren, um

die technischen sowie betrieblichen Eigenschaften der Bahnanlagen zu optimieren. Aufgrund der fehlenden Recheneinheit und digitalen Erweiterungsmöglichkeiten der vorhandenen RSTW ist dieses Integrationsvorhaben nicht möglich. Aus diesem Grund hat die CFL entschieden die bestehende Stellwerktechnik auf moderne E- oder DSTW umzurüsten. Im Rahmen einer europäischen Ausschreibung wurde als neue Stellwerktechnik das elektronische Stellwerk ZSB2000 von Scheidt und Bachmann ausgewählt.

Mit der Integration des Stellwerks in die ETCS Komponenten können die schaltbaren Eurobalisen zentral angesteuert werden. Diese Integration wurde nicht durch eine Z-LEU realisiert, die wie im Kapitel 2.4.2 erläutert wurde, die Logik für die Auswahl des Telegramms aus dem Stellwerk erhält. Für den Anschluss des Stellwerks an die Eurobalisen wurde das Stellwerk dementsprechend modifiziert. Somit können die Telegramme vom Stellwerk bestimmt und unmittelbar an die Eurobalisen übermittelt werden, ohne die Zwischenverbindung einer LEU. Diese Anordnung kann der Abbildung 37 entnommen werden.

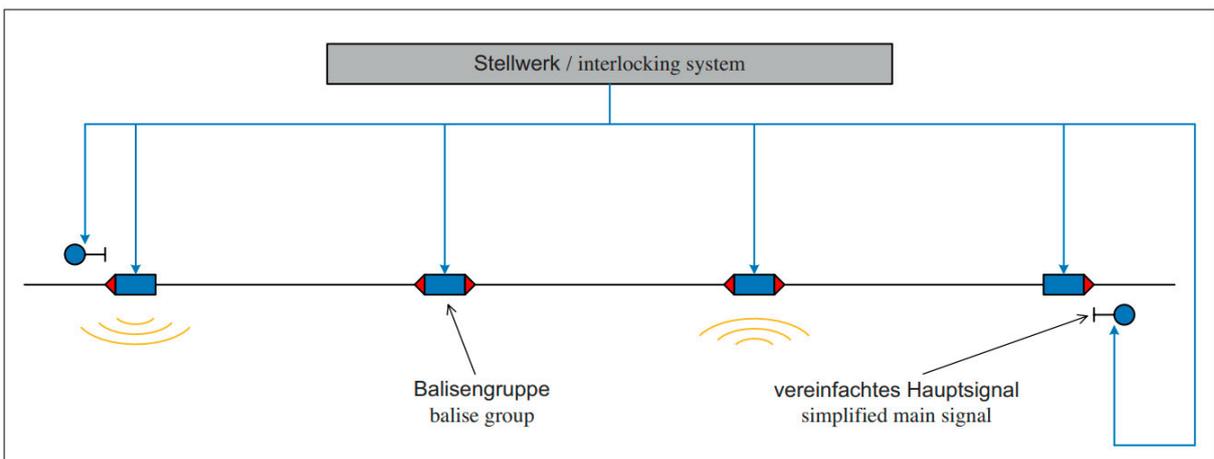


Abbildung 37 ETCS Level 1 – geplantes System CFL  
(Arend et al. 2018)

Durch die Bestimmung der Telegramme vom Stellwerk, wird eine höhere Flexibilität sowohl für die Implementierung des ETCS als auch für den Betrieb ermöglicht. Zum einen kann die Telegrammlogik entweder von Außensignalen oder von der Fahrstraßenlogik abhängig sein. In Fall einer Abhängigkeit von der Fahrstraßenlogik kann das Stellwerk für den Betrieb zusätzliche Informationen an das Fahrzeug übermitteln. Beispielsweise sind die Eurobalisen für Repositioning nicht mehr notwendig, da der genaue Fahrweg an das Fahrzeug mit der Fahrterlaubnis übermitteln werden kann.

Außerdem wird das Erkennen von Eurobalisenstörungen aufgrund der funktionalen Verbindung zwischen Stellwerk und Eurobalisen an den Fahrdienstleiter gemeldet. Die notwendige Instandhaltung kann dadurch schneller und gezielter in Auftrag gegeben werden.

Diese geplante Implementierung sieht einen Verzicht auf Vorsignale, Signalwiederholer und Zusatzanzeiger vor, was wiederum die Signalisierung vereinfacht.

Damit die Fahrzeuge ohne Fahrterlaubnis in die nächste Balisengruppe einfahren können, sowie zur Übermittlung von Fahrbegriffen in der Rückfallebene, hat die CFL alle notwendigen Signalbegriffe in einer neuen Signalisierung „SFA“ (signal fixe d'autorisation) wie in Abbildung 38 zusammengefasst.

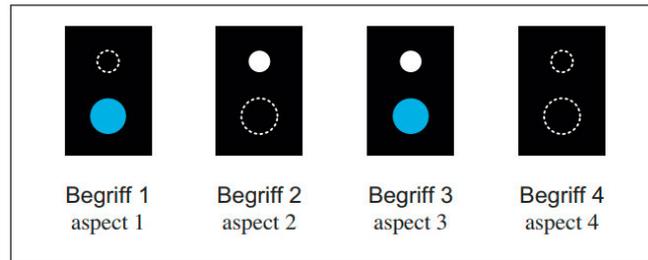


Abbildung 38 Vereinfachte Lichtsignalisierung der CFL  
(Arend et al. 2018)

Die Bedeutung der Begriffe können aus folgender Tabelle 7 entnommen werden.

Tabelle 7 CFL Signalisierung

Begriff	Bedeutung
SFA1	Halt für Züge
SFA2	Fahrtfreigabe für einen Zug
SF3	Baustellenbetrieb
SF4	Signalstörung

Für das Rangieren wurde das Sperrsignal SFVb (signal fixe de barrage) konzipiert. Dieses Signal hat den hochwertigsten Begriff.

Zur Veranschaulichung der gesamten geplanten Signalisierung wurde diese in der Abbildung 39 dargestellt.

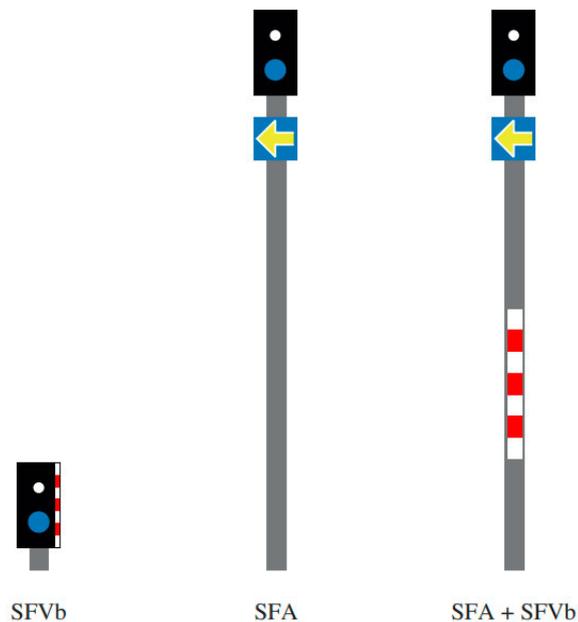


Abbildung 39 Geplante Signalisierung CFL  
(Arend et al. 2018)

Von links nach rechts: Sperrsignal SFVb, Freigabesignal, kombiniertes Signal.

Zur Vervollständigung der Signalisierung wurde das Signal Abfahrtsmelder wie in Abbildung 40 eingeführt.



Abbildung 40 Abfahrtsmelder  
(Arend et al. 2018)

Dieses Signal dient keiner Sicherungsaufgabe und hat lediglich eine komplementierende Funktion bei der Abwicklung von Fahrten am Bahnsteig.

Wie bisher mit dem vorgestellten Konzept gezeigt wurde, kann die Anzahl der vorhandenen Signale reduziert und vereinfacht werden (siehe Vergleich vorher nachher in der Abbildung 41) und trotzdem alle nötigen Fahrbegriffe für den Betrieb signalisiert werden.

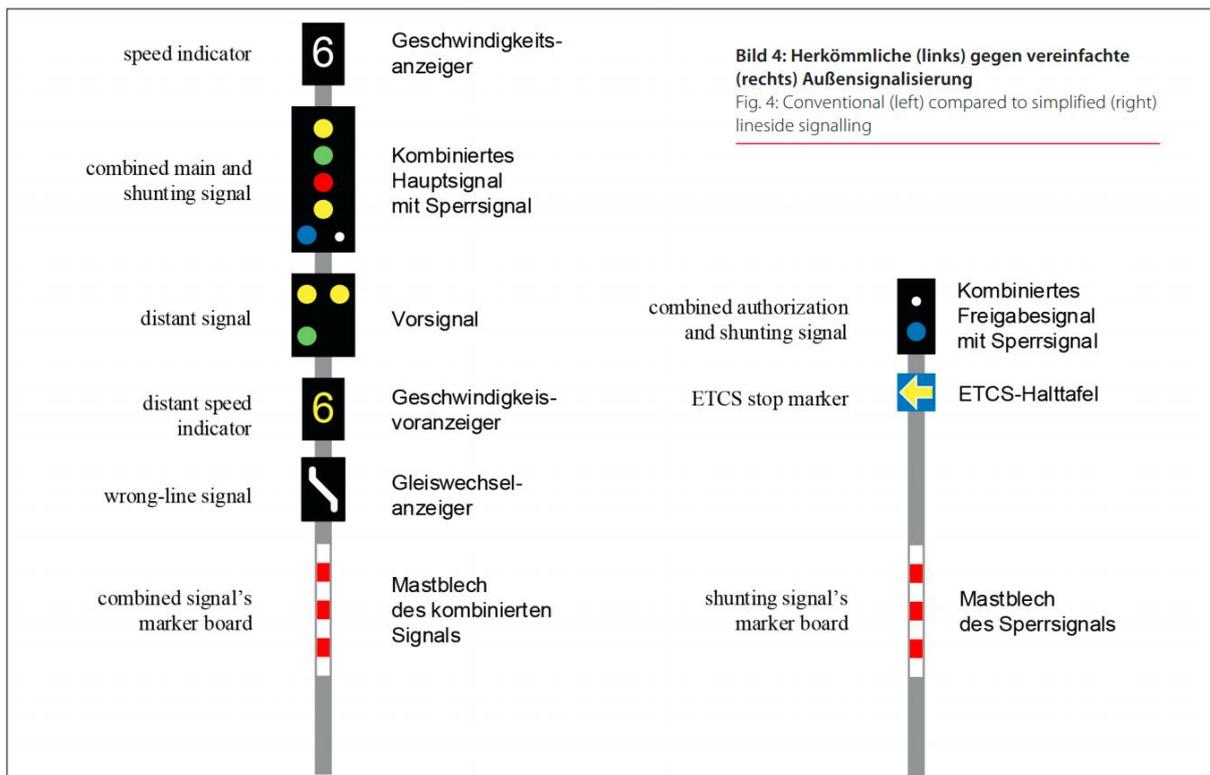


Abbildung 41 Vergleich vorherige Signalisierung und geplante ETCS-Signalisierung  
(Arend et al. 2018)

Das CFL verwendet eine Infill Balise (Aufwertebalisen) für jedes Haupt- und Vorsignal. Durch das Einsetzen von Infill Balisen können Fahrterlaubnisse verkürzt oder verlängert werden. Dadurch kann zum Beispiel die Weiterfahrt an den Folgeabschnitt vor Ende des aktuellen Abschnitts erteilt werden. Damit wird eine unnötige Bremsung vermieden und die Effizienz der Strecke optimiert.

### 3.4 ETCS Konzeptanalyse luxemburgische Lösung

Wie in Kapiteln 3.2 und 3.3 dargestellt wurde, gibt es verschiedene Konzeptmöglichkeiten, das ETCS Level 1 in Betriebsart Full Supervision zu implementieren. Das Grundprinzip und die Funktionsweise der beiden Konzepte bleiben davon unberührt.

Die ETCS Implementierungskonzepte aus Kapiteln 3.2 und 3.3 wurden von CFL entwickelt, um den Anforderung an die Topologie, Betriebsfälle und Zug-Takts des luxemburgischen Bahnbetriebs gerecht zu werden.

Durch das Einsetzen von Aufwertebalisen wurde die Leistungsfähigkeit der Strecke erhöht, da durch diese ein Fahrzeug schneller von einer Bremskurve entlassen werden kann. Diese Funktionalität kann auch in anderen Bahnanlagen eingesetzt werden, um den Betrieb zu optimieren.

Das implementierte ETCS Level 1 FS in Luxemburg ist ein ausgereiftes Konzept, das sich im Betrieb bewährt hat. Aus diesem Grund wird dieses Konzept als Ausgangsbasis zur Entwicklung von Entwürfen für die Implementierung von ETCS L1 FS auf dem Bft Hohe Schaar dienen und auf dessen Streckeneigenschaften angepasst.

Darüber hinaus ist anzumerken, dass sie daraus alle andere Betriebsarten ableiten und durchführen kann, wenn die Streckenausrüstung einer Bahnanlage die Betriebsart Full Supervision anbietet.

## 4 Konzeptentwicklung

### 4.1 Vorstellung Hamburg Port Authority (HPA)

Der Hamburger Hafen wurde offiziell am 7. Mai 1189 gegründet. Die gesamte Fläche des Hamburger Hafengebiets umfasst 7.244 ha, davon 4.236 ha aus Land- und 3.008 ha aus Wasserflächen. Das Hafenmanagement bestand bis September 2005 aus verschiedenen Verantwortungsbereichen wie das Amt für Strom und Hafenbau und das Amt für Häfen, Dienstleistungen und Wirtschaftsinfrastruktur. Am 1. Oktober 2005 wurde das gesamte Hafenmanagement zusammenfasst und die Hamburg Port Authority (HPA) etabliert (Koppenwallner) (HPA 2020).

Die Hamburg Port Authority ist ein öffentliches Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) gemäß §2 Absatz 9 AEG i.V.m. Anlage 2 Ziffer 2 ERegG. Als Betreiber von Serviceeinrichtungen ist sie zuständig für den Hafenbetrieb, die Hafentwicklung und Unterhaltung der Infrastruktur. Der Hamburger Hafen ist der größte Hafen in Deutschland. Dort wurden im Jahr 2020 8,5 Mio. Container umgeschlagen (HPA 2020).

Zu der Hafeninfrastruktur gehört neben Straßen und Wasserwege eine Bahnanlage mit 6 Bahnhofsteilen: Hamburg Süd, Dradenau, Hohe Schaar, Alte Süderelbe, Mühlenwerder, Altenwerder Ost.

### 4.2 Vorstellung Bft Hohe Schaar und Zustand der Technik

In diesem Kapitel werden die relevantesten Informationen des Bahnhofsteils Hohe Schaar im Zuständigkeitsbereich der HPA für diese Masterthesis dargestellt. Die hier stehenden Daten dienen als Grundlage für die nachfolgenden Kapitel. Eine vereinfachte Übersicht der Hohe Schaar Bahnanlage kann in der Abbildung 42 betrachtet werden. Der vollständige Zerrplan<sup>2</sup> ist in Anhang B dargestellt.

---

<sup>2</sup> Zerrplan: Verkürzte und gestauchte Darstellung, beispielsweise (Länge : Breite = 4:1)

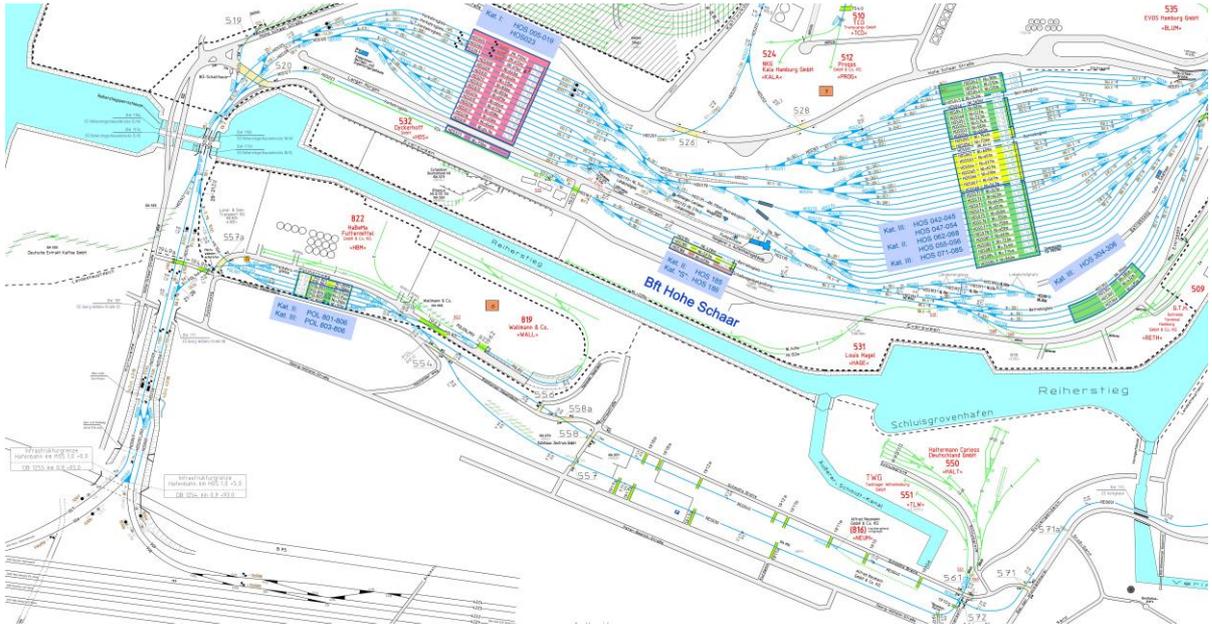


Abbildung 42 vereinfachte Übersicht der Bft Hohe Schaar Bahnanlage

Der Bft Hamburg Hohe Schaar liegt südlich des Hamburger Hafens. Er kann über zwei Strecken des DB Netzes erreicht werden. Ein Überblick der Streckeneigenschaften kann aus der Tabelle 8 entnommen werden.

Tabelle 8 Streckeneigenschaften Bft Hohe Schaar nach (HPA 2020)

Nr.	Eigenschaften	Erste Strecke	Zweite Strecke
1	VzG-Strecke	1253	1254
2	La-Strecken-Nr.	483	484
3	Von	Hamburg Süderelbbrücke	Hmb-Wilhelmsburg
4	Nach	Bft Dradenau	Bft Hamburg Hohe Schaar
5	Hauptbahn	Nein	Nein
6	Gleisanzahl	Zwei	zwei
7	elektrifiziert	Ja	ja
8	Streckenklasse	D4	D4

\*Die Zeilen 2 und 5 bis 8 beziehen sich auf die interne Infrastruktur der Hamburg Hafenbahn. (HPA 2020)

Die Grenzen zu den anderen Eisenbahninfrastrukturen können aus folgender Tabelle 9 und aus der Abbildung 43 entnommen werden.

