

Smartrail 4.0 Architektur

Grundkonzept

Firma:	SBB
Vertraulichkeit:	Intern
Zuletzt geändert:	08.11.2019 17:55
Zuletzt geändert durch:	LIA STEINER
Dokumenten-Status:	Freigegeben
Version:	1.0
Dateiname:	architektur-grundkonzept_v1.0.docx

Abstract

Um die die Ziele von smartrail 4.0 zu erreichen sind zahlreiche neue technischen Fähigkeiten in den Produktionssystemen zu schaffen. Um die technischen Fähigkeiten zu erlangen müssen die entsprechenden technischen Voraussetzungen geschaffen werden, wobei diese auch grosse technische Neuerungen enthalten.

In der Systemarchitektur wird die Zerlegung in Teilsysteme für einen positiven Einfluss auf die Lebenszykluskosten (LCC) und die Erfüllung der Qualitätsattribute optimiert. Dazu gibt es Kriterien für die Aufteilung in Teilsysteme, verlangte technische Eigenschaften und ein entsprechendes Vorgehen.

1 Änderungsnachweise

Version	Datum	Autor	Änderungshinweise
0.1	30.06.2019	M. Kuhn	erstellt
0.2	11.08.2019	M. Kuhn	Überarbeitet nach Review
0.3	08.11.2019	M. Kuhn	Überarbeitet nach formalen Review STASS

2 Verarbeitete Reviews

Reviewer	Datum	Link Review-Bericht / Verifikationsbericht	Verarbeitung abgeschlossen am/vom
M. Messerli A. Brand B. Rytz St. Unterberger B. Soom B. Rigazzi St. Kaloustian P. Moosmann R. Weber B. Oldache Ch. Nänni	3.7.2019 – 31.07.2019	Kommentare	11.08.2019 / M.Kuhn
Formales Review STASS	06.11.2019	Grundkonzept ARC.xlsx	08.11.2019

Achtung: Reviewbemerkungen werden grundsätzlich über Kommentare angebracht. Der Reviewverarbeiter beschreibt im Kommentar (Kommentar ergänzen), wie er mit dem Kommentar umgegangen ist. Kommentare werden nie gelöscht.

3 Freigegeben durch Autor, (Verifizierer), Projektleiter

Version	Datum	Freigebender	Unterschrift / Gez.
1.0	08.11.2019	Markus Kuhn	Gez. M.Kuhn

Inhalt

1	Änderungsnachweise	2
2	Verarbeitete Reviews	2
3	Freigegeben durch Autor, (Verifizierer), Projektleiter	2
4	Zusammenfassung	5
5	Ausgangslage und Aufgabenstellung	5
5.1	Heutige Systemstruktur	5
5.2	Stärken der aktuellen Systemstruktur	6
5.2.1	Integration verschiedenster Stellwerktechnologien in die Betriebszentrale	6
5.2.2	Integration zwischen Planung, Disposition und Leittechnik	6
5.2.3	Erfüllung hoher Ansprüche in Bezug auf Safety und Verfügbarkeit	6
5.2.4	Langfristige Wartung der Systeme	7
5.3	Schwächen der aktuellen Systemstruktur	7
5.3.1	Heterogene Systemlandschaft	7
5.3.2	Stellwerke, RBC und Leitsystem als monolithische Systeme	7
5.3.3	Spezifische Stellwerklogik für die Schweiz	7
5.3.4	Nicht strikt entlang Sicherheitsanforderungen geschnitten	7
5.3.5	Sicherheit in gewissen Bereichen von manuellen Prozessen abhängig	7
5.3.6	RBC als Add-On	8
5.3.7	Hoher Projektierungsaufwand	8
6	Ziele und Akzeptanzkriterien	8
6.1	Relevante Ziele von SR40	8
6.2	Wichtigste Qualitätsattribute	8
6.3	Weitere wichtige Vorgaben	8
7	Konzept	9
7.1	Grundstrategie zur maximalen Infrastrukturausnutzung	9
7.2	Technisches Grundkonzept	9
7.2.1	Technische Fähigkeiten	11
7.2.2	Technische Massnahmen	12
7.3	Systemarchitektur	14
7.3.1	Bedeutung der Systemarchitektur für die Zielerreichung	14
7.3.2	Kriterien für Aufteilung in Teilsysteme	14
7.3.3	Technische Eigenschaften	16
7.3.4	Vorgehen	17
7.4	Grundstruktur von smartrail 4.0	17
7.4.1	Traffic Management System (TMS)	18
7.4.2	ETCS Stellwerk	18
7.4.3	Connectivity	18
7.4.4	Präzise Lokalisierung	18
7.4.5	Automatic Train Operation (ATO)	18
7.4.6	Fahrzeugausrüstung COAT (CCS onboard application platform for trackside related functions)	18

7.4.7	Physische Bahninfrastruktur	18
8	Offene Punkte	18
9	Verzeichnisse	19
9.1	Glossar / Glossar-Referenz	19
9.2	Grafik-Verzeichnis	19
9.3	Tabellenverzeichnis	19
9.4	Quellen / Referenzen	19

4 Zusammenfassung

Um die Ziele von smartrail 4.0 zu erreichen sind zahlreiche neue technische Fähigkeiten von den Systemen zur Planung, Steuerung und Sicherung des Zugverkehrs und anderer Bewegungen im Gleisfeld nötig. Diese technischen Fähigkeiten sind im Bereich der Lokalisierung der Fahrzeuge, dem Erlauben von Bewegungen, der Stellwerklogik, dem dichteren Zugverkehr, der Migration in grossen Segmenten und der günstigeren Projektierung. Um diese technischen Fähigkeiten zu erlangen, müssen die entsprechenden technischen Voraussetzungen in diesen Bereichen geschaffen werden, wobei diese auch grosse technische Neuerungen enthalten.

Die heutige Systemstruktur hat neben einigen Stärken auch Nachteile wie heterogene Systemlandschaft, monolithische Systeme oder spezifische Lösungen für die Schweiz. Um diese Nachteile zu beheben soll die Systemarchitektur klar auf die Ziele von smartrail 4.0 ausgerichtet werden und die Lebenszykluskosten (LCC) gesenkt und die Qualitätsattribute erfüllt werden. Dazu gibt es Kriterien für die Aufteilung in Teilsysteme, verlangte technische Eigenschaften und ein entsprechendes Vorgehen.

Zu den Kriterien für die Aufteilung in Teilsysteme gehören unter anderem ein möglichst dünner Safety Layer, Separation entlang der erwarteten Lebenszyklen, ein modularer Baukasten und schmale und gut testbare Schnittstellen.

Zu den verlangten technischen Eigenschaften gehören Massnahmen bei den Schnittstellen, Plattformen für portable Softwareapplikationen und geografische Regionalisierung vom Systems.

Das Vorgehen enthält die Standardisierung von Schnittstellen sowie das Model-Based System Engineering (MBSE).