Tabelle 9 Angrenzende Infrastrukturen des Bft Hohe Schaar HPA (HPA 2020)

aus Richtung	VzG-Strecke	Signal	Km (HPA)	Km (DB)	Bemerkungen
Abzw Süderelbbrücke	1253	A906	0,878		Infrastrukturgrenze in

## Konzeptentwicklung

		A907	0,878		km 1,000 (DB-km 0,993)
Hmb-Wilhelmsburg (DB)	1254	B908 B909	0,861		Infrastrukturgrenze in km 1,005 (DB-km 0,993)
Bft Hausbruch-Mitte	1253	P803 P804	9,010		
Bft Hamburg Süd	Ohne	BÜ 501a			

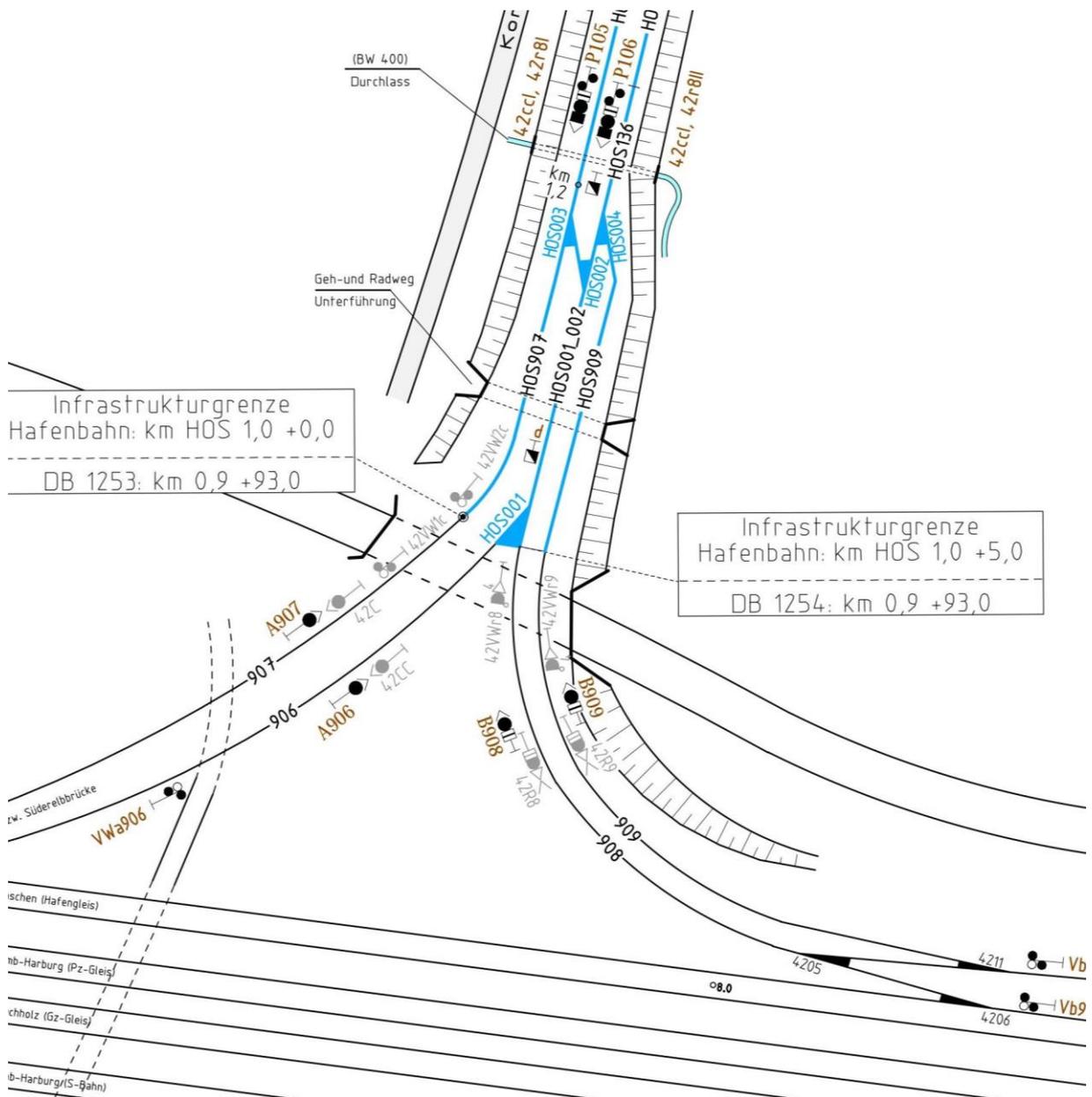


Abbildung 43 Lageplan des Bft Hohe Schaar mit den Infrastrukturen der DB Strecken 1253 und 1254 (HPA 2021)

Wie aus der Tabelle 9 und Abbildung 43 zu sehen ist, führt die Strecke 1253 aus der Abzweigung Süderelbrücke und die 1254 aus Hamburg Wilhelmsburg zweigleisig in die Hafenanlage.

Die Gleise der Bahnanlagen können zusammenfassend in folgende Kategorien differenziert werden:

Kategorie I und II: Als Verkehrsgleis bezeichnet. Durch diese Gleise werden die Gleisgruppe oder der -anschluss innerhalb eines Bahnhofsteils erreicht.

Kategorie III: Als Abstellgleis bezeichnet. Diese Gleise dienen der Abstellung von Fahrzeugen für längere Zeit.

Außerdem unterscheiden sich die Kategorien I, II und III durch die Bepreisung für ihre Nutzung.

Zum Bft Hohe Schaar gehört ein Rangierbezirk (Pollhornweg) mit Gleisen der Kategorie II: POL 801-806 und Kategorie III POL 803-806. Dieser Gleisabschnitt mit den dazugehörigen Nutzlängen ist in der Abbildung 44 dargestellt.

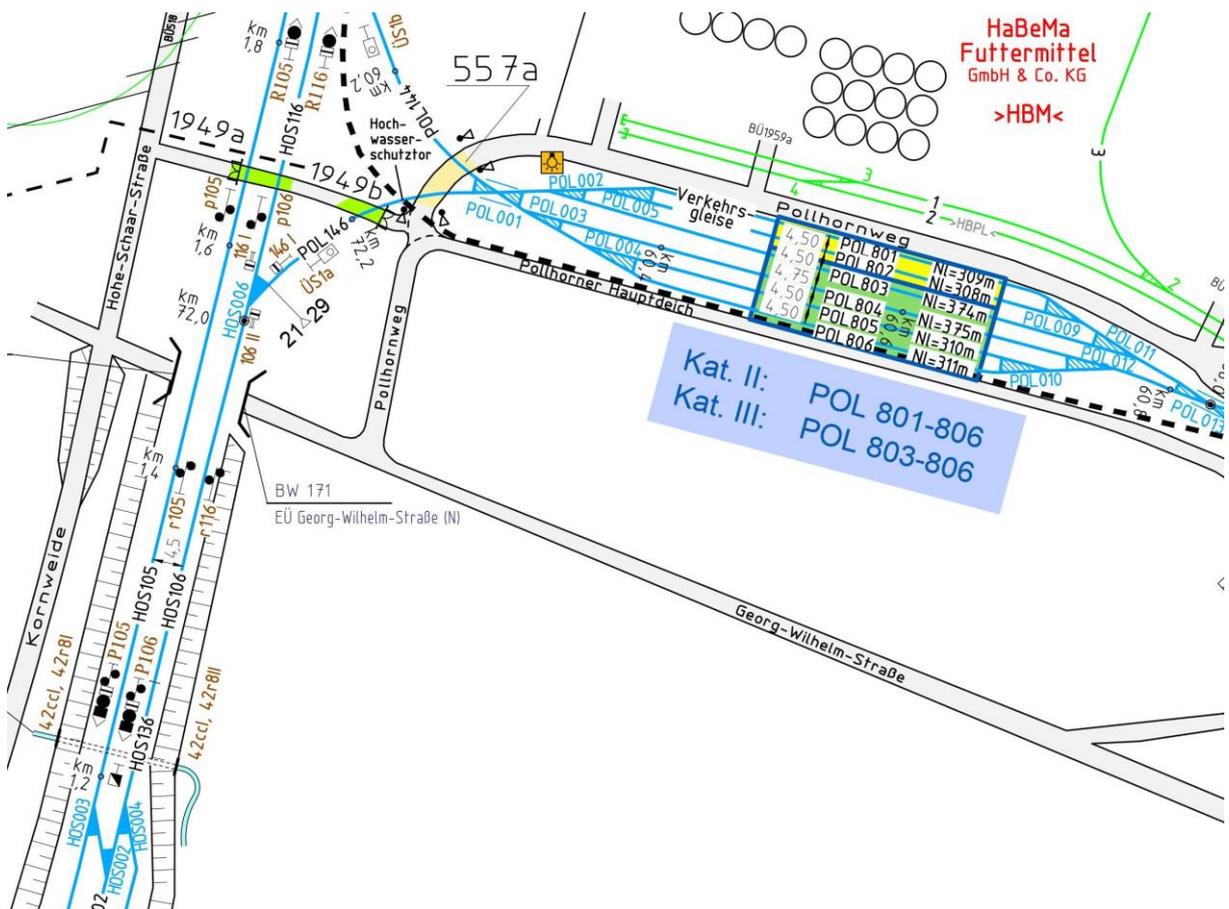


Abbildung 44 Rangierbezirk Pollhornweg (HPA 2021)

Eingesetztes Stellwerk:

Das eingesetzte Stellwerk mit der Bezeichnung „Hof“ ist ein SP Dr S 60 mit Ablaufstellwerk Sp ADr (K) 65 als Nahstellbetrieb. Es wird als Fahrdienstleiterstellwerk verwendet.

Geschwindigkeit:

Im Bft Hohe Schaar ist die Regel- sowie die Einfahrtsgeschwindigkeit 40 Km/h.

Signale:

Einen Auszug der vorhandenen Signale im Bft Hohe Schar ist in der Tabelle 10 zu sehen.

Tabelle 10 Auszug der vorhandenen Signale im Bft Hohe Schaar (HPA 2020)

Signal	Verwendung	Standort (km HPA)	Zs 1	Zs 2	Zs 3	Zs 6	Zs 7	Zs 8
A906	Esig	0,878	ja	nein	nein	nein	nein	nein
A907	Esig	0,878	ja	nein	nein	nein	nein	nein
B908	Zsig	0,861	ja	nein	nein	nein	nein	nein
B909	Zsig	0,861	ja	nein	nein	nein	nein	nein
N207	Zsig	8,659	ja	nein	nein	nein	nein	nein
P105	Asig/Zsig	1,258	ja	ja	nein	nein	nein	nein
P106	Asig/Zsig	1,267	ja	ja	nein	nein	nein	nein
P803	Zsig	9,010	ja	nein	nein	nein	nein	nein
P804	Zsig	9,010	ja	nein	nein	nein	nein	nein
R005	Zsig	3,192	ja	nein	ja <sub>1)</sub>	nein	nein	nein
R006	Zsig	3,192	ja	nein	ja <sub>1)</sub>	nein	nein	nein
R007	Zsig	3,192	ja	nein	ja <sub>1)</sub>	nein	nein	nein
R105	Zsig	1,794	ja	nein	ja	nein	nein	nein
R116	Zsig	1,795	ja	nein	ja	nein	nein	nein
R214	Zsig	4,985	nein	nein	nein	nein	nein	nein
R215	Zsig	4,985	nein	nein	nein	nein	nein	nein
S005	Zsig	2,467	ja	nein	nein	nein	nein	nein
S110	Zsig	2,463	ja	nein	nein	nein	nein	nein
S120	Zsig	2,463	ja	nein	nein	nein	nein	nein
S214	Zsig	4,477	nein	nein	ja <sub>1)</sub>	nein	ja	nein
S215	Zsig	4,200	nein	nein	ja <sub>1)</sub>	nein	ja	nein
S216	Zsig	5,777	nein	nein	nein	nein	nein	nein
S236	Zsig	6,624	nein	nein	nein	nein	ja	nein

<sup>1</sup> Zs 3 werden als Formsignale geführt

Aus Datenschutzgründen werden die vollständigen Signale sowie das Fahr- und Rangierstraßenverzeichnis nicht in dieser Thesis hinzugefügt, diese können jedoch bei dem Unternehmen angefragt werden.

Streckenblockeinrichtungen: Es ist eine Blockstrecke in Richtung der Abzweigung Süderelbbrücke vom Typ Selbstblock 59 vorhanden.

Nachfolgend wird in der Tabelle 11 ein Auszug der vorhandenen punktförmigen Zugbeeinflussung im Bft Hohe Schaar dargestellt. Die vollständige Auflistung ist in Anhang C festgehalten.

Tabelle 11 Auszug punktförmige Zugbeeinflussung

Bahnhofsteil	Signal	1000 Hz	2000 Hz
Hmb Hohe Schaar	A906		X
	A907		X
	B908		X
	b908	X	
	B909		X
	b909	X	
	P105		X
	p105	X	
	P106		X
	p106	X	
	R105		X
	r105	X*	
	R116		X
	r116	X*	

\* = ständig wirksam (IFAA 2012)

Wie aus der Tabelle 11 zu erkennen ist, sind keine 500 Hz Magneten zur Überwachung einer frühzeitigen Befreiung der Bremskurve vorgesehen.

Die folgende Tabelle 12 enthält einen Auszug der mechanisch ortsgesteuerten Weichen im Bft Hohe Schaar. Die vollständige Auflistung ist in Anhang D zu finden.

Tabelle 12 Auszug mechanisch ortsgesteuerte Weichen im Bft Hohe Schaar (IFAA 2012)

Weichenummer	Hebelgewicht	Grundstellung	Bemerkungen
Blumensand			
HOS341		zur Fahrt nach links	
HOS342			in der Lage zur Fahrt nach links verschl.
HOS343			in der Lage zur Fahrt nach rechts verschl.
HOS344		zur Fahrt nach rechts	
Hohe Schaar			
HOS162		Zur Fahrt nach links	Abhängig zu Gs 165, Schlüssel bei Hof
HOS226		Zur Fahrt nach links	
HOS228			

HOS294			Schlüssel bei Hof
Pollhornweg			
POL001			DKW
POL002			
POL011		zur Fahrt nach links	
POL012		zur Fahrt nach rechts	

Zusammengefasst verfügt die Bahnanlage über eine punktförmige Zugbeeinflussung, ortsgesteuerte Weichen, Bahnübergänge, Abstellgleise und Nebengleise. Die Ausrüstung basiert sich auf Spurplantechnik und die Sicherung des Betriebs auf nationale Zugsicherungssysteme.

Die Bahnanlage verfügt über keine Digitalisierungsmerkmale im Sinne von Datenübertragung oder standardisierten Schnittstellen. Die Informationen über den Zustand der Anlage wie Weichen oder Signale können nur auf dem Fahrdienstleitertisch in analoger Form ausgelesen oder abgeleitet werden. Erweiterte Informationen, zum Beispiel die Information über die Gleisbelegung von Abstellgleisen nach einer Störung oder einem Stromausfall, kann nicht direkt auf dem Fahrdienstleitertisch abgelesen werden.

### 4.3 Betrachtete Betriebsfälle

Bevor ein geeignetes ETCS Implementierungsmodell entwickelt werden kann, müssen die relevantesten Eigenschaften sowie die relevanten Betriebsfälle der Anlage betrachtet werden.

Aus dem Fahr- und Rangierstraßenverzeichnis und aus der Vorstellung des Bft Hohe Schaar im Kapitel 4.2 ist zu erkennen, dass die Anlage nicht den typischen „Bf.-freie Strecke- Bf.“-Betrieb aufweist.

Im Bft Hohe Schaar werden hauptsächlich Güterzüge rangiert, gebildet und abgestellt. Zugfahrten finden in einer geringen Zahl im Vergleich zu anderen Fahrtarten statt. Passagierzüge können ebenfalls in die Anlage einfahren, dies entspricht jedoch nicht der Regel und wird vorher in Absprache mit dem HPA abgestimmt.

Aus den obigen beschriebenen Eigenschaften werden für die Fallstudie zur Implementierung des ETCS Level 1 am Bft Hohe Schaar folgende relevanten Betriebsfälle betrachtet:

- Einfahrt aus den angrenzenden Strecken 1253 und 1254 mit Levelwechsel in den Bft Hohe Schaar.
- Zugfahrt mit Repositioning
- Zugfahrt ohne Repositioning
- Rangierfahrten

#### 4.4 Allgemeine Randbedingungen und technische Anforderungen

Zur Entwicklung eines geeigneten ETCS-Konzeptes für die HPA Bft Hohe Schaar muss nicht nur die eigene Bahnanlage, sondern auch die technische Entwicklung der Nachbarstrecken betrachtet werden. Mit der Veröffentlichung des betrieblichen Zielbilds 1.0 der Deutsche Bahn AG vom 30.04.2021 hat die Deutsche Bahn bekannt gegeben, dass alle Strecken in ihrem Zuständigkeitsbereich auf ein ETCS Level 2 ohne Signale aufgerüstet werden (DB Netz AG 2021).

Das bedeutet, dass die Richtungsentwicklung der Eisenbahn des Bundes rein auf dem europäischen Zugbeeinflussungssystem basieren wird. Damit wurde zwangsweise das Ende des reinen nationalen Zugbeeinflussungssystems in der Zukunft angekündigt. Aus diesem Grund wird davon ausgegangen, dass in der Zukunft die Strecken (Str. 1253 und 1254) im Zuständigkeitsbereich der Deutsche Bahn unter Überwachung des ETCS Level 2 ohne Signale (L2oS) betrieben werden.

Dadurch ergibt sich das Problem, dass die ausländischen Lokomotiven nur auf Strecken, die entweder mit einem eigenen nationalen Zugbeeinflussungssystem oder ETCS ausgerüstet sind, fahren können. Demzufolge müssen auch die Nebenbahnen, Anschlussbahnen und Umschlag- bzw. Betriebsbahnhöfe mit ETCS ausgerüstet sein.

Ein weiterer relevanter Aspekt für die Konzeptentwicklung ist die benötigte Zeit zwischen der Konzeptentwicklung bzw. Veröffentlichung eines Ziels im Bereich der Eisenbahn und der tatsächlichen Implementierung. Infolgedessen kann davon ausgegangen werden, dass an den angrenzenden Strecken zur HPA Bft Hohe Schaar Bahnanlage noch ungewiss viele Jahre bis zur endgültigen Aufrüstung der Strecke auf ETCS Level 2 ohne Signale vergehen können.

Demzufolge ist ein sofortiger Verzicht auf das nationale Zugbeeinflussungssystem und Außensignale auf der HPA Bft Hohe Schaar Bahnanlage nicht möglich. Aus diesem Grund wird in den folgenden Kapiteln zunächst ein Übergangskonzept und anschließend eine zukünftige Konzeptvariante zur Aufrüstung auf ETCS Level 1 FS dargestellt.

Obwohl die ETCS Komponenten in der SRS Dokumentation standardisiert sind, sind verschiedene Strategien zur Aufrüstung von nationalen bzw. proprietären Zugbeeinflussungssystemen auf dem standardisierten ETCS möglich.

Seitens der technischen Anforderungen für die Konzeptentwicklung muss die angewendete Lösung, mit Ausnahme der LEU, standardisiert, erweiterbar und herstellerneutral sein. Grund für diese Ausnahme ist, dass die LEU aufgrund ihrer nicht standardisierten Verbindung mit dem Sicherungssystem (siehe Kapitel 2.4.2) kein ETCS standardisiertes Subsystem ist.

#### 4.5 Auswahl des Aufrüstungskonzeptes

Um ein geeignetes ETCS-Aufrüstungssystem entwickeln zu können, müssen stets die Unternehmensziele und Investitionsmöglichkeiten, sowie die Eigenschaften und Nutzungszwecke der Bahnanlage berücksichtigt werden.

Wie im Kapitel 2.4.5 erläutert, benötigt das ETCS Level 2 eine ständige Funkverbindung zwischen Fahrzeug und der Streckenzentrale. Es wurde für Hauptstrecken mit hoher Geschwindigkeit und einer höheren Zugdichte konzipiert. Für diesen Zweck ist dieses Ausrüstungslevel zumeist wirtschaftlich sinnvoll. Es ist jedoch einer der größten Kostentreiber des ETCS Level 2.

Die Neben- und Anschlussbahnen bestehen in dem typischen „Bahnhof- freie Strecke- Bahnhof“- Betrieb hauptsächlich aus Hauptgleisen mit wenigen Neben- oder Abstellgleisen und sind durch ein niedriges Verkehrsaufkommen, Zugdichte und Geschwindigkeiten gekennzeichnet. In diesem Fall ist ein ETCS Level 2 überdimensioniert. Die Implementierung ist daher nicht notwendig und als unwirtschaftlich zu betrachten.

Wie aus dem Zerrplan des Bft Hohe Schaars, dargestellt im Anhang B, zu erkennen ist und im Kapitel 4.3 erläutert wurde, differenziert sich die Bahnanlage des HPA Bft Hohe Schaar von den oben beschriebenen Merkmalen eines Neben- und Anschlussbahnhofs. Der Bft Hohe Schaar besteht aus einem Anschlussbahnhof mit vielen Nebengleisen und nur wenigen Hauptgleisen. Hier wird hauptsächlich rangiert, Fahrzeuge gebildet und abgestellt. Dennoch ist auch hier die Implementierung eines ETCS Level 2 Systems für die betrieblichen Anforderungen der HPA Bahnanlage nicht notwendig und daher wirtschaftlich nicht sinnvoll.

Da in Zukunft die angrenzenden Strecken zur HPA mit ETCS Level 2 ohne Signalisierung ausgerüstet werden, wird analog dazu bei der Konzeptentwicklung der Bft Hohe Schaar Bahnanlage stärker die Führerraumsignalisierung und weniger die äußere Signalisierung angestrebt.

Gemäß Abbildung 45 kann das ETCS Level 1 FS dieselben relevanten Funktionalitäten für den Bft Hohe Schaar bereitstellen wie das ETCS Level 2, ohne eine Funkinfrastruktur aufbauen zu müssen. Das heißt, dass eine streckenseitige Aufrüstung auf ETCS Level 1 mit geringerem technischen Aufwand im Vergleich zu ETCS Level 2 möglich ist.

Abbildung 45 stellt die Funktionalitäten in Abhängigkeit des Zugbeeinflussungssystems dar.

<b>Funktion</b>	<b>ETCS L1 FS</b>	<b>ETCS L2</b>	<b>ETCS L1 LS</b>	<b>PZB 90</b>
Anzeige der Sollgeschwindigkeit ( $V_{soll}$ )	X	X	X	-
Streckeninformationen	X	X	-	-
Zielgeschwindigkeit ( $V_{ziel}$ )	X	X	-	-
Zielentfernung	X	X	-	-
Ende der Fahrerlaubnis	X	X	X	-
Zulässige Höchstgeschwindigkeit	X	X	-	-
Dynamisches Geschwindigkeitsprofil	X	X	-	-
Aktuelle Geschwindigkeit ( $V_{ist}$ )	X	X	X	-
Aufhebung Zwangsbremmung wenn $V_{ist} < V_{soll}$	X	X	X	X <sup>1)</sup>
Signalaufwertung	X	X	X	-

Abbildung 45 Darstellung der Funktionalitäten von verschiedenen Zugbeeinflussungssystemen (Busse 1996)

Dieser Ansatz ist möglich, da alle Führungsgrößen wie zum Beispiel die Streckeninformationen, Zielentfernung, zulässige Höchstgeschwindigkeit und dynamisches Geschwindigkeitsprofil punktförmig über die Eurobalisen an den EVC übertragen werden können. Damit können die wesentlichen Streckeninformationen an die Führerraumanzeigen signalisiert werden. Die untenstehende Abbildung 46 zeigt beispielweise die Anordnung der ETCS Level 1 FS Komponenten auf der Strecke. (Pachl 2018)

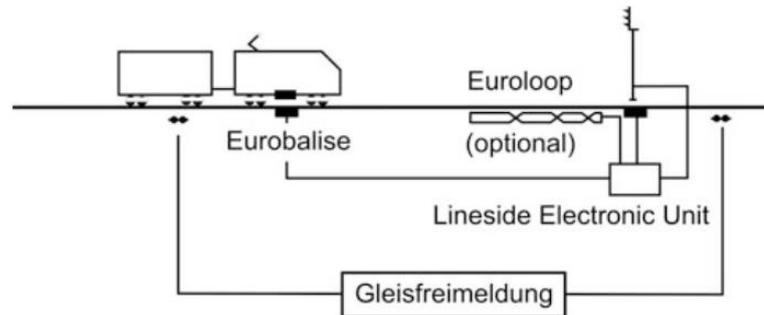


Abbildung 46 Anordnung der ETCS Level 1 FS Komponenten  
(Pachl 2018)

Die fahrzeugseitige ETCS Level 2 Ausrüstung ist mit den streckenseitigen ETCS Level 1 Komponenten rückwärtskompatibel. Aus diesem Grund kann die HPA Bahnanlage mit den ETCS Komponenten der Ausrüstungsstufe 1 Full Supervision und einer reduzierten Anzahl von Lichtsignalisierungen umgerüstet werden. Somit können die Funktionalitäten, dargestellt in der Abbildung 45, implementiert werden. Demzufolge wird in Rahmen dieser Arbeit diese Implementierungsstrategie für Anlage des HPA Bft Hohe Schaar weiterverfolgt.

Aufgrund der punktförmigen Datenübertragung über die Eurobalisen in der ETCS Level 1 Ausrüstung, kann die Betriebsart Full Supervision nicht vollständig auf Signalisierung verzichten. Grund hierfür ist, dass bei Anhalten des Fahrzeugs keine Kommunikation zwischen Fahrzeug und Eurobalise besteht (Ausnahme: wenn die Fahrzeugantenne genau auf der Balise ist). Somit erhält der EVC keinen neuen Fahrauftrag. Dementsprechend müssen Hauptlichtsignale vor einer Eurobalise stehen, die über einen neuen Fahrauftrag verfügen und diesen an das Fahrzeug übermitteln.

Ein Euroloop oder Radio-Infill können zu einer erwünschten Leistungssteigerung der Strecke beitragen. Jedoch werden diese beiden Komponenten normalerweise nur begrenzt eingesetzt. Bei Interesse an der Erhöhung des Leistungsverhaltens für die Bahnanlage der HPA, ist der geeignetste Lösungsansatz die Nutzung von Aufwertebalisen. (Pachl 2018)

## 4.6 Grundlegende Anforderungen an die Implementierung von ETCS L1 in Bft Hohe Schaar

### 4.6.1 Technisch

#### Ausrüstung

Die anzuwendenden Komponenten müssen soweit wie möglich standardisiert und herstellernerutral sein.

Die parallele Ausrüstung mit dem nationalen Zugbeeinflussungssystem mit PZB 90 und dem europäischen mit ETCS ist zulässig.

Wenn technisch und betrieblich sinnvoll, bleibt das klassische Signalsystem mit Vor- und Hauptsignalen bestehen.

### **Anforderungen an die Eurobalisen und LEUs**

Die ETCS Datenübertragung wird punktförmig über Eurobalisen übermittelt. Euroloop und Radio-Infill sind nicht vorgesehen.

Um das Leistungsverhaltens der Stecke zu erhöhen, können Aufwertebalisen (Infill Balisen) an strategischen Orten platziert werden. Der Abstand von Infill Balisen zum nächsten Streckenabschnitt muss auf den längstmöglichen Bremsweg abgestimmt sein.

Die eingesetzten Eurobalisen müssen die Spezifikationen des (UNISIG 2015a) erfüllen. Sie beinhalten die dynamischen und statischen Streckeninformationen, die an die Fahrzeuge übertragen werden. Bei Störungen werden die Eurobalisen einen sicheren Signalbegriff senden, beispielsweise das Umschalten eines Haltesignals auf Halt.

Aus Kostengründen ist die Anzahl der einzusetzenden Aufwertebalisen nur begrenzt sinnvoll. Eine Aufwertebalise zwischen zwei Fahrterlaubnissen kann in den meistausgelasteten Streckenabschnitten dazu beitragen diese zu entlasten.

Der Anschluss und Implementierungsaufwand der LEU soll so einfach wie möglich sein. Der Einsatz von zentralisierten LEUs ist nicht vorgesehen.

Aus den Signalbegriffen erzeugt eine LEU die Telegramme und übermittelt diese an die gesteuerten Eurobalisen.

Bei Verwendung von herkömmlichen LEUs ohne Datenverbindung zum Fahrdienstleiter, muss jede Programmierungsänderung an den Festdatenbalisen vor Ort vorgenommen werden.

Der benötigte Abgriff von Signalbegriffen, deren Bearbeitung und die Weiterleitung an die ETCS Komponenten muss rückwirkungsfrei sein und darf die vorhandene Infrastruktur nicht beeinflussen.

### **Datenübertragung an den Fahrdienstleiter**

Eine Kopie der an die Eurobalisen übermittelten Telegramme kann durch Festmedien (Kabel) oder Funk an den Fahrdienstleiter übertragen werden.

Als Funkübertragungssystem kann z.B. ein LoRaWAN 2,4-GHz-Band verwendet werden, da dieses Funksystem eine Reichweite von bis zu 10 Km aufweist und die Beschaffungskosten gering sind.

Als Kabelübertragungssystem kann das CAN Bus System eingesetzt werden. Es ist ein bekanntes Kommunikationsprotokoll und ist bei der Implementierung aufwandsarm.

Für die Entscheidung über das geeignete Übertragungsmedium, muss die Örtlichkeit nach Hindernissen für die Funkkommunikation und die Verfügbarkeit von Kabeltrögen für die Kabelverlegung für die CAN Bus System untersucht werden.

### **Anforderung an Fahrzeuge**

Um die volle Kompatibilität zwischen der fahrzeugseitigen und streckenseitigen ETCS Ausrüstung sicherzustellen, muss das Fahrzeug die TSI ZSS Spezifikationen erfüllen und eine gemeinsame kompatible SRS Version verwenden. Ab der SRS-Version Baseline 3 ist die fahrzeugseitige ETCS-Ausrüstung zur Strecke abwärtskompatibel. Somit kann beispielsweise ein Fahrzeug, das nach SRS Version 3.4.6 konzipiert wurde, auf einer Strecke mit der Version 2.3.0d verkehren.

Wenn die Nutzung der Betriebsart NTC vorgesehen ist, müssen die Schnittstellen zwischen STM und ETCS die enthaltenen Spezifikationen des (UNISIG 2015b) erfüllen.

#### 4.6.2 Betrieblich

##### Relevante Betriebsarten

Untenstehend sind die relevantesten Betriebsarten für die Bahnanlage des Bft Hohe Schaar dargestellt.

- **Full Supervision:** Wenn das Fahrzeug mit der ETCS Ausrüstung ausgestattet ist, wird zwischen Hauptsignalen und bei der Einfahrt in den Bft Hohe Schaar diese Betriebsart angewendet.
- **Shunting:** Dieser Modus wird für Rangierfahrten und als Rückfallebene verwendet.
- **Passive Shunting oder Non Leading:** Bei Zug-Trennung und -Bindung kann diese Betriebsart verwendet werden.
- **Staff Responsible:** Beim Hochfahren des Triebfahrzeugs kann der Triebfahrzeugführer diese Betriebsart auswählen und damit fahren, bis die Informationen über den Streckenabschnitt von den Eurobalisen übermittelt werden oder der Betriebsmodus Shunting ausgewählt ist.
- **Trip:** Bei fehlerhaftem Fahrverhalten von streckenseitiger sowie fahrzeugseitiger Ausrüstung oder falscher Bedienung der ETCS Ausrüstung schaltet sich das ETCS automatisch in diese Betriebsart um.
- **Post Trip:** Nach dem Trip Modus kann das Fahrzeug auf diese Betriebsart umgeschaltet werden.

##### Betriebsfälle

- **Störfall:** Bei Störung der Festdatenbalisen müssen diese ein Standard-Telegramm mit der restriktivsten Signalinformation übermitteln.

Bei Störung der LEU muss diese ebenso ein Standard-Telegramm mit der restriktivsten Signalinformation an die gesteuerten Eurobalisen übermitteln.

Bei sonstigen Störungen im Zugbeeinflussungssystem müssen die Rückfallebenen für die Fahrten klar definiert werden.

- **Einfahrt in die HPA Bahnanlagen:** Wenn das Fahrzeug mit ETCS in der Ausrüstungsstufe 2 geführt wird, wird beim Einfahren in die Bahnanlagen des Bft Hohe Schaaars ein Levelwechsel in die Ausrüstungsstufe 1 oder NTC durchgeführt. Dabei sollen keine Überwachungslücken entstehen.
- **Zugfahrten:** Das Fahrzeug erhält die Fahrterlaubnis von einer Eurobalise. Diese Fahrterlaubnis gilt mindestens bis zu einer vorgegeben Distanz oder bis zur nächsten Eurobalise.

##### Sonstiges

- **Fahrdienstvorschrift:** Aufgrund des parallelen Betriebs mit dem bestehenden und dem europäischen Zugbeeinflussungssystem, müssen die angewendeten Fahrdienstvorschriften der HPA angepasst werden. In diesen muss beispielsweise der Signalisierungsvorrang zwischen Au-

ßen- und Führerstandssignalisierung klar geregelt sein. Die vollständige Anpassung der Fahrdienstvorschriften der HPA ist nicht Bestandteil dieser Masterthesis und wird hier nicht weiter betrachtet. Dies kann als Basis für einen weiterführenden Studienfall dienen.

- **Verkettung von Eurobalisen:** Wenn relevant, beispielsweise bei Repositioning, werden die Balisengruppen untereinander mittels Paket 5 verlinkt.

### 4.6.3 Implementierungsstrategie

Wie in Kapitel 4.4 beschrieben, wird die Implementierung von ETCS Level 2 auf den zur HPA angrenzenden DB-Strecken noch viele Jahre dauern. Eine unmittelbare Umrüstung der HPA Bahnanlage rein auf ETCS ist demzufolge nicht notwendig.

Deshalb wird hierbei, ähnlich dem Implementierungsmodell vom Luxemburg, die Konzeptentwicklung in zwei Phasen aufgeteilt.

**Phase 1:** In der ersten Phase werden drei Übergangskonzepte vorgestellt, die auf Basis der vorhandenen Stellwerktechnik und des Zugbeeinflussungssystems aufgebaut sind. Hierbei ist die vorgestellte luxemburgische Lösung aus Kapitel 3.2 das Übergangskonzept 1. Dieses dient auch als Ausgangsbasis für die entwickelten Übergangskonzepten 2 und 3. Durch diese Konzepte soll das Sammeln von Erfahrungswerten für die Entwicklung eines ETCS Endzustands angestrebt werden.

**Phase 2:** In der zweiten Phase werden zwei endgültige Konzepte vorgestellt. Dabei sind die Konzepte auf Basis modernster Stellwerktechnik und Fahrwegsicherung entwickelt. Hierbei ist die vorgestellte endgültige luxemburgische Lösung aus Kapitel 3.3 das Endkonzept 1. Dieses dient auch als Ausgangsbasis für das entwickelte Endkonzept 2.

Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass an den angrenzenden Strecken zur HPA Bahnanlage zu diesem Zeitpunkt mit ETCS Level 2 ohne Signalisierung verkehrt wird.

## 4.7 Phase 1: Übergangskonzepte mit vorhandenem RSTW

### 4.7.1 Beschreibung des Übergangskonzeptes

Unter Anlehnung an das existierende ETCS Level 1 Konzept von Luxemburg in Kapitel 3.2 und unter Berücksichtigung der für den Bft Hohe Schaar spezifischen Topologie sowie die grundlegenden Anforderungen, die in Kapitel 4 definiert wurden, wird nun ein Übergangskonzept mit verschiedenen Ausführungsvarianten entwickelt.

Darüber hinaus werden optionale Funktionen im Bereich der Digitalisierung und des Datenaustausches zwischen Streckenausrüstung und Fahrdienstleiter vorgestellt. Sie haben keine betriebliche oder sicherheitsrelevante Funktion, sondern dienen rein informativen Zwecken.

Die zu installierenden ETCS Komponenten, beschrieben in Kap. 4.6.1, müssen den Anforderungen des SRS und FFFIS genügen, um eine Implementierung von Sonderlösungen zu vermeiden. Damit wird die Anwendung von standardisierten Komponenten und Funktionalitäten der ETCS Ausrüstung gewährleistet. Ausgenommen davon sind die Komponenten für die Rückkopplung des ETCS in den Übergangskonzepten 1 und 2, die nur für die Datenübertragung und Informationszwecke vorgesehen sind, wie das LoRaWAN Kommunikationssystem.

Die Digitalisierungsmerkmale des Übergangskonzepts zeichnen sich durch einen erweiterten Datenaustausch zwischen Infrastruktur und Fahrdienstleiter aus. Dafür fungiert zunächst die LEU als Schnittstelle zwischen den Lichtsignalen, Eurobalisen und einem zentralisierten System. Als Übertragungsmedien können Funk oder Kabelsysteme ähnlich den technischen Anforderungen aus Kapitel 4.6.1 zum Einsatz kommen.

Wie in Unterkapitel 4.6.1 beschrieben, kann die LEU die dynamischen sowie die statischen Streckendaten über die Eurobalisen an die Fahrzeuge übertragen. Sie ist eine nicht standardisierte Kernkomponente des ETCS Level 1. Sie wird nach Streckeneigenschaften und Anwendungsfall spezifisch dimensioniert. Eine direkte Verbindung von einer LEU mit modernen Stellwerken (ESTW oder DSTW) ist zurzeit nicht vorgesehen. Obwohl die meisten Literaturen, wie zum Beispiel Schnieder 2020, die LEU als einen Signaladapter und Konverter von Sicherungssignalen in Telegramme für die Eurobalisen beschreiben, kann die LEU an weitere Module angeschlossen werden.

Der Anschluss der LEU an ein Datenübermittlungsmodul, beispielsweise LoRaWAN, kann als zusätzlicher Kommunikationsweg zwischen Strecke und Fahrdienstleiter dienen. Diese Rückkopplung der ETCS Streckeneinrichtung mit dem Fahrdienstleiter kann verwendet werden, um den aktuellen Zustand der Signallage an eine geeignete Stelle zu übermitteln und zu visualisieren. Diese Informationen können sowohl die Instandhaltung als auch die Fehlersuche im Störfall optimieren, da eine Fehlerquelle schneller gefunden oder ausgeschlossen werden kann und somit die Anlageverfügbarkeit erhöht wird. Außerdem können die Aufzeichnungen der Telegramme verwendet werden, um Unfälle zu rekonstruieren. Voraussetzung dafür ist eine sichere Kabel- oder Funk-Verbindung zwischen dem Fahrdienstleiterraum und den LEUs.

Durch den zusätzlichen Informationsgewinn aus den LEUs können die gewonnenen Daten aus den ETCS Komponenten ausgewertet und zum einen optimierten Betriebsüberblick verwendet werden.

Aufgrund der punktförmigen Datenübertragung, wie in Kapitel 2.4.2 erklärt, ist ein vollständiger Verzicht auf die Lichtsignalisierung nicht möglich.

### **Weitere Entwicklung der Funktionalitäten**

Die System Requirements Specification sind keine unveränderbaren Spezifikationen. Sie werden weiterentwickelt und fortgeschrieben. Mit der Entwicklung neuer Technologien und Verfahren können dem ETCS neue Funktionalitäten hinzugefügt werden. Dies ist jedoch ein zeitintensiver Prozess.

Aus diesem Grund werden hier, vom Autor dieser Thesis, Überlegungen bzw. Vorschläge über ETCS Erweiterungsmöglichkeiten präsentiert. Diese sind nicht verbindlich und ihre tatsächliche Umsetzung kann nicht gewährleistet werden.

Der Datenaustausch zwischen der ETCS Streckenausrüstung und dem Fahrdienstleiter kann in einer weiterentwickelten Form verwendet werden, um Fahrzeuge zu orten. In der Regel erfordert die Sicherungstechnik eine hohe Ortungsgenauigkeit. Für die informativen Verwendungen in dieser Thesis ist eine grobe Positionsbestimmung ausreichend. Diese grobe Positionsbestimmung kann jedoch ebenfalls zur Überprüfung der Belegungszustände von Abstellgleise eingesetzt werden. Dadurch kann ein falsches Rangieren oder Abstellen von Fahrzeugen schneller erkannt werden. Diese Funktionalität ist nur durch eine Kommunikation in Richtung Fahrzeug-Strecke möglich. Damit die streckenseitige ETCS Ausrüstung diese Funktionalität anbieten kann, muss sie nicht nur Daten von Sicherungswegen an die Fahrzeuge senden können, sondern dahingehend erweitert werden, dass sie auch Daten von Fahrzeug

auslesen kann. Dieser Datentransfer ist zurzeit nur zwischen Fahrzeug und RBC in der ETCS Ausrüstungsstufe 2 oder Infill-Radio vorhanden (ERA 2016d).

Wie in der Abbildung 8 dargestellt und im (ERA 2016c) beschrieben ist, können die Eurobalisen durch die Einstellung der Variabel Q\_UPDOWN, zumindest theoretisch, Daten empfangen oder senden. Dadurch wären die Eurobalisen auch in der Lage Daten von Fahrzeugen zu empfangen. Jedoch sind in den aktuellen Spezifikationen im (ERA 2016c) keine Pakete für diese Übertragungsrichtung definiert. Außerdem ist noch keine Hardware spezifiziert, die die empfangenen Daten aus einer Eurobalise auslesen und bearbeiten kann. Mit der Fortschreibung der Spezifikationen kann dies in einer zukünftigen SRS Version implementiert werden.

Bei der Datenübertragung zwischen ETCS Komponenten und Fahrdienstleiterraum muss zunächst der geforderte Sicherheitsstandard Safety Integrity Level (SIL) an die Übermittlungsmedien bestimmt werden. Aufgrund der zweiten Informationsquelle über den Anlagezustand, muss klar definiert sein, wie im Fall von sich widersprechenden Informationen zu handeln ist.

Aufgrund der technischen Eigenschaften und der betrachteten Betriebsfälle des Bft Hohe Schaar wäre die Erweiterung der Funktionalitäten der LEU in Bezug auf die grobe Fahrzeugortung durch die Eurobalisen sinnvoll. Mit der Auslösung von Fehlermeldungen aufgrund von Fahrtfehlern wird die Sicherheit der Anlage erhöht.

Inwieweit diese oder anderen erweiterte Funktionen für die Infrastrukturunternehmen relevant oder interessant sind, muss intern mit den Beteiligten diskutiert werden.

### 4.7.2 Übergangskonzeptvariante ohne Aufwertebalisen

Die Unterschiede zwischen der hier entworfenen Übergangskonzeptvariante und dem luxemburgischen Übergangsmoдел, dargestellt in Kapitel 3.2, liegt in dem Verzicht auf Aufwertebalisen und der Rückkopplung zwischen der ETCS Streckenausrüstung und dem Fahrdienstleiter.

Grund für den Verzicht auf Aufwertebalisen ist die höchste Fahrgeschwindigkeit innerhalb des Bft Hohe Schaar von 40 km/h und die damit einhergehenden kürzeren Bremswege. Des Weiteren verfügt die Bahnanlage über keine 500 Hz Magneten, die wie in Kapitel 2.5.6 erläutert wurde, analog zu einer Aufwertebalise gesehen werden können. Auch weist der Bft Hohe Schaar trotz hoher Auslastung einen niedrigeren Takt auf.

Ein Überblick über das Konzept kann aus Abbildung 47 entnommen werden.

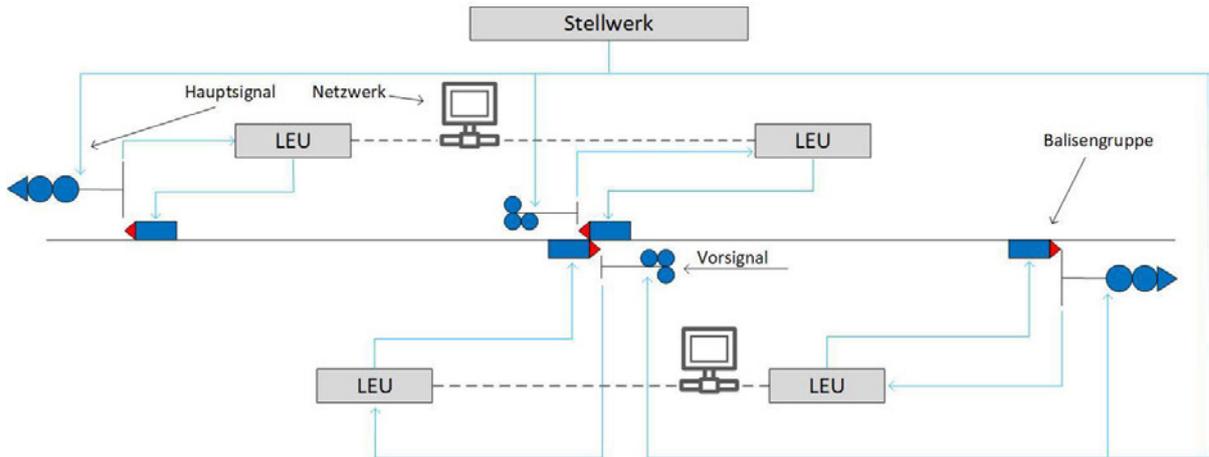


Abbildung 47 ETCS Level 1 FS Konzept für Bft Hohe Schar in Verbindung mit RSTW ohne Aufwertebalisen

Angelehnt an (Arend et al. 2018)

Die LEU erhält die Fahrbegriffe aus den Lichtsignalen, erzeugt die entsprechenden Telegramme und sendet diese an die Eurobalisen. Die Telegramme werden außerdem durch das Netzwerk mit dem Fahrdienstleiter rückgekoppelt und können für Informationsgewinn, Optimierung oder Instandhaltung usw. ausgewertet werden.

Der größte Vorteil dieser Vorgehensweise liegt darin, dass aufgrund des Verzichts auf Aufwertebalisen, die Kosten bei der Implementierung sowie Instandhaltung im Vergleich zum luxemburgischen Konzept, gesenkt werden.

### Rückfallebene

Bei einem Ausfall des ETCS's muss in der Anlage rangiert werden können, ebenso wie in Staff responsible (SR) oder auf mündlichen Auftrag hin gefahren werden können. Da die Vor- und-Hauptsignale unberührt bleiben, können sie alle notwendigen Fahrbegriffe erteilen und das Fahrzeug somit auf Basis von Lichtsignalisierung weiterfahren. Wenn die Fahrzeugelektronik nach der SRS Baseline 3 ausgerüstet ist und das Fahrzeug die PZB 90 Magneten auslesen kann, kann es in den NTC Modus wechseln und mit dem reinen nationalen Zugbeeinflussungssystem gefahren werden.

### 4.7.3 Übergangskonzeptvariante mit Aufwertebalisen

Als zweite Ausführungsvariante wird, im Gegensatz zur vorherigen, die Nutzung von Aufwertebalisen vorgesehen. Die Digitalisierungsmerkmale und die Möglichkeit die Telegramme an den Fahrdienstleiter zu übermitteln, wird hier weiterverfolgt. Dies stellt den Hauptunterschied zum luxemburgischen Übergangsmodell aus Kapitel 3.2 dar.

Ein Überblick über dieses Konzept kann aus der Abbildung 48 entnommen werden.

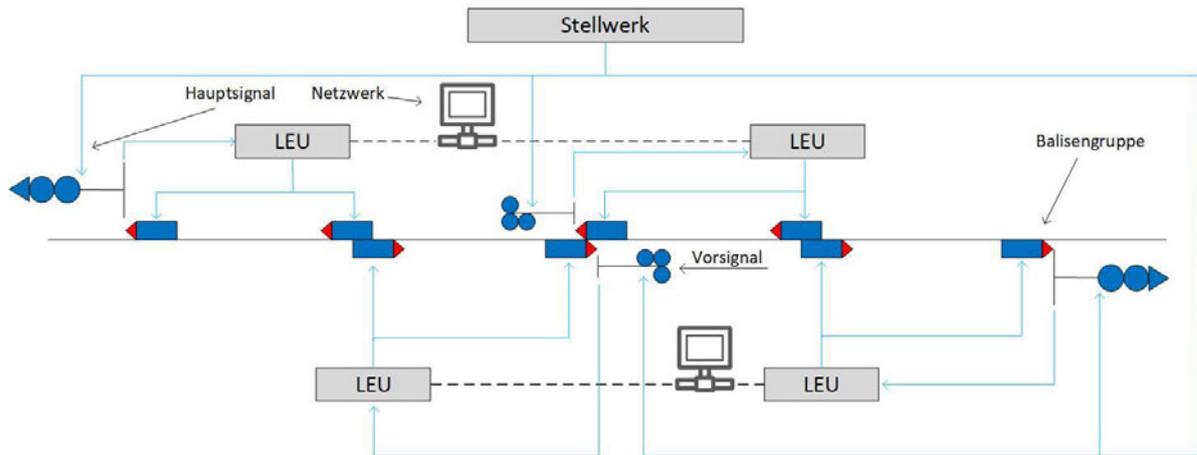


Abbildung 48 ETCS Level 1 FS Konzept für Bft Hohe Schar in Verbindung mit RSTW und Aufwertebalisen

Angelehnt an (Arend et al. 2018)

Die LEU greift auch die Daten von den Signalen zu und übermittelt die entsprechenden Telegramme an die Eurobalisen. Diese werden außerdem durch das Netzwerk mit dem Fahrdienstleiter rückgekoppelt und können für Informationsgewinn, Optimierung oder Instandhaltung usw. ausgewertet werden.

Um unnötige Bremsvorgänge zu unterbrechen und die Strecke effizienter zu nutzen, wird eine Aufwertebalisengruppe zwischen den Standorten der Vor- und Hauptsignale positioniert. Das ergibt drei Balisengruppen in diesem Streckenabschnitt.

### Rückfallebene

Die Rückfallebene dieser Konzeptvariante für den Ausfall des ETCS unterscheidet sich nicht von der beschriebenen Rückfallebene des vorherigen Modells.

## 4.8 Phase 2: Endgültiges Konzept mit zukünftigem DSTW

Basierend auf den Merkmalen der entwickelten Übergangskonzepte aus den Unterkapiteln 4.7 und aus der endgültigen Konzeptvariante des luxemburgischen Konzeptes aus Kapitel 3.3, wird hier eine endgültige ETCS Level 1 FS Variante vorgestellt.

Dieses Konzept baut auf einem neuen Digitalen Stellwerk auf und vereint den Rückbau der ortsfesten Vorsignale mit dem Verzicht auf Aufwertebalisen.

Maßgebend bei diesem Ansatz ist, wie bei dem luxemburgischen Implementierungskonzept, dass das Stellwerk die zu sendenden Telegramme auswählt und funktional unmittelbar mit den Eurobalisen ohne eine Zwischenverbindung über die LEU kommuniziert. Dafür muss das DSTW für diese Verbindung beziehungsweise Funktionen angepasst werden. Durch diese unmittelbare Verbindung können die Telegramme von der Signalisierung entkoppelt und stattdessen an die Fahrstraßenlogik gekoppelt werden. Dadurch sind beispielsweise Eurobalisen für die Repositioning nicht mehr notwendig, da die Fahrstraße über die Balisen an das Fahrzeug übermittelt werden kann.

Ob die Auswahl des Telegramms von der Signalisierung oder von der Fahrstraßenlogik abhängig sein wird, muss in der Projektierungsphase bestimmt werden. Im Rahmen dieser Thesis wird aus Gründen

der Vereinfachung, beispielsweise für die Balisenimplementierung im Kapitel 6, von einer Abhängigkeit von der Signalisierung ausgegangen.

Im Rahmen der Projektierung des Stellwerks muss außerdem die Schnittstelle zwischen DSTW und Eurobalisen definiert werden, da dieser ETCS Komponente keine standardisierte Schnittstelle besitzt, wie im Kapitel 2.7.4 dargestellt ist. Aufgrund dessen werden zukünftige Erweiterungen der Bahnanlage mit weiteren Weichen, Lichtsignalen, Gleisfreimeldeanlage sowie die Instandhaltung einfacher und kostengünstiger. Als Beispiel für die Machbarkeit einer Verbindung bzw. funktionellen Kommunikation zwischen DSTW und Eurobalisen kann die Implementierung des Endzustands des ETCS Level 1 FS in Luxemburg dienen. Hierbei wurde ein Stellwerk des Typs ZSB2000 von Scheidt und Bachmann für diesen Zweck modifiziert.

Das Konzept ist in Abbildung 49 dargestellt und zeigt die Integration aller Zugbeeinflussungskomponenten mit dem Digitalen Stellwerk.

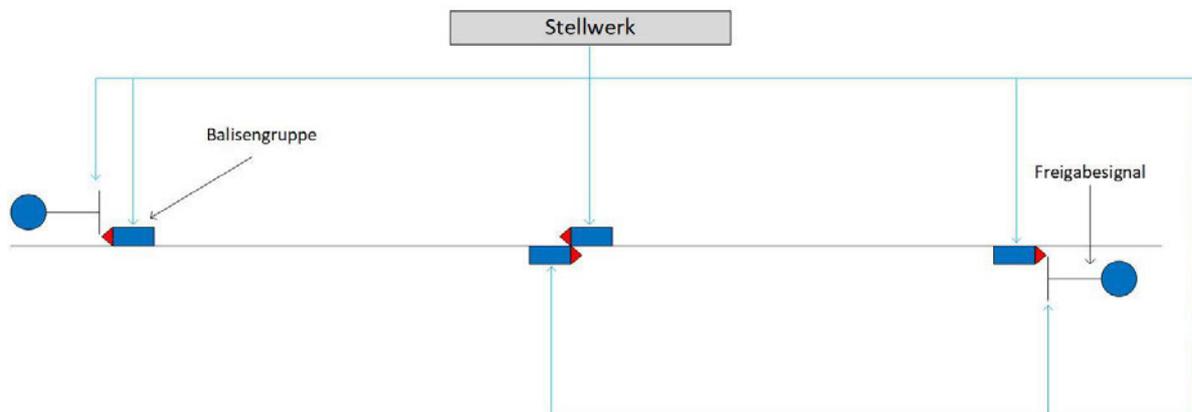


Abbildung 49 ETCS Level 1 Endkonzeptvariante für Bft Hohe Schaar in Verbindung mit dem DSTW Angelehnt an (Arend et al. 2018)

Bezüglich der Freigabesignale sollen bei dem endgültigen Konzept diese aufbaugleich und gemäß Abbildung 38 und Abbildung 39 konzipiert werden. Das vereinfacht deren Ersatz und Beschaffung auf dem Markt.

Wie in Kapitel 2.6.1 erörtert wurde, plant die DB derzeit keine Implementierung von ETCS L1 FS sondern LS auf den deutschen Strecken. Das bedeutet, dass keine vereinfachten Freigabesignale, wie in Luxemburg geplant, vorgesehen sind. Wenn die HPA auf deren Gebiet die vereinfachten Freigabesignale in der Implementierungsphase 2 installieren wollen, müssen sie (HPA) demzufolge überprüfen, ob diese Freigabesignale zu dem Zeitpunkt zulassungsfähig sind.

### Rückfallebene

In den Fahrdienstvorschriften muss festgehalten werden, in welche Betriebsart das Fahrzeug bei einem Ausfall des ETCS's wechseln soll. Die geeignete Betriebsart hängt sowohl von der betroffenen Gleiskategorie als auch von der Art des Ausfalls ab. Soll kein Zugbeeinflussungssystem verfügbar sein, muss beispielsweise rangiert oder in SR (Staff responsible) gefahren werden.

Um die Rückfallebene dieser Konzeptvariante besser darstellen zu können, werden die relevantesten Betriebsausfälle und mögliche Gegenreaktionen in folgende Szenarien unterteilt:

- **Freigabesignale funktionstüchtig und Eurobalisen gestört:** Wenn die Eurobalisen keine Daten mehr empfangen oder senden können und die Freigabesignale funktionieren, können durch die Freigabesignale rudimentäre Fahrbegriffe erteilt werden. Zusätzlich zu den Lichtsignalen können auch per Funk mündliche Fahrbefehle ausgesprochen werden.

Damit ist es möglich einen Fahr-oder-Haltbegriff für den Triebfahrzeugführer zu signalisieren. Da, abgesehen von den Lichtsignalen, kein Zugbeeinflussungssystem wie auch keine Überwachung aktiv ist, übernimmt der Triebfahrzeugführer die Verantwortung für die Zugbewegung. Dabei sind der Bremsweg und der Durchrutschweg zu berücksichtigen.

- **Freigabesignale gestört und Eurobalisen funktionstüchtig:** Im diesem Szenario können die Fahrzeuge die Fahrerlaubnis aus den Eurobalisen auslesen und weiterfahren bis die Fahrerlaubnis beendet ist oder ein Haltbefehl erteilt wird.

Aufgrund der funktionierenden Kommunikation zwischen Fahrzeug und Eurobalisen kann die Fahrt im Modus Full Supervision erfolgen und das Zugbeeinflussungssystem ist aktiv.

Mit der Beendigung der Fahrerlaubnis ist eine Weiterfahrt auf die nächste Balisengruppe durch das gestörte Freigabesignal jedoch nicht möglich. Eine Weiterfahrt kann lediglich durch eine mündliche Freigabe erteilt werden.

Da die zu sendenden Telegramme im Stellwerk bestimmt werden und die Eurobalisen einzeln angesprochen werden können, ist es möglich flexiblere Telegramme an das Fahrzeug zu senden. Dabei können diese Telegramme einen Fahrbefehl enthalten, der das Fahrzeug bis zu einer bestimmten Balisengruppe leitet. Damit kann das Fahrzeug beispielsweise an eine geeignete Stelle, wie ein Abstellgleis, gelotst werden. Somit bleibt der gestörte Abschnitt für andere Fahrten unter Beachtung der Einschränkung frei und für weitere Fahrten verfügbar.

- **Freigabesignale gestört und Eurobalisen gestört:** Bei einem Ausfall von beiden Komponenten muss die Fahrtfreigabe mit dem Fahrdienstleiter abgesprochen werden. Aufgrund des fehlenden Zugbeeinflussungssystems muss jede Zugbewegung in der Verantwortung des Triebfahrzeugführers stattfinden.

Um die Sicherheit in dieser Rückfallebene zu erhöhen, können Wurfbalisen mit den programmierten Streckendaten, wie der erlaubten Höchstgeschwindigkeit und Gradienten, eingesetzt werden.

- **Stellwerkstörung:** Bei einer Stellwerkstörung müssen die Fahrwegelementen wie Weichen und Signalen in eine sichere Lage gebracht werden bzw. den restriktivsten Signalbegriff zeigen. Alle Fahrten müssen in Absprache mit dem Fahrdienstleiter abgestimmt werden. Wurfbalisen mit den programmierten Streckendaten, wie der erlaubten Höchstgeschwindigkeit und Gradienten, können eingesetzt werden.

Ein wichtiger Unterschied zwischen dieser Rückfallebene und der von Übergangskonzepten liegt daran, dass die PZB 90 Magneten nicht verwendet werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Entwicklungsstufe der zum Bft Hohe Schaar angrenzenden Strecken 1253 und 1254 auf dem vorgestellten betrieblichen Zielbild der Deutsche Bahn auf ETCS Level 2 ohne Signalisierung basiert. Aus diesem Grund kann nicht sichergestellt werden, dass alle Fahrzeuge auf PZB 90 Technik reagieren würden.

## 5 Bewertung der verschiedenen Konzepte und Handlungsempfehlung

### 5.1 Bewertungsmethode

Um die vorgestellten Implementierungskonzepte aus Kapitel 3 und die entwickelten Konzepte aus Kapitel 4 miteinander zu vergleichen, wird eine Nutzwertanalyse durchgeführt.

Die Nutzwertanalyse ist ein quantitatives Bewertungsverfahren zur Ermittlung von vorteilhaften Alternativen. Diese Methode ordnet jeder Alternative einen Wert in Abhängigkeit seiner Nutzung zu.

Die Nutzwertanalyse wird schrittweise durchgeführt (IFAA 2012):

- **Erstellen eines Zielsystems:** Ermittlung, Beschreibung und Hierarchisierung der entscheidungsrelevanten Kriterien.
- **Gewichtung der Zielkriterien:** Hiermit wird die Relevanz der Kriterien gewichtet
- **Bestimmung der Zielerträge der einzelnen Konzeptvarianten:** Hiermit wird die Nutzung der jeweiligen Alternativen bezüglich der einzelnen Kriterien benotet.
- **Wertsynthese:** Berechnung des Teilnutzens der Alternative aus der Multiplikation der Zielerträge mit dem Gewichtungsfaktor. Anschließend werden die einzelnen Teilnutzen einer Alternative zu ihrem Gesamtnutzen aufsummiert und mit dem Gesamtnutzen aller Lösungsalternativen verglichen.
- **Bewertung der Lösungsalternativen:** Je größer der Gesamtnutzen, desto besser ist der Zielerreichungsgrad und damit der Rang einer Alternative.

#### Skala

Für die Evaluation wird vereinfacht sowohl für die Kriteriengewichtung als auch für die Kriterienbenotung eine Skala von Eins bis Zehn definiert. Wobei Eins der niedrigsten und Zehn der höchsten Relevanz bzw. Benotung entspricht.

#### Bewertungskriterien

Aus der Analyse der zur Verfügung gestellten Unterlagendaten, einer Besichtigung der Bahnanlage und einem abschließenden Gespräch mit den Projekt-Beteiligten, konnten sieben Kriterien für die Auswahl des geeigneten ETCS-Konzepts für den Bft Hohe Schaar abgeleitet werden. Diese sind untenstehend aufgelistet.

##### 1) Rückfallebene:

Bei diesem Kriterium werden im Fall eines Ausfalls des ETCS Zugbeeinflussungssystems, die zur Verfügung stehenden Systeme zum sicheren Weiterbetrieb betrachtet. Dabei sollen zum Beispiel folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Wie relevant ist der Weiterbetrieb mit dem aktuellen nationalen Zugbeeinflussungssystem im Bestand?
- Inwieweit ist der Weiterbetrieb ohne die ortsfeste Vorsignalisierung möglich?

Bezüglich des Bewertungsschemas wird hierbei ein weiterer Betrieb nur durch mündliche Ansagen als Eins und durch technische Zugbeeinflussung bzw. Lichtsignalisierung als Zehn bewertet.

### 2) Implementierungskosten:

Dieses Bewertungskriterium bezieht sich auf den verfügbaren Investitionsrahmen des Unternehmens für die Implementierung des ETCS-Konzeptes. Neben den allgemeinen Implementierungskosten, wie Planung, Baudurchführung, Abnahme und Inbetriebnahme, ist folgender Gesichtspunkt zu berücksichtigen:

- Ist das Unternehmen bereit und in der Lage mehr zu investieren, um mehr Funktionalitäten zu implementieren, wie zum Beispiel die Optimierung des Betriebs durch den Einsatz von Aufwertebalisen oder durch Informationsübertragungssysteme für die Instandhaltung und Betriebsoptimierung?

Hierbei wird eine hohe Investitionssumme bei gleichzeitig kleiner Anzahl an Funktionalitäten als Eins und eine kleine Investitionssumme mit hoher Anzahl an Funktionalitäten als Zehn bewertet.

### 3) Instandhaltungskosten:

Dieses Bewertungskriterium nimmt Bezug auf alle Instandhaltungskostenaspekte, wie zum Beispiel Instandhaltungsaufwand, materielle und personelle Kosten, Anlageausfallkosten aufgrund von Instandhaltungsarbeiten, etc. Je höher die Instandhaltungskosten desto niedriger fällt die Notenbewertung aus.

### 4) Implementierungsaufwand:

Hierbei werden die Konzeptalternativen bezüglich des benötigten Implementierungsaufwands bewertet. Der Implementierungsaufwand berücksichtigt den Zeitbedarf für die Umsetzung der Konzeptalternative und beinhaltet beispielsweise Sperrpausen für das Hinzufügen eines neuen Zugbeeinflussungssystems sowie die benötigte Zeit für die Planung, Implementierung, Betriebserprobung und Zulassungsverfahren. Je höher der Implementierungsaufwand desto niedriger die Notenbewertung.

### 5) Bedienbarkeit:

Bei diesem Kriterium wird die Steuerungsmöglichkeit einzelner Zugsteuerungs- sowie -beeinflussungssysteme analysiert. Die Relevanz beispielsweise der Zusendungsmöglichkeit von flexibleren Fahraufträgen und Befehlen des Fahrdienstleiters direkt an die Fahrzeuge wird hier berücksichtigt. Je mehr Steuerungsmöglichkeiten realisierbar sind, desto höher die Notenbewertung.

### 6) Funktionalität:

Hierbei wird die Anzahl und Relevanz von möglichen Funktionalitäten, wie beispielweise die Erhöhung des Zugtakts oder der Anlagenverfügbarkeit sowie die Möglichkeit des Parallelbetriebs von nationalen und ETCS Konzepte bewertet. Je höher die Anzahl an relevantesten Funktionalitäten, desto höher ist die Notenbewertung.

### 7) Erweiterbarkeit:

Dieses Bewertungskriterium berücksichtigt den benötigten Aufwand im Fall einer Vergrößerung des Ausrüstungsbereichs und die damit verbundene Erweiterung des Zugbeeinflussungssystems bzw. Neubau und Aufrüstung von Gleisen oder Gleisabschnitten. Je höher der Aufwand, desto niedriger fällt die Bewertung aus.

### Gewichtung der Kriterien

Zur Ermittlung der Gewichtung wurden die Bewertungskriterien den Mitarbeiter der HPA vorgestellt. Anschließend wurden die Kriterien im Rahmen einer Besprechung nach deren Relevanz für das Unternehmen gewichtet. Die Gewichtungen sind in Tabelle 13 dargestellt:

Tabelle 13 Kriterien-Gewichtung

Nr.	Kriterien	Gewichtung
1	Rückfallebene	7
2	Implementierungskosten	10
3	Instandhaltungskosten	5
4	Implementierungsaufwand	2
5	Bedienbarkeit	6
6	Funktionalität	8
7	Erweiterbarkeit	1

Im Folgenden werden die Implementierungskonzepte aus Kapitel 3 und die entwickelten Konzepte aus Kapitel 4 miteinander verglichen und bewertet. Die Kriterienbewertung zusammen mit der Kriterien-gewichtung werden zu jeder Phase in einer Nutzwertanalyse zusammengefasst. Aus der Wertsynthese wird anschließend die jeweils Konzeptalternative mit der höchsten Gesamtbewertung bestimmt.

## 5.2 Phase 1: Übergangskonzepte

Im diesem Abschnitt wird das Übergangskonzept der CFL, die sogenannte „luxemburgische Lösung“, aus Kapitel 3.2 mit den beiden entwickelten Übergangskonzeptvarianten aus Kapiteln 4.7.2 und 4.7.3 verglichen und bewertet.

### Übergangskonzept 1: luxemburgische Lösung

In dieser ETCS Konzeptvariante bleiben die ortsfesten Signale bestehen, müssen aber nicht beachtet werden. Für den ETCS Betrieb haben sie die gleiche Funktion wie ein Freigabesignal und geben dem Triebfahrzeugführer den Fahrbefehl zur Einfahrt in die nächste Balisengruppe.

Aufgrund der fehlenden Rückkopplung der ETCS Ausrüstung mit dem Fahrdienstleiter, kann keine Aussage über die Verfügbarkeit oder Zuverlässigkeit der implementierten ETCS Komponenten getroffen werden, da keine Möglichkeit der Komponentenüberwachung vorhanden ist. Eine Störung des ETCS's kann nur von einem fahrenden Zug detektiert werden.

#### 1) Rückfallebene: Note 10

Falls das ETCS ausfällt, kann genau wie vorher mit dem nationalen Zugbeeinflussungssystem gefahren werden. Bei Nicht-Beachtung der Signalisierung oder das falsche Fahren greifen die PZB 90 Magneten ein. Vorausgesetzt die Fahrzeuge entsprechen der SRS Baseline 3 und können PZB 90 Magneten lesen.

#### 2) Implementierungskosten: Note 7

Das vorhandene Zugbeeinflussungssystem wurde lediglich um die ETCS Level 1 FS Komponenten erweitert. Die Hardwarekosten betreffen die LEUs, die Balisengruppen und deren Anschluss. Die Kosten für Projektierung, Planung, Baudurchführung, Abnahme und Zulassung betrifft nur die neue Anlage.

Durch die Implementierung von Aufwertebalisen zwischen Vor- und Hauptsignalen erhöhen sich die Kosten in jedem Abschnitt jeweils um die Kosten für die zusätzlichen Eurobalisen bzw. Balisengruppen inklusive ihrer dazugehörigen Hardware- sowie Softwarekosten.

### 3) Instandhaltungskosten: Note 7

Aufgrund des parallelen Betriebs mit dem bestehenden Zugbeeinflussungssystem und dem ETCS betreffen die Instandhaltungskosten sowohl die neue Anlage als auch die Anlage im Bestand.

### 4) Implementierungsaufwand: Note 7

Bei der Implementierung des luxemburgischen Übergangskonzeptes war keine Änderung an der vorhandenen Technik (mit der Ausnahme des Signalabgriffs für die LEU) notwendig. Demzufolge bleiben die Bestandsunterlagen, Zulassung und Abnahme der alten Technik weiterhin gültig. Eine Anpassung an Bestandsunterlagen betrifft nur den Signalabgriff der Signale durch die LEU.

Der größte Aufwand besteht aus betriebliche Sicht in den notwendigen Sperrpausen und den damit nicht verfügbaren Gleisen während der Implementierungsphase.

Da in dieser Konzeptvariante Aufwertebalisen vorgesehen sind, müssen die Platzierungen der zusätzlichen Eurobalisen geplant werden. Dadurch erhöht sich der benötigte Aufwand für die Spezifikation, Planung, Bestimmung und Darstellung von Betriebsfällen sowie mögliche Anpassungen an den Fahrdienstvorschriften.

### 5) Bedienbarkeit: Note 10

Trotz implementierter ETCS Ausrüstung bleiben die Bedienung und die Handlungsfehler durch den Bediener unverändert, da die Steuerungselemente wie Stellwerk bzw. Stelltisch nicht geändert werden.

### 6) Funktionalität: Note 8

Mit diesem Konzept wird die vorhandene Anlage um die ETCS Level 1 FS Funktionalitäten erweitert. Damit ist das vorhandene nationale Zugbeeinflussungssystem parallel mit dem europäischen im Betrieb. Somit können Fahrzeuge mit oder ohne ETCS Ausrüstung in der Anlagen verkehren.

Eine Anpassung der Einstellungen an den ETCS Komponenten ist durch die Balisenprogrammierung vor Ort möglich.

Durch das Einsetzen von Aufwertebalisen kann der Zugtakt erhöht werden, indem ein Gleisabschnitt bei vorzeitiger Übermittlung des Fahrauftrages vor dem Erreichen des Hauptsignals schneller verlassen werden kann.

### 7) Erweiterbarkeit: Note 7

Bei Erweiterungen der Infrastruktur der Bahnanlage beispielsweise durch den Neubau von neuen Gleisen oder Weichen müssen diese sowohl mit dem nationalen Zugbeeinflussungssystem als auch mit dem ETCS ausgerüstet werden.

## **Übergangskonzept 2: Aufbauend auf das RSTW, ohne Verwendung von Aufwertebalisen und mit Rückkopplung zum Fahrdienstleiter**

Diese Konzeptvariante hat das Ziel mit niedrigeren Kosten die Funktionalitäten von ETCS Level 1 FS auf dem Bft Hohe Schaar zu implementieren und zusätzlich dazu eine simplifizierte Rückkopplung der ETCS Ausrüstung zum Fahrdienstleiter zu ermöglichen.

Dafür ist der Aufbau einer kostengünstigen Funkstruktur für den Datenaustausch zwischen ETCS Komponenten und Fahrdienstleiterraum in dieser Implementierungsvariante vorgesehen. Damit kann die Übermittlung falscher Telegramme oder ausgefallener ETCS Technik schneller ermittelt werden.

Die Datenübertragung kann vorzugsweise per Funk mit LoRaWAN, wie in Kapitel 4.7.2 erläutert wurde, erfolgen. Der Grund für diese Übertragungsmethode sind die Beschaffungskosten und die einfache und zuverlässige Technik.

Für die Kostensenkung wird im Gegensatz zum vorherigen Übergangskonzept auf Aufwertebalisen verzichtet. Damit kann mindestens eine Eurobalise bzw. Balisengruppe in jeder Fahrstraße eingespart werden.

Der Nachteil dieser Variante ist, dass aufgrund der fehlenden Aufwertebalisen das Fahrzeug die Streckeninformationen in größeren Abständen im Vergleich zum vorherigen Model erhält. Damit ist das schnellere Verlassen eines Gleisabschnitts durch ein vorzeitiges Beschleunigen bei Bremskurven nicht möglich.

Darüber hinaus ist zu klären, ob die Übertragung der Daten aus dem ETCS eine Auswirkung auf den Zulassungsprozess darstellt. Obwohl die Datenübertragung aus den ETCS Komponenten mit LoRaWAN an den Fahrdienstleiter rein informativen Zwecken dient, muss geklärt werden, ob dies zulässig ist, da die Verwendung von LoRaWAN als Übertragungskanal nicht in der TSI oder SRS beschrieben ist.

### 1) Rückfallebene: Note 10

Die Rückfallebene in dieser Konzeptvariante ist identisch mit dem vorherigen Implementierungskonzept.

### 2) Implementierungskosten: Note 9

Die Kosten für Planung, Projektierung, Baudurchführung, Abnahme und Zulassung betreffen nur die neue Anlage und sind aufgrund des Verzichts auf Aufwertebalisen um mindestens eine Eurobalise bzw. Balisengruppe pro Streckenabschnitt geringer als in dem vorherigen Konzept.

Die Hardwarekosten betreffen zusätzlich das LoRaWAN Funksystem, deren Einspeisung, die LEUs, die Balisengruppen und deren Anschluss.

Die Kosten für die Implementierung des LoRaWAN Funksystems für die Überwachung der Eurobalisen und deren Darstellung auf einem Monitor ist ebenso geringer als in dem vorherigen Model, da weniger Eurobalisen zu überwachen sind.

### 3) Instandhaltungskosten: Note 9

Aufgrund des Verzichts auf Aufwertebalisen reduzieren sich die Instandhaltungskosten um mindestens eine Eurobalise bzw. Balisengruppe pro Fahrstraße im Vergleich zu dem vorherigen Model. Andererseits muss in dieser Variante das LoRaWAN Funksystem instandgehalten werden.

4) Implementierungsaufwand: Note 9

Wie in der Implementierung des vorherigen Übergangskonzeptes 1 ist in diesem Konzept keine Anpassungen an der vorhandenen Stellwerktechnik notwendig.

Der Implementierungsaufwand ist aufgrund des Verzichts auf Aufwertebalisen geringer als im vorherigen Model. Jedoch erhöht sich aufgrund des LoRaWAN Übertragungssystems marginal der Implementierungsaufwand. Die sonstigen Implementierungsschritte wie die Begleitung des neuen Vorhabens, Spezifikation der Anforderungen, Bestimmung und Darstellung von Betriebsfällen sowie Anpassungen an den Fahrdienstvorschriften bleiben bestehen.

5) Bedienbarkeit: Note 10

Die Steuerungselemente wie Stellwerk bzw. Stelltisch werden nicht geändert. Die Bedienung und die Handlungsfehler durch den Bediener bleiben trotz implementierter ETCS Ausrüstung unverändert.

6) Funktionalität: Note 9

Aufgrund des Verzichts auf die Aufwertebalisen kann diese Implementierungsvariante den Zugtakt, im Vergleich zum vorherigen Übergangskonzept, nicht erhöhen. Des Weiteren ist die frühere Entlassung aus der Bremskurve wegen der höchsten zulässigen Geschwindigkeit von 40 Km/h nicht relevant. Außerdem erhöht sich durch die Rückkopplung der ETCS Komponenten mittels Funkverbindung die Anlageverfügbarkeit. Die restlichen Funktionalitäten sind identisch mit dem Übergangskonzept 1.

7) Erweiterbarkeit: Note 9

Eine Erweiterung des europäischen Zugbeeinflussungssystems ist in dieser Konzeptvariante ebenso von der Erweiterbarkeit des nationalen Zugbeeinflussungssystems abhängig. Aufgrund des Verzichts auf die Aufwertebalisen ist der Erweiterbarkeitenaufwand geringer als im Übergangskonzept 1. Gleichzeitig erhöht er sich marginal durch die zusätzliche Implementierung des LoRaWAN Funksystems.

**Übergangskonzept 3: Aufbauend auf das RSTW, mit Verwendung von Aufwertebalisen und mit Rückkopplung zum Fahrdienstleiter**

Diese Variante wurde aus dem Übergangskonzept 1, die sogenannte luxemburgische Lösung aus Kapitel 3.2 und aus dem luxemburgischen geplanten Endzustand aus dem Kapitel 3.3 abgeleitet. Der Schwerpunkt in diesem Implementierungskonzept liegt in der Addition der Vorteile beider Konzepte.

Wie im letzten vorgestellten Übergangskonzept 2, ist in dieser Implementierungsvariante auch eine simplifizierte Rückkopplung zwischen der ETCS Ausrüstung und dem Fahrdienstleiter vorgesehen.

Außerdem werden in dieser Konzeptvariante, wie in der luxemburgischen Übergangslösung beschrieben, Aufwertebalisen eingesetzt. Damit sind die Abstände zwischen den Informationspunkten auf der Strecke kleiner. Somit kann beispielsweise ein Fahrzeug während einer Bremskurve die Informationen, um in den nächsten Streckenabschnitt einzufahren, schneller erhalten.

Mit Ausnahme des Funkaufbaus für die ETCS Überwachung, ist diese Variante identisch zum luxemburgischen Konzept. Aufgrund dessen, kann für den Zertifizierungsprozess der HPA Bahnanlage auf die Erfahrungswerte aus dem Zulassungsprozess der CFL Anlage zurückgegriffen werden.

Wie in Übergangskonzept 2 dargestellt, ist die Frage zu klären, ob die über Übermittlung von Daten der ETCS Komponenten über das LoRaWAN an den Fahrdienstleiter aus Informationszwecken zulässig ist.

1) Rückfallebene: Note 10

Die Rückfallebene in dieser Konzeptvariante ist identisch mit dem vorherigen Implementierungskonzept.

2) Implementierungskosten: Note 6

Das vorhandene Zugbeeinflussungssystem bleibt unberührt und die Anlage wird um die ETCS Level 1 Komponenten und das LoRaWAN Funksystem erweitert.

Die Hardwarekosten betreffen im Vergleich zum Übergangskonzept 1 neben den LEU, die Balisengruppen und deren Anschluss auch das LoRaWAN Funksystem und dessen Einspeisung.

Die Kosten für Planung, Projektierung, Baudurchführung, Abnahme und Zulassung betrifft nur die neue ETCS Anlage.

Die Implementierungskosten des Funksystems mit LoRaWAN, für die Überwachung der Eurobalisen und deren Darstellung auf einem Monitor, ist niedrig im Vergleich zu der erhöhten Verfügbarkeit des Zugbeeinflussungssystems und Optimierung der Wartungskosten der Anlage, die durch dessen Nutzung entstehen.

3) Instandhaltungskosten: Note 6

Die Wartungskosten setzen sich wie in der Konzeptvariante 1 aus dem bestehenden Zugbeeinflussungssystem, dem ETCS und zusätzlich der ETCS LoRaWAN Funküberwachung zusammen.

4) Implementierungsaufwand: Note 6

Wie in der Implementierung des Übergangskonzepts 1 ist in diesem Konzept keine Anpassung an der vorhandenen Stellwerktechnik notwendig. Der Mehraufwand ergibt sich durch die Begleitung des neuen Vorhabens inklusive LoRaWAN, Spezifikation der Anforderungen, Bestimmung und Darstellung von Betriebsfällen sowie Anpassungen an den Fahrdienstvorschriften.

5) Bedienbarkeit: Note 10

Trotz implementierter ETCS Ausrüstung mit Aufwertebalisen und LoRaWAN Funksystem bleiben die Bedienung und die Handlungsfehler durch den Bediener unverändert, da die Steuerungselemente wie Stellwerk bzw. Stelltisch nicht verändert werden.

6) Funktionalität: Note 10

Die Funktionalitäten dieser Konzeptvariante können als Teilsumme des Übergangskonzepts 1 und des geplanten Endzustandes des luxemburgischen Modells betrachtet werden. Dabei wird die vorhandene Anlage nicht nur um die ETCS Level 1 FS Funktionalitäten erweitert, sondern auch mit Digitalisierungsmerkmalen ausgestattet. Zur Gewährleistung des Parallelenbetriebs mit den nationalen und europäischen Zugbeeinflussungssystemen bleiben beide in Betrieb.

Wie im geplanten Endzustand der luxemburgischen Lösung vorgesehen, wird durch die Datenübertragung der ETCS Komponenten an den Fahrdienstleiter die ETCS Überwachung eingeführt.

Durch den Aufbau einer kostengünstigen Funkstruktur mit LoRaWAN zwischen streckenseitigen den ETCS Elementen und dem Fahrdienstleiter, können die erzeugten Telegramme und die aktuellen Eurobalisenstatus an die Steuerungszentrale übermittelt und die Eurobalisen dadurch überwacht werden. Aus den gewonnenen Daten kann der Betrieb optimiert werden.

Eine weitere gewonnene Funktionalität ist die Optimierung der Instandhaltung und Erhöhung der Anlageverfügbarkeit. Bei einem Ausfall durch defekte, fehlende oder beispielsweise gestohlene Eurobalisen kann eine Fehlermeldung ausgelöst und an den Fahrdienstleiter gesendet werden. Dadurch können die Instandhaltungsmaßnahmen schneller eingeleitet und die Fehler behoben werden.

Eine Anpassung der Einstellungen an den ETCS Komponenten ist durch die Eurobalisenprogrammierung vor Ort möglich.

7) Erweiterbarkeit: Note

Eine Erweiterung des europäischen Zugbeeinflussungssystems ist in dieser Konzeptvariante ebenso von der Erweiterbarkeit des nationalen Zugbeeinflussungssystems abhängig. Aufgrund der zusätzlichen Aufwertebalisen ist der Erweiterungsaufwand jedoch höher als in Übergangskonzept 2.

**Bewertungsmatrix**

Untenstehend werden die drei Übergangskonzepte in einer Nutzwertmatrix dargestellt (Tabelle 14) und deren wichtigsten Eigenschaften mit der entsprechenden Gewichtung dargestellt.

Tabelle 14 Auswertungsmatrix Übergangskonzepte

Kriterien	Gew.	Übergangskonzept 1		Übergangskonzept 2		Übergangskonzept 3	
		Note	Teilnutzen	Note	Teilnutzen	Note	Teilnutzen
Rückfallebene	7	10	70	10	70	10	70
Implementierungskosten	10	7	70	9	90	6	60
Instandhaltungskosten	5	7	35	9	45	6	30
Implementierungsaufwand	2	7	14	9	18	6	12
Bedienbarkeit	6	10	60	10	60	10	60
Funktionalität	8	8	64	9	72	10	80
Erweiterbarkeit	1	7	7	9	9	6	6
Summe			320		364		318

Nach der Definition, Analyse und Benotung der ausgewählten Bewertungskriterien und Berücksichtigung der entsprechenden Gewichtungen ist festzustellen, dass das Übergangskonzept 2 die optimale ETCS Strategie für den Bft Hohe Schaar darstellt und wird somit als Übergangsimplementierungszustand für Phase 1 empfohlen.

Aufgrund des Verzichts auf Aufwertebalisen sind insbesondere die Faktoren Implementierungskosten und Funktionalität für dieses Model entscheidend.

5.3 Phase 2: Endkonzepte

Nach der Übergangsphase und Erprobung der Übergangskonzepte wird das Zugbeeinflussungssystem zusammen mit dem Austausch des Stellwerks auf den Endzustand gebracht.

Die wesentliche Neuerung ist der Einbau eines modernen elektronischen- oder Digitalen Stellwerks und die Entkoppelung der Telegrammbestimmung von den Signalen. Da die Telegramme vom Stellwerk in Echtzeit ausgewählt werden, sind keine LEUs mehr notwendig.

Im diesem Abschnitt wird das Endkonzept der sogenannten „luxemburgische Lösung“ aus Kapitel 3.3 mit dem entwickelten Endkonzept aus Kapiteln 4.8 verglichen und bewertet.

### **Endzustand 1: luxemburgische Lösung**

Im geplanten Endzustand der ETCS Anlage der CFL wurde eine neue Konzeptvariante, die das alte System ablöst, entwickelt.

Mit der Erneuerung der Stellwerktechnik mit einem ESTW wird das gesamte Zugbeeinflussungssystem nur auf dem neuen ETCS Level 1 basieren.

Die vorhandenen Vor- und Hauptsignale werden rückgebaut und die geplanten Freigabelichtsignale an der Position der Hauptsignale platziert. Dies ist in Abbildung 38 und Abbildung 39 gezeigt.

Durch die funktionelle Verbindung zwischen Stellwerk und ETCS Ausrüstung können die Eurobalisen zudem einzeln angesprochen werden.

#### 1) Rückfallebene: Note 10

Mit dem Rückbau den Vor- und Hauptsignalen des nationalen Zugbeeinflussungssystems wird die Rückfallebene im Endkonzept aus mündlichen Anweisungen, Eurobalisen und aus den vorgesehenen Freigabesignalen bestehen. Da die ETCS Komponenten vom Stellwerk direkt angesprochen werden können, bietet diese Konzeptvariante eine umfangreichere Rückfallebene als die Übergangskonzepte.

Aufgrund der fehlenden Vorsignalisierung, basiert die visuelle Lichtsignalisierung in der Rückfallebene auf den Freigabesignalen, die an der Stelle der vorherigen Hauptsignale platziert sind.

Wenn die Freigabesignale gestört sind, kann das Fahrzeug in der Betriebsart FS bis zum Ende der Fahrt-erlaubnis fahren. Die Fahrtfreigabe bis zur nächsten Balisengruppe bzw. über den nächsten Streckenabschnitt kann mündlich erteilt werden. Eine Alternativ ist die Weiterfahrt in der Betriebsart „Shunting“.

Bei Ausfall beziehungsweise Störung der Eurobalisen oder Unterbrechung der Kommunikation zwischen Stellwerk und Eurobalisen können die Freigabesignale verwendet werden, um grobe Fahrbe-griffe wie Fahrt oder Halt zu zeigen. Im diesem Fall fährt der Triebfahrzeugführer beispielsweise in der Betriebsart „Shunting“ bis zum nächsten Freigabesignal oder zur nächsten funktionierenden Balisen-gruppe.

#### 2) Implementierungskosten: Note 7

Die Hardwarekosten betreffen das neue elektronische Stellwerk, die Balisengruppen, die Aufwertebalisen, die neuen Freigabesignale und deren Anschluss. Aufgrund der neuen Stellwerktechnik müssen die Anschlüsse von allen mit dem neuen ESTW verbundenen Elementen angepasst werden. Dies umfasst unter anderem die Weichen, Signalen und Gleisfreimeldeanlagen.

Die Kosten für Planung und Projektierung sind von den geforderten Spezifikationen abhängig. Um die Implementierungskosten niedriger zu halten, kann die HPA den Bahnbetrieb, die Betriebsfälle und die

Streckeneigenschaften, beispielsweise die zulässige Höchstgeschwindigkeit, unverändert lassen. Damit können die vorhandenen Spezifikationen wie die Stellwerklogik, Durchrutschweg oder Flankenschutz weiterverwendet werden.

Zusätzlich dazu fallen Kosten für die Baudurchführung, Abnahme, Zulassung und Zertifizierung der Anlage an.

### 3) Instandhaltungskosten: Note 7

Nach der Implementierung der neuen Anlage sind die Instandhaltungskosten für die nachfolgenden Jahre niedrig, aufgrund der standardisierten ETCS Komponenten, wie den Eurobalisen, da der Kauf von Ersatzteile nicht auf einen bestimmten Anbieter begrenzt ist. Da das ESTW jedoch über keine standardisierten Schnittstellen verfügt, sind die Anschaffungskosten von Ersatzkomponenten, wie die Gleisfreimeldeanlage, herstellerabhängig und dadurch teuer.

### 4) Implementierungsaufwand: Note 7

Der Implementierungsaufwand hängt von den geforderten Spezifikationen ab. Soll die HPA den Bahnbetrieb, die Betriebsfälle und die Streckeneigenschaften, wie die zulässige Höchstgeschwindigkeit, unverändert lassen, vereinfacht sich dadurch der Aufwand für die Implementierung des neuen Zugbeeinflussungssystems, da wichtige zu bestimmende Parameter, wie Durchrutschweg, Streckengradient oder Flankenschutz, nicht neu geplant werden müssen. Für die Notenvergabe wird angenommen, dass die HPA die Eigenschaften der aktuellen Bahnanlage unverändert lässt.

### 5) Bedienbarkeit: Note 9

Die Bedienung des Stellwerks in diesem Konzept ist im Vergleich zu den Übergangskonzepten flexibler. Zudem kann sie in den Spezifikationen während der Projektierung bestimmt werden.

Da die ETCS Komponenten einzeln angesprochen werden können, können die Lichtsignale direkt gesteuert werden und die Telegramme, wie Fahrtaufträge oder Levelwechselbefehle, direkt an die Eurobalisen gesendet werden.

Aufgrund der höheren Anzahl der möglichen einzustellenden Komponenten, erhöhen sich verglichen mit dem vorherigen Relais Stellwerk die Möglichkeiten von menschlichen Fehlhandlungen beispielsweise durch den Umgang mit der Stellwerklogik oder das falsche Übermitteln eines einzelnen Telegramms.

### 6) Funktionalität: Note 10

Die Eurobalisen beziehungsweise die Balisengruppen können an strategischen Orten platziert werden, die nicht nur an Durchrutschweg und Gradienten orientiert sind, sondern auch dort wo es betrieblich sinnvoll ist. Demzufolge wird im Gegensatz zu den vorherigen Übergangsvarianten die Platzierung der Eurobalisen unabhängig von den vorherigen Lichtsignalen ermöglicht und dadurch die Betriebssteuerung flexibilisiert.

Aufgrund der Rückkopplung des Stellwerks mit den Eurobalisen ist die Überwachung des aktuellen Eurobalisenzustandes möglich. Dadurch wird ein breiterer Überblick über den Anlagezustand ermöglicht und die Instandhaltung optimiert.

Durch das Einsetzen von Aufwertebalisen ist eine vorzeitige Übermittlung eines Fahrauftrages vor dem Erreichen des nächsten Freigabesignals möglich. Somit kann ein Fahrzeug einen Gleisabschnitt schneller verlassen, was wiederum eine höhere Zugtaktung ermöglicht.

7) Erweiterbarkeit: Note 10

Erweiterungen der Anlage wie beispielsweise die Platzierung von weiteren Balisengruppen oder der Einbau weiterer Gleise, Weichen oder Signale, sind aufgrund der standardisierten und herstellerunabhängig eingesetzten ETCS Komponenten aufwendungsärmer als bei den Übergangskonzepten. Außerdem sind Änderungen an der Stellwerkstechnik mittels Umprogrammierung möglich.

**Endkonzept 2: DSTW ohne Aufwertebalisen**

Dieses Endkonzept unterscheidet sich von dem vorherigen Endkonzept im Wesentlichen durch die Implementierung von einem DSTW und den Verzicht auf die Aufwertebalisen.

1) Rückfallebene: Note 8

Aufgrund des Verzichts auf Aufwertebalisen, stehen im Vergleich zum vorherigen Model weniger Übertragungspunkte zur Verfügung. Demzufolge erfolgt die Telegrammübermittlung in größeren Abständen. Dadurch ist die Deckelung der Strecke mit den Eurobalisen auch in der Rückfallebene verglichen zum vorherigen Model geringer. Abgesehen davon ist die Rückfallebene dieser Konzeptvariante identisch zum vorherigen Model.

2) Implementierungskosten: Note 10

Die Implementierungskosten setzen sich analog zur luxemburgischen Endvariante aus den Hardwarekosten wie dem neuen Stellwerk, den Balisengruppen, den neuen Freigabesignalen, der Anpassung und dem Anschluss aller Fahrwegelement an die neue Stellwerkstechnik zusammen.

Aufgrund des Verzichts auf Aufwertebalisen sinken die Implementierungskosten jedoch um mindestens eine Eurobalise bzw. Balisengruppe pro Streckenabschnitt im Vergleich zum vorherigen Model.

3) Instandhaltungskosten: Note 10

Die Instandhaltungskosten sind niedriger im Vergleich zum vorherigen Konzept aufgrund des Verzichts auf Aufwertebalisen und geringere Beschaffungskosten für Ersatzteile bei standardisierten Schnittstellen.

4) Implementierungsaufwand: Note 10

Der Implementierungsaufwand und die Implementierungszeit sind aufgrund des Verzichts von Aufwertebalisen niedriger als im vorherigen Model.

5) Bedienbarkeit: Note 9

Die Bedienung des Stellwerks in diesem Konzept unterscheidet sich zum vorherigen luxemburgischen Konzept in der geringeren Anzahl von verfügbaren Eurobalisen.

Aufgrund der niedrigeren Anzahl von verfügbaren einzustellenden Komponenten verringern sich die Möglichkeiten von menschlichen Fehlhandlungen durch beispielsweise den Umgang mit der Stellwerklogik oder das falsche Übermitteln eines einzelnen Telegramms.

6) Funktionalität: Note 9

Aufgrund des Verzichts auf Aufwertebalisen kann ein Triebfahrzeug einen Gleisabschnitt auch durch eine vorzeitige Übermittlung eines Fahrauftrages vor dem Erreichen des Hauptsignals nicht schneller verlassen. Dadurch ist keine Erhöhung des Zugtakts möglich. Abgesehen davon sind die Funktionalitäten dieser Konzeptvariante identisch zum vorherigen Model.

7) Erweiterbarkeit: Note 10

Die Erweiterbarkeit der Anlage in diesem Konzept beinhaltet die gleichen Eigenschaften wie die luxemburgische Endkonzeptvariante.

Tabelle 15 Auswertungsmatrix Endzustand

Kriterien	Gew.	Endkonzept 1		Endkonzept 2	
		Note	Teilnutzen	Note	Teilnutzen
Rückfallebene	7	10	70	8	56
Implementierungskosten	10	7	70	10	100
Instandhaltungskosten	5	7	35	10	50
Implementierungsaufwand	2	7	14	10	20
Bedienbarkeit	6	9	54	9	54
Funktionalität	8	10	80	9	72
Erweiterbarkeit	1	10	10	10	10
Summe			333		362

Wie der Nutzwertmatrix von Tabelle 15 zu entnehmen ist, erfüllt die entwickelte Endkonzeptvariante 2 am besten die Anforderungen des Bft Hohe Schaar und wird somit als Endimplementierungszustand in Phase 2 empfohlen.

Ähnlich dem ausgewählten Übergangskonzept 2 ist der Verzicht auf Aufwertebalisen und die damit verbundenen Kostenfaktoren ebenso für dieses Konzept entscheidend.

## 6 Konzeptdurchführung

### 6.1 Ausgewählte Betriebsfälle und Konzeptimplementierung

Um eine Vorstellung der Implementierung der empfohlenen Konzepte aus den Kapiteln 5.2 und 5.3 zu ermöglichen, werden diese exemplarisch an einigen, für den Bft Hohe Scharr wichtigen, Betriebsfällen aus der theoretischen Grundlagen der Balisenprojektierung von Kapitel 2.6 in die Praxis umgesetzt.

Dabei handelt es sich lediglich um ein Beispiel zur Visualisierung der Eurobalisen, benötigten Telegrammen und Signalen des betrachteten Abschnitts. Um den Implementierungsaufwand im Rahmen dieser Masterarbeit zu begrenzen, werden zudem nur ausgewählte Streckenabschnitte des HPA Bft Hohe Schaar für die Umsetzung analysiert.

Bezüglich der Eurobalisen-Positionierung werden die Eurobalisen zur Vereinfachung gemäß den Beispielen aus dem Buch „ETCS in Deutschland“ (Trinckauf et al. 2020) 3 m vor den Signalen verlegt. Des Weiteren wird sowohl die Eurobalisenposition als auch die Lichtsignalposition für beide Konzeptvarianten als gleich angenommen.

Aufgrund der niedrigeren Höchstgeschwindigkeit von 40 Km/h wird der größte Abstand zwischen zwei Eurobalisen gemäß der Gleichung 1 von Kapitel 2.6.1 bestimmt

$$d_{min} = 2,6 \text{ m} + 0,2 \text{ s} * 11,11 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 4,822 \text{ m}$$

Die verwendete Kilometerangabe für die Positionierung der Eurobalisen wurde aus den zur Verfügung gestellten Unterlagen des HPA Bft Hohe Schaar entnommen. Die vorgesehenen Kilometerangaben der Eurobalisen in den Streckenabschnitten, die in die Zuständigkeit der Deutsche Bahn AG fallen, müssen im Rahmen der Implementierung angefragt werden.

Des Weiteren wird bei der Balisenimplementierung auf den Kostenfaktor geachtet. Je weniger Eurobalisen eingesetzt werden, desto niedriger sind die Anschaffung- und Programmierungskosten für die Eurobalisen und LEUs.

### 6.2 Implementierung des Übergangs- und endgültigen Konzeptes

Eine mögliche Eurobalisenverlegung in den Übergangs- sowie Endkonzepten werden nachfolgend dargestellt.

Es ist zu beachten, dass trotz unterschiedlicher Stellwerktechnik und Lichtsignalisierung im Übergangs- und Endkonzept die Anzahl der Eurobalisen sowie die Eurobalisenpositionen nicht angepasst werden müssen. Das liegt daran, dass bei dem endgültigen Konzept die Hauptsignale durch Freigabesignale ersetzt und die Vorsignale rückgebaut werden. Dabei bleiben die Streckeneigenschaften wie Neigungsprofil und höchstzulassene Geschwindigkeit unberührt. Ein weiterer Grund dafür ist, dass die Logik der Telegramme in der Phase 2 auf der Außensignalisierung basiert, wie in Kapitel 4.8 festgelegt wurde. Daher sind die Eurobalisen für die Repositioning in beiden Phasen notwendig und der Ort der Eurobalisenplatzierung in den Implementierungsphasen 1 und 2 gleich.

Aus Gründen der Wiedererkennung wurden die Eurobalisen in den Bestandsunterlagen der HPA in Abbildung 50 in Rot hinzugefügt und mit den benötigten Informationen ergänzt. Die wichtigsten Betriebsfälle werden im Folgenden erläutert. Die Symbole für die Eurobalisen werden nach Abbildung 17 aus Kapitel 2.6.1 verwendet.

**Einfahrt in den Bft Hohe Schaar - Levelwechsel von ETCS Level 2 in das ETCS Level 1 FS**

Es wird zunächst angenommen, dass an den angrenzenden Stecken zum Bft Hohe Schaar mit ETCS Level 2 verkehrt wird. Demzufolge wird bei der Einfahrt in den Bft Hohe Schaar ein Levelwechsel von Ausrüstungslevel 2 auf Level 1 stattfinden. Die Eurobalisenverlegung kann der Abbildung 50 entnommen werden.

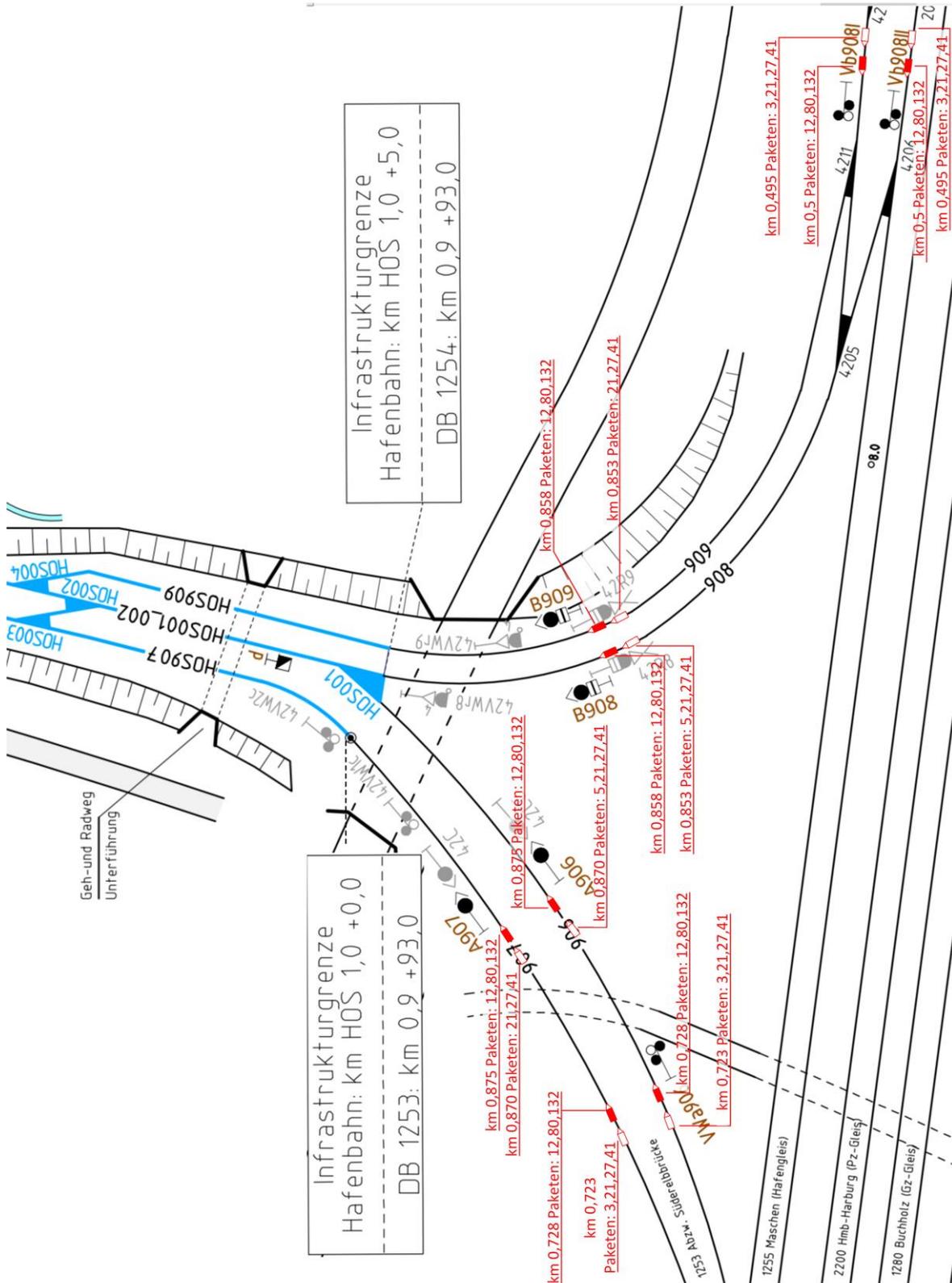


Abbildung 50 Eurobalisenimplementierung mit Levelwechsel bei der Einfahrt in den Bft Hohe Schaar

Wie aus der Abbildung 50 zu erkennen ist, fängt der Levelwechsel an den Vorsignalen mit der Ankündigung des Levelwechsels durch das Paket 41 an. Die dynamischen und statischen Werte der Strecke

werden mit den Paketen 3, 21 und 27 zusammen mit einer gültigen Fahrerlaubnis Level 1 aus Paket 12 übermittelt.

An den Einfahrsignalen A906 und A907 sowie Zwischensignalen B908 und B909 wird die Transition von Ausrüstungslevel 2 in Ausrüstungslevel 1 eingeleitet. Der Ort des Levelwechsels ist angelehnt an Abbildung 29 und erfolgt einige Meter nach dem Grenzsinal.

Das Paket 5 (Linking) vor den Signalen A906 und B908 dient der Repositionierung und wird im nächsten Abschnitt erläutert.

Das Paket 80 (Mode Profile) wird übermittelt, falls in dem Bereich rangiert wird.

Das Paket 132 (Danger for Shunting information) kann implementiert werden, um eine unerlaubte Rangierfahrt zu verhindern.

### **Sonstige Fahrten**

Hier werden die Fahrten ab den Einfahrsignalen bzw. Zwischensignalen A906, A907, B908 und B909 in Richtung der Signale R105, R116 und die Einfahrt in den Rangierbezirk Pollhornweg betrachtet.

- **Fahrt vom Signal B908 oder A906 zum Signal R116 oder R105:** In den Festdatenbalisen vor diesen Signalen sind die gültigen dynamischen sowie die statischen Werte des nächsten Streckenabschnittes sowie der Befehl zum Levelwechsel in den Paketen 3, 21, 27 und 41 gespeichert. Wenn das Signal B908 bzw. A906 Fahrt anzeigt, werden die Pakete 12 und 132 übermittelt. Bei Rangierfahrten ab diesen Signalen wird das vorgesehene Profil für Rangierfahrten mit dem Paket 80 übermittelt. Dabei darf das Paket 132 nicht übermittelt werden, da dieses das Fahrzeug in den Tripmodus versetzen würde.

An der Weiche HOS002 kann das Fahrzeug entweder über das Gleis HOS105 oder HOS106 fahren. Obwohl die Fahrstraße eingestellt und der Fahrweg für das Stellwerk eindeutig definiert ist, kennt das Fahrzeug weder die genaue Entfernung zum Ziel noch auf welchem Gleis es fährt. Aus diesem Grund werden die Eurobalisen mit dem Paket 5 (Linking) und 16 (Repositioning Information) an der Weichenspitze HOS004 platziert, um dem Fahrzeug die genaue Position und Entfernung zum Ziel zu übermitteln.

Die Eurobalisen an den Vorsignalen r105 und r116 beinhalten die Information über den nächsten Streckenabschnitt sowie eine gültige Fahrerlaubnis bis zum Hauptsinal R105 bzw. R116.

- **Fahrt vom Signal B909 zum Signal R116 oder vom Signal A907 zum Signal R105:** Wenn das Signal B909 bzw. Signal A907 Fahrt anzeigt, erfolgt die Paketimplementierung analog zu den Fahrten von den Signalen B908 und A906 zu den Signalen R116 oder R105. Der Unterschied liegt daran, dass keine Repositionierung notwendig ist. Dies liegt daran, dass der Fahrweg für das Fahrzeug durch die Übermittlung der Pakete 3, 12, 21 und 27 eindeutig ist.
- **Rangierfahrten ab den Signalen A907, A906, B908 und B909:** Wenn die Signale A907, A906, B908 und B909 Halt anzeigen und eine Rangierfahrt stattfinden soll, werden die Pakete 3, 21, 27 und 80 übermittelt. Das Paket 132 darf nicht übermittelt werden, sonst wird das Fahrzeug auf Tripmodus versetzt.

- **Rangierfahrten von Gleis HOS106 in den Rangierbezirk Pollhornweg über den Bahnübergang 1949 und 557a:** In der konsultierten Literatur gibt es verschiedene Möglichkeiten Bahnübergänge mit ETCS zu sichern. Im Kapitel 2.6.3 wurde die Sicherung von Bahnübergängen mithilfe von Langsamfahrstellen beschrieben. Andere Möglichkeiten sind die Sicherung des Bahnübergangs durch die Übermittlung von Fahrerlaubnissen, die dem Fahrzeug bei einem nicht gesicherten Bahnübergang zu halten befehlen oder die Sicherung der Einfahrt in den Rangierbezirk durch den Rangiermodus.

Die Sicherung des Bahnübergangs für die Einfahrt in den Rangierbezirk Pollhornweg durch die Implementierung einer Langsamfahrstelle, wie im Kapitel 2.6.3 erläutert, ist nicht möglich. Grund hierfür ist, dass der EVC die Pakete 65 (Temporary Speed Restriction) und 66 (Temporary Speed Restriction Revocation) im Rangiermodus ignoriert (ERA 2016a). In der konsultierten Literatur (Schnieder 2020), (Trinckauf et al. 2020) und ERA-Subsets ist die Realisierung von Langsamfahrstellen in der Betriebsart Shunting nicht beschrieben. Eine Alternative zur Erzeugung einer Langsamfahrstelle bietet die Übermittlung des Pakets 3 (National Values), welches die Variabel V\_NVSHUNT beinhaltet. Damit kann zunächst die höchstzulassene Rangiergeschwindigkeit vor dem Bahnübergang reduziert werden. Beim Überfahren des Bahnübergangs wird die höchstzulassene Rangiergeschwindigkeit durch ein erneutes Zusenden des Pakets 3 wieder auf dem ursprünglichen Wert eingestellt. Diese Alternative ist zwar unerforscht, jedoch dennoch möglich.

Wie in der o.g. Lösung dargestellt wurde, kann die Einfahrt in den Rangierbezirk Pollhornweg mit ETCS gesichert werden. Jedoch ist dies mit großem Aufwand und Implementierungskosten verbunden. Die Wirtschaftlichkeit und die Kosten/Nutzung-Analyse muss seitens des Betreibers ausgewertet werden.

Im Rahmen dieser Thesis wird die Sicherung des Bahnübergangs durch das Rangieren und die Beachtung mündlicher Befehle und Außensignalisierung realisiert, da diese Variante keine Eingriffe oder Änderungen an der aktuellen Technik erfordert.

Die Eurobalisenimplementierung und die dazugehörigen Pakete sind in Abbildung 51 eingetragen.

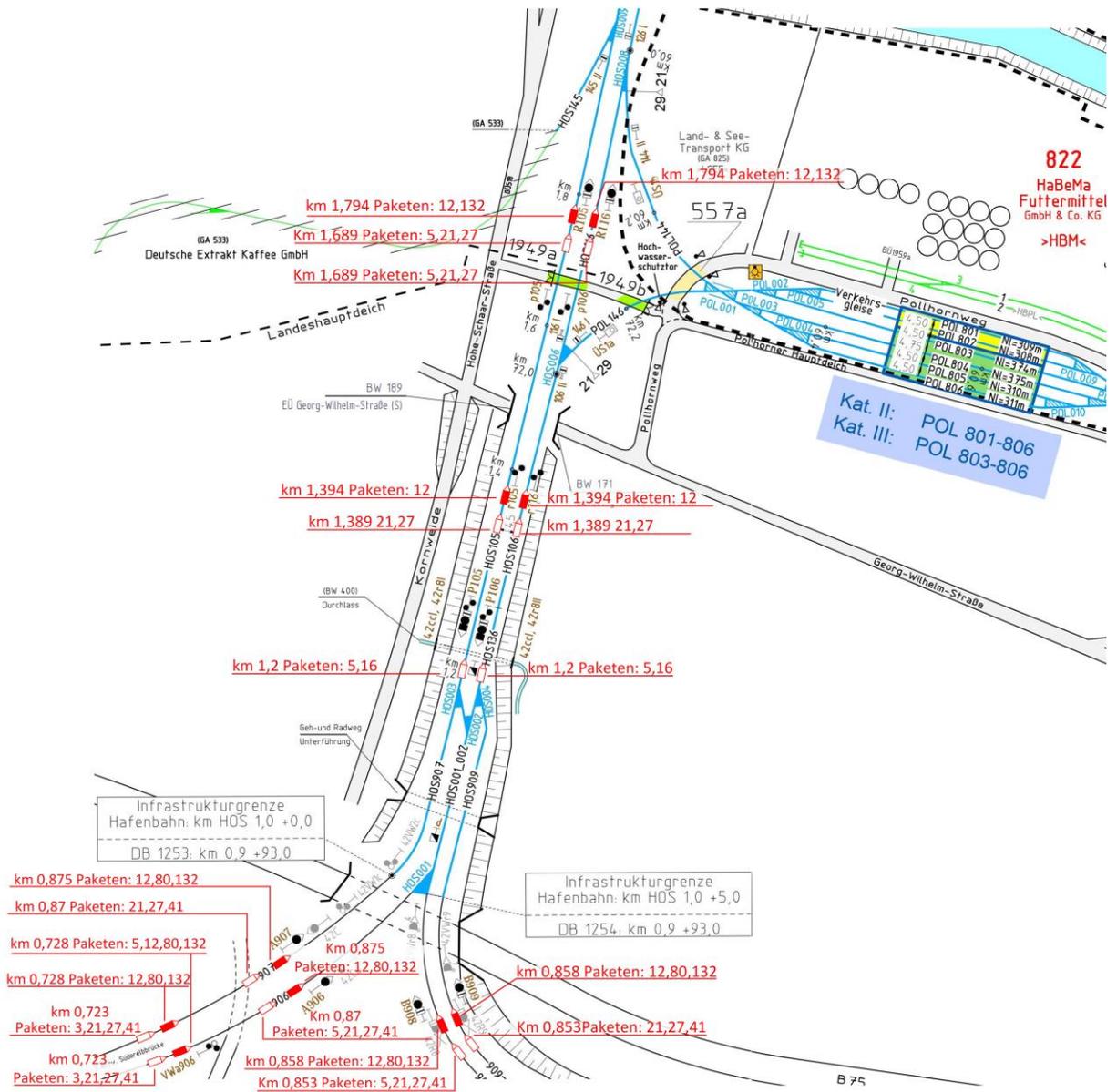


Abbildung 51 Eurobalisenimplementierung im Bft Hohe Schaar für sonstige Fahrten

Um die Anzahl von Festdatenbalisen zu reduzieren, können die Pakete mit statischen Werten beispielsweise die Paketen 3, 21 und 27 auch von der LEU zusammen mit den Fahrtbegriffen an die Transparenndatenbalisen übermittelt werden. Diese Möglichkeit kann im Rahmen der Paketprojektierung untersucht und geklärt werden.

## 7 Zusammenfassung

Die europäische Union hat das Ziel die verschiedenen Eisenbahnsysteme im europäischen Raum interoperabel zu gestalten. Dafür wurde das Projekt „European Rail Traffic Management System“ (ERTMS) initiiert, welches das Eisenbahnsystem in Systemgebiete unterteilt.

Das European Train Control System (ETCS) ist ein Systemgebiet des ERTMS. Seine Spezifikationen sind in den System Requirements Specifications (SRS) beschrieben und die technischen Spezifikationen werden von der europäischen Eisenbahnagentur (ERA) in Subsets unterteilt und veröffentlicht.

Das ETCS verfügt über verschiedene Ausrüstungsstufen und Betriebsarten. Die Implementierung von ETCS Ausrüstungsstufe 2 oder 3 ist hauptsächlich für Hauptbahnen mit höherer Zugdichte, höherem Takt und höherer Geschwindigkeit wirtschaftlich sinnvoll.

Die Deutsche Bahn beabsichtigt in den nächsten Jahren die Implementierung von ETCS Level 2 ohne Signalisierung (L2oS) auf ihren Hauptnetzen. Damit die Anschlussbahnen interoperabel mit den angrenzenden Hauptstrecken bleiben, müssen diese auf das neue System umgerüstet werden.

Auf Nebenbahnen werden in der Regel mit niedrigeren Geschwindigkeiten <100 km/h, Zugdichten und Takten gefahren. Aus diesem Grund wird die Implementierung des ETCS mit der Ausrüstungsstufe 1 bevorzugt, da keine Funkstruktur oder Aufbau einer RBC notwendig ist.

In der Fachliteratur werden die Grundlagen von ETCS Zugbeeinflussungssystemen und deren Anforderungen in genereller Form ausreichend behandelt siehe (Schnieder 2020), (Trinckauf et al. 2020). Es fehlt jedoch der Bezug zur Praxis. Aus diesem Grund wurden im Rahmen dieser Masterthesis Strategien zur Implementierung von ETCS Level 1 in der Betriebsart Full Supervision auf Nebenbahnen am Beispiel des Bft Hohe Schaar im Zuständigkeitsbereich der Hamburg Port Authority durchgeführt. Dies beinhaltete die Recherche und Analyse vorhandener ETCS Level 1 Infrastrukturen im europäischen Raum, die Entwicklung und Auswahl eines geeigneten Konzeptes sowie ein Implementierungsbeispiel der Eurobalisen und die Bestimmung notwendiger Datenpakete.

Es wird Jahre dauern, bis auf allen Hauptstrecken der DB rein auf ETCS Level 2 ohne Signale verkehrt wird. Demzufolge ist es sinnvoll die Implementierung von ETCS auf Nebenbahnen in zwei Phasen aufzuteilen.

In der ersten Phase soll ein Übergangskonzept implementiert werden, das einen Parallelbetrieb von ETCS Level 1 und den nationalen Zugbeeinflussungssystem (NTC) ermöglicht. Dies soll auf Basis vorhandener Stellwerktechnik und dem vorhandenen Zugbeeinflussungssystem basieren. Dadurch können beispielsweise Erfahrungswerte für die Planung der neueren Funktionalitäten für den Endzustand der Anlage mit der Umrüstung auf das DSTW sowie für den Zulassungsprozess gesammelt werden.

In der zweiten Phase soll ein endgültiges Konzept implementiert werden, das nur auf ETCS Level 1 basiert und eine Umstellung der Stellwerktechnik und Fahrwegsicherung auf den neuen Stand der Technik umsetzt.

Um ein geeignetes ETCS Konzept für die Fallstudie dieser Arbeit zu entwerfen, wurden zuerst vorhandene Konzepte aus der Literatur untersucht und deren Applikabilität auf Nebenbahnen analysiert. Darauf aufbauend wurden eigene Konzepte entwickelt und mittels Nutzwertanalyse, basiert auf unternehmensspezifischen Bewertungskriterien, miteinander verglichen und bewertet. Das Ergebnis wurde

als Handlungsempfehlung für die Implementierung eines geeigneten Übergangs- sowie Endkonzepts für den Bft Hohe Schaar ausgesprochen.

Aufgrund der niedrigeren Fahrgeschwindigkeiten, erforderlichen Betriebsarten und dem hohen Kostendruck wurde in beiden ausgewählten Konzepten auf Aufwertebalisen verzichtet. Im Übergangskonzept wurde eine rudimentäre Rückkopplung zwischen Eurobalisen und Fahrdienstleiter vorgesehen, um den aktuellen Betriebsstatus und weitere Informationen von Eurobalisen zu erhalten. Anlässlich der Installation einer neuen standardisierten Stellwerktechnik und der damit verbundenen Möglichkeit die ETCS Komponenten direkt anzusprechen und anzusteuern, bietet das Endkonzept ein hohes Maß an Bedienbarkeit, Flexibilität und geringeren Instandhaltungskosten.

Des Weiteren wurden für den Studienfall relevante Betriebsfälle wie der Levelwechsel von Ausrüstungslevel 2 auf den Hauptstrecken 1253 und 1254 der DB in das Ausrüstungslevel 1 in die Nebenbahnstrecken im Zuständigkeitsbereich der HPA, Rangierfahrten und Fahrten im Zusammenhang mit dem ETCS analysiert.

Um eine Vorstellung der praktischen Umsetzung der empfohlenen Konzepte und betrachteten Betriebsfälle zu ermöglichen, wurden die vorgesehene Eurobalisen bzw. Balisengruppen für das Übergangs- sowie Endkonzept zusammen mit den zu übermittelnden Paketen in ausgewählten Streckenabschnitten des HPA Bft Hohe Schaar auf dem Lagerplan eingetragen.

Schlussendlich erfüllen die ausgewählten Konzepte die Anforderungen des Bft Hohe Schaar an ein betriebsgerechtes ETCS Zugbeeinflussungssystem. Die Konzepte stellen somit eine optimale Kombination zwischen Funktionalität und Preis-Leistungs-Verhältnis für die Aufgaben der untersuchten Bahnanlage dar.

## 8 Ausblick

Die in dieser Thesis nicht betrachteten Aspekte sind die Erstellung eines Leitfadens für den Zulassungsprozess des zu implementierenden europäischen Zugbeeinflussungssystems, im Zusammenhang mit dem Parallelbetrieb des nationalen Zugbeeinflussungssystems während der Übergangskonzeptphase. Diese Aspekte eignen sich für weiterführende Untersuchungen.

Die Erstellung eines ausführlichen ETCS-Lastenhefts für den Bft Hohe Schaar ist sowohl für den Implementierungsprozess als auch für den Zulassungsprozess relevant. Des Weiteren ist festzustellen, ob das entwickelte ETCS Konzept für den Bft Hohe Schaar auch für die anderen Bahnhofsteile im Zuständigkeitsbereich der HPA einsetzbar ist.

Über das vorgestellte Implementierungskonzept hinaus kann in weiteren Studienarbeiten die Bestimmung der Anforderungen an die Übermittlungssysteme behandelt werden, wie zum Beispiel LoRaWAN oder die Auswahl der benötigten Hardware für die Rückkopplung des ETCS-Übergangskonzepts mittels Datenübertragung an den Fahrdienstleiter.

Zur Ausdetaillierung der ausgearbeiteten Konzepte in dieser Thesis muss zudem die benötigte Hardware wie LEUs, Stellwerken und Eurobalisen sowie die Bestimmung der zugehörigen Variablen bestimmt werden.

Mit der Weiterentwicklung der SRS und der Subsets kann in der Zukunft eine Kommunikation in Richtung Zug-Eurobalisen vorgesehen sein. Dies kann verwendet werden, um die vorhandenen Funktionalitäten der entwickelten Konzepte zu erweitern und damit weitere Vorteile mit sich bringen.

## 9 Literaturverzeichnis

ADLER, Gerhard (Hg.) (1981): Lexikon der Eisenbahn. Unter Mitarbeit von Gerhard Adler, Wolfgang Fenner, Peter Franke, Karl Hofmann, Günter Schümborg und Klaus Töpfer. 6. Aufl. Berlin: Transpress.

AREND, Lionel; POTT, Laurent; HOFFMANN, Nico; SCHANCK, Ronny (2018): ETCS Level 2 ohne GSM-R. Unter Mitarbeit von Lionel Arend, Laurent Pott, Nico Hoffmann und Ronny Schanck. Hg. v. Eurailpress. Société Nationale des Chemins de Fer Luxembourgeois (Signal + Draht, 110). Online verfügbar unter [https://www.eurailpress.de/fileadmin/user\\_upload/SD\\_10-2018\\_Arend\\_Pott\\_Hoffmann\\_Schnack.pdf](https://www.eurailpress.de/fileadmin/user_upload/SD_10-2018_Arend_Pott_Hoffmann_Schnack.pdf), zuletzt aktualisiert am 10.2018, zuletzt geprüft am 22.02.2022.

DB-Richtlinie 481.0302, 10.12.2017: Bahnbetrieb - Telekommunikationsanlagen bedienen. Online verfügbar unter [https://fahrweg.dbnetze.com/resource/blob/1355976/f6c3fe6766de8d2b4c59a09dc52ef276/rw\\_481-0302\\_a02-data.pdf](https://fahrweg.dbnetze.com/resource/blob/1355976/f6c3fe6766de8d2b4c59a09dc52ef276/rw_481-0302_a02-data.pdf), zuletzt geprüft am 22.01.2022.

DB-Richtlinie 418.8300Z01, 14.09.2017: Bahnbetrieb - Triebfahrzeugführerheft.

BUSSE, Matthias (1996): Der optimierte Einsatz von ETCS-Bremskurven. Dissertation. Technische Universität Dresden, Dresden. Fakultät für Verkehrswissenschaften "Friedrich List".

CFL (2022): Netz. Société Nationale des Chemins de Fer Luxembourgeois. Luxemburg. Online verfügbar unter <https://groupe.cfl.lu/de-de/network>, zuletzt aktualisiert am 12.01.2022, zuletzt geprüft am 22.01.2022.

Das beste Lexikon (Hg.) (2021): Blockkennzeichen. Online verfügbar unter <https://www.dasbestelexikon.de/wiki/Blockkennzeichen>, zuletzt aktualisiert am 19.12.2021, zuletzt geprüft am 03.01.2022.

DB NETZ AG (2019a): Die digitale Revolution im Schienennetz. Informationen zur Digitalen Leit- und Sicherungstechnik bei der DB Netz AG. Online verfügbar unter [https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/kunden/nutzungsbedingungen/digitale\\_ist/allgemein-3084902](https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/kunden/nutzungsbedingungen/digitale_ist/allgemein-3084902), zuletzt aktualisiert am 2019, zuletzt geprüft am 22.01.2022.

DB NETZ AG (2019b): Die Digitale LST bei der DB Netz AG. Eine Einführung in die Digitale Stellwerkstechnik (DSTW). Hg. v. Dr. Andreas Kaltenbach (Fachvortrag BF Bahnen, I.NVZ 23). Online verfügbar unter [https://www.bfbahnen.de/attachments/article/58/Digitale\\_Stellwerkstechnik\\_Fachvortrag\\_BF%20Bahnen.pdf](https://www.bfbahnen.de/attachments/article/58/Digitale_Stellwerkstechnik_Fachvortrag_BF%20Bahnen.pdf), zuletzt aktualisiert am 14.05.2019, zuletzt geprüft am 22.01.2022.

DB NETZ AG (2021): Betriebliches Zielbild 1.0. Entwurf. Unter Mitarbeit von W. Braun, M. Kopitzki und T. Nenke P. Möller (I.NBB 41).

DB NETZE (2014): European Train Control System (ETCS) bei der DB Netz AG. Die Basis der Zukunft. Unter Mitarbeit von G. Wagner, M. Lautenschläger, U. Miethe, R. Braum, F. Kniestedt, DB AG und A. Mann. Hg. v. DB Netz AG. Online verfügbar unter [https://www.deutschebahn.com/resource/blob/1303328/d9556ec0c860abb53cf07bfc693f79d/Anhang\\_Themendienst\\_ETCS-data.pdf](https://www.deutschebahn.com/resource/blob/1303328/d9556ec0c860abb53cf07bfc693f79d/Anhang_Themendienst_ETCS-data.pdf), zuletzt aktualisiert am April 2014, zuletzt geprüft am 22.01.2022.

ERA (2015): System Requirements Specification. EuroRadio FIS. Subset 37. Unter Mitarbeit von UNISIG und EEIG ERTMS USERS GROUP. Hg. v. European Rail Agency. European Rail Agency (Subset 037).

Online verfügbar unter [https://www.era.europa.eu/sites/default/files/filesystem/ertms/ccs\\_tsi\\_annex\\_a\\_-\\_mandatory\\_specifications/set\\_of\\_specifications\\_3\\_etcs\\_b3\\_r2\\_gsm-r\\_b1/index010\\_-\\_subset-037\\_v320.pdf](https://www.era.europa.eu/sites/default/files/filesystem/ertms/ccs_tsi_annex_a_-_mandatory_specifications/set_of_specifications_3_etcs_b3_r2_gsm-r_b1/index010_-_subset-037_v320.pdf), zuletzt aktualisiert am 17.12.2015, zuletzt geprüft am 22.09.2021.

ERA (2016a): System Requirements Specification. Chapter 4 Modes and Transitions. Subset 026-4. Unter Mitarbeit von UNISIG und EEIG ERTMS USERS GROUP. Hg. v. European Rail Agency. European Rail Agency (Subset 026-4). Online verfügbar unter [https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-3-etcs-b3-r2-gsm-r-b1\\_en](https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-3-etcs-b3-r2-gsm-r-b1_en), zuletzt aktualisiert am 13.05.2016, zuletzt geprüft am 22.01.2022.

ERA (2016b): System Requirements Specification. Chapter 5 Procedures. Subset 026-5. Unter Mitarbeit von UNISIG und EEIG ERTMS USERS GROUP. Hg. v. European Rail Agency. European Rail Agency (Subset 026-5). Online verfügbar unter [https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-3-etcs-b3-r2-gsm-r-b1\\_en](https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-3-etcs-b3-r2-gsm-r-b1_en), zuletzt aktualisiert am 13.05.2016, zuletzt geprüft am 22.01.2022.

ERA (2016c): System Requirements Specification. Chapter 7 ERTMS/ETCS language. Subset 026-7. Unter Mitarbeit von UNISIG und EEIG ERTMS USERS GROUP. Hg. v. European Rail Agency. European Rail Agency (Subset 026-7). Online verfügbar unter [https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-3-etcs-b3-r2-gsm-r-b1\\_en](https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-3-etcs-b3-r2-gsm-r-b1_en), zuletzt aktualisiert am 13.05.2016, zuletzt geprüft am 22.01.2022.

ERA (2016d): System Requirements Specification. Chapter 8 Messages. Subset 026-8. Unter Mitarbeit von UNISIG und EEIG ERTMS USERS GROUP. Hg. v. European Rail Agency. European Rail Agency (Subset 026-8). Online verfügbar unter [https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-3-etcs-b3-r2-gsm-r-b1\\_en](https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-3-etcs-b3-r2-gsm-r-b1_en), zuletzt aktualisiert am 13.05.2016, zuletzt geprüft am 22.01.2022.

ERA (2021): Assignment of values to ETCS variables. Unter Mitarbeit von ERTMS UNIT. Hg. v. European Rail Agency. European Rail Agency. Online verfügbar unter [https://www.era.europa.eu/sites/default/files/activities/docs/ertms\\_040001\\_etcs\\_variables\\_values\\_en.pdf](https://www.era.europa.eu/sites/default/files/activities/docs/ertms_040001_etcs_variables_values_en.pdf), zuletzt aktualisiert am 20.10.2021, zuletzt geprüft am 22.01.2022.

EU-Richtlinie 96/48/EG, 23.07.1996: EU-Richtlinie 96/48/EG. Online verfügbar unter <https://www.ce-zeichen.de/templates/ce-zei/richtlinien/bahn-96-48-eg.pdf>, zuletzt geprüft am 22.01.2022.

FRANK ZWANZIGER (2021): Wissenswerte rechtliche Grundlagen für den Bau und Betrieb von Eisenbahnen. Hg. v. System Bahn. Online verfügbar unter <https://www.system-bahn.net/aktuell/wissenswert-rechtliche-grundlagen-fuer-den-bau-und-betrieb-von-eisenbahnen/>, zuletzt geprüft am 02.01.2022.

HPA (2020): Angaben zu den örtlichen Zusätzen für den Bahnhof Hamburg Hafen Bft Hmb Hohe Schaar. Unter Mitarbeit von Veh, Zakschewski und Rosebrock. Hg. v. Hamburg Port Authority. Hamburg Port Authority.

HPA (2021): Zerrplan Bft Hmb Hohe Schaar. Hg. v. Hamburg Port Authority. Hamburg Port Authority.

IFAA (Hg.) (2012): Methodensammlung zur Unternehmensprozessoptimierung. Unter Mitarbeit von Norbert Baszenski. Institut für Angewandte Arbeitswissenschaft. 4., aktualisierte Aufl. Köln: Wirtschaftsverl. Bachem (Die ifaa-Taschenbuchreihe). Online verfügbar unter [https://www.arbeitswissenschaft.net/fileadmin/Downloads/Angebote\\_und\\_Produkte/Buecher/ifaa\\_2012\\_Methodensammlung\\_Prozessoptimierung.pdf](https://www.arbeitswissenschaft.net/fileadmin/Downloads/Angebote_und_Produkte/Buecher/ifaa_2012_Methodensammlung_Prozessoptimierung.pdf).

KOPPENWALLNER, Victoria: Hamburger Hafen. Hg. v. Goruma. Online verfügbar unter <https://www.goruma.de/staedte/hamburg/hamburger-hafen>, zuletzt geprüft am 06.07.2021.

- MASCHEK, Ulrich (1996): Analyse zur Gestaltung elektronischer Stellwerke. Diplomarbeit. Technische Universität Dresden, Dresden. Fakultät für Verkehrswissenschaften "Friedrich List".
- MULLER, Christian (2018): Die CFL zieht Bilanz und sieht sich auf Kurs – 22,9 Millionen Passagiere. Hg. v. Tageblatt Lëtzebuerg. Editpress Luxembourg s.a. Online verfügbar unter <https://www.tageblatt.lu/headlines/die-cfl-zieht-bilanz-und-sieht-sich-auf-kurs-229-millionen-passagiere/>, zuletzt aktualisiert am 18.06.2018, zuletzt geprüft am 22.01.2022.
- PACHL, Jörn (2018): Systemtechnik des Schienenverkehrs. Bahnbetrieb planen, steuern und sichern. 9. Aufl. 2018. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (SpringerLink Bücher).
- SBB CFF FFS (2016a): Prinzipien und Projektierungsregeln für ETCS-Ländertransitionen. Unter Mitarbeit von Stefan Wiedmer und Frank Pulfer Alfred Essig. Hg. v. Geschäftseinheit SAZ und Systemführerschaft ETCS CH. Schweizerische Bundesbahnen, Chemins de fer fédéraux suisses, Ferrovie federali svizzere. Schweiz. Online verfügbar unter [https://www.bav.admin.ch/dam/bav/fr/dokumente/themen/zugbeeinflussung/14-sf-sys-pr-eatb-v30.pdf.download.pdf/14\\_SF\\_SYS\\_Pr\\_EatB\\_V30.pdf](https://www.bav.admin.ch/dam/bav/fr/dokumente/themen/zugbeeinflussung/14-sf-sys-pr-eatb-v30.pdf.download.pdf/14_SF_SYS_Pr_EatB_V30.pdf), zuletzt aktualisiert am 29.07.2016, zuletzt geprüft am 22.01.2022.
- SBB CFF FFS (2016b): Projektierungsregeln Level 1 LS. Update SRS 3.5.0 et al. Unter Mitarbeit von Stefan Wiedmer und Frank Pulfer Alfred Essig. Hg. v. Geschäftseinheit SAZ und Systemführerschaft ETCS CH. Schweizerische Bundesbahnen, Chemins de fer fédéraux suisses, Ferrovie federali svizzere. Schweiz. Online verfügbar unter [https://www.bav.admin.ch/dam/bav/fr/dokumente/themen/zugbeeinflussung/08-pl1ls-sys-regeln-l1ls-v21.pdf.download.pdf/08\\_PL1LS\\_SYS\\_RegelnL1LS\\_V21.pdf](https://www.bav.admin.ch/dam/bav/fr/dokumente/themen/zugbeeinflussung/08-pl1ls-sys-regeln-l1ls-v21.pdf.download.pdf/08_PL1LS_SYS_RegelnL1LS_V21.pdf), zuletzt aktualisiert am 18.04.2016, zuletzt geprüft am 22.01.2022.
- SCHNIEDER, Lars (2020): European Train Control System (ETCS). Einführung in das Einheitliche Europäische Zugbeeinflussungssystem. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg. Online verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6362779>.
- TRINCKAUF, Jochen; MASCHEK, Ulrich; KAHL, Richard; KRAHL, Claudia (Hg.) (2020): ETCS in Deutschland. 1. Auflage 2020. Leverkusen: PMC Media House. Online verfügbar unter [http://www.content-select.com/index.php?id=bib\\_view&ean=9783962452339](http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783962452339).
- UNISIG (2015a): FFFIS for Eurobalise. SUBSET-036. ERTMS/ETCS. Hg. v. UNISIG (SUBSET-036). Online verfügbar unter [https://www.era.europa.eu/sites/default/files/filesystem/ertms/ccs\\_tsi\\_annex\\_a\\_-\\_mandatory\\_specifications/set\\_of\\_specifications\\_3\\_etcs\\_b3\\_r2\\_gsm-r\\_b1/index009\\_-\\_subset-036\\_v310.pdf](https://www.era.europa.eu/sites/default/files/filesystem/ertms/ccs_tsi_annex_a_-_mandatory_specifications/set_of_specifications_3_etcs_b3_r2_gsm-r_b1/index009_-_subset-036_v310.pdf), zuletzt aktualisiert am 17.12.2015, zuletzt geprüft am 22.01.2022.
- UNISIG (2015b): Specific Transmission Module FFFIS. SUBSET-035. ERTMS/ETCS. Hg. v. UNISIG (SUBSET-035). Online verfügbar unter [https://www.era.europa.eu/sites/default/files/filesystem/ertms/ccs\\_tsi\\_annex\\_a\\_-\\_mandatory\\_specifications/set\\_of\\_specifications\\_3\\_etcs\\_b3\\_r2\\_gsm-r\\_b1/index008\\_-\\_subset-035\\_v320.pdf](https://www.era.europa.eu/sites/default/files/filesystem/ertms/ccs_tsi_annex_a_-_mandatory_specifications/set_of_specifications_3_etcs_b3_r2_gsm-r_b1/index008_-_subset-035_v320.pdf), zuletzt aktualisiert am 16.12.2015, zuletzt geprüft am 22.01.2022.

## 10 Anhangsverzeichnis

Anhang A Paketliste Übertragungsrichtung Strecke-Fahrzeug .....	94
Anhang B Zerrplan Bft Hohe Schaar .....	96
Anhang C Punktförmige Zugbeeinflussung am Bft Hohe Schaar .....	97
Anhang D mechanisch ortsgesteuerten Weichen im Bft Hohe Schaar .....	98

**Anhang A Paketliste Übertragungsrichtung Strecke-Fahrzeug**

(ERA 2016c)

<b>Packet Number</b>	<b>Packet Name</b>	<b>Page N° (Seitennummer in UNISIG Subset 026-7)</b>
0	Virtual Balise Cover marker	12
2	System Version order	12
3	National Values	12
5	Linking	15
6	Virtual Balise Cover order	16
12	Level 1 Movement Authority	16
13	Staff Responsible distance information from loop	18
15	Level 2/3 Movement Authority	18
16	Repositioning Information	19
21	Gradient Profile	19
27	International Static Speed Profile	20
39	Track Condition Change of traction system	20
40	Track Condition Change of allowed current consumption	21
41	Level Transition Order	21
42	Session Management	22
44	Data used by applications outside the ERTMS/ETCS system.	22
45	Radio Network registration	22
46	Conditional Level Transition Order	23
49	List of balises for SH Area	23
51	Axle load Speed Profile	23
52	Permitted Braking Distance Information	24
57	Movement Authority Request Parameters	25
58	Position Report Parameters	25
63	List of Balises in SR Authority	26
64	Inhibition of revocable TSRs from balises in L2/3	26
65	Temporary Speed Restriction	26
66	Temporary Speed Restriction Revocation	26
67	Track Condition Big Metal Masses	27
68	Track Condition	27
69	Track Condition Station Platforms	28
70	Route Suitability Data	28
71	Adhesion Factor	29
72	Packet for sending plain text messages	30
76	Packet for sending fixed text messages	30
79	Geographical Position Information	31

## Anhangsverzeichnis

80	Mode profile	32
88	Level crossing information	32
90	Track Ahead Free up to level 2/3 transition location	33
131	RBC transition order	33
132	Danger for Shunting information	34
133	Radio infill area information	34
134	EOLM Packet	34
135	Stop Shunting on desk opening	35
136	Infill location reference	35
137	Stop if in Staff Responsible	35
138	Reversing area information	36
139	Reversing supervision information	36
140	Train running number from RBC	36
141	Default Gradient for Temporary Speed Restriction	36
143	Session Management with neighbouring Radio Infill Unit	37
145	Inhibition of balise group message consistency reaction	37
180	LSSMA display toggle order	37
181	Generic LS function marker	38
254	Default balise, loop or RIU information	38
255	End of Information	38



## Anhang C Punktförmige Zugbeeinflussung am Bft Hohe Schaar

(HPA 2020)

**1.18 Punktförmige Zugbeeinflussung**

Bahnhofsteil	Signal	1000 Hz	2000 Hz
Hmb Hohe Schaar	A906		X
	A907		X
	B908		X
	b908	X	
	B909		X
	b909	X	
	42c (an P105)	X	
	42cc (an P105 / P106)	X	
	42r8 (an P105 / P106)	X	
	42r9 (an P106)	X	
	N207		X
	n207	X	
	P105		X
	p105	X	
	P106		X
	p106	X	
	P803		X
	p803	X	
	P804		X
	p804	X	
	R105		X
	r105	X <sup>1)</sup>	
	R116		X
	r116	X <sup>1)</sup>	
	R214		X
	r214	X <sup>1)</sup>	
	R215		X
	r215	X <sup>1)</sup>	
	S023		X
	S214		X
	s214	X <sup>1)</sup>	
	S215		X
	s215	X <sup>1)</sup>	
	S216		X
	s216	X <sup>1)</sup>	
	S236		X
	s236	X <sup>1)</sup>	
	Ls 006I		X
	Ls 007I		X

<sup>1)</sup> = ständig wirksam

## Anhang D mechanisch ortsgesteuerten Weichen im Bft Hohe Schaar.

(HPA 2020)

Weichennummer	Hebelgewicht	Grundstellung	Bemerkungen
<b>Blumensand</b>			
HOS341		zur Fahrt nach links	
HOS342			in der Lage zur Fahrt nach links verschl.
HOS343			in der Lage zur Fahrt nach rechts verschl.
HOS344		zur Fahrt nach rechts	
HOS345		zur Fahrt nach links	
<b>Hohe Schaar</b>			
HOS162		zur Fahrt nach links	abhängig zu Gs165, Schlüssel bei Hof
HOS226		zur Fahrt nach rechts	
HOS228			
HOS294			Schlüssel bei Hof
HOS297			
HOS298			
HOS299			
HOS301			
HOS302			
HOS303			
HOS304			
HOS317		zur Fahrt nach links	
HOS320			

Weichennummer	Hebelgewicht	Grundstellung	Bemerkungen
<b>Kattwykdamm</b>			
KAT001		zur Fahrt nach links	
KAT006			in der Lage zur Fahrt nach links verschl.
<b>Pollhornweg</b>			
POL001			DKW
POL002			
POL003			
POL004			
POL005			
POL009			
POL010			
POL011		zur Fahrt nach links	
POL012		zur Fahrt nach rechts	
POL013		gerade	DKW
POL015		zur Fahrt nach links	
POL016			
<b>Reiherstieg Ost</b>			
REO024			
REO081			
REO082			
REO084			
REO092			
REO096			
<b>Rethe</b>			
RET415			zeitweise in der Lage zur Fahrt nach rechts verschlossen, Schlüssel bei EVOS
RET416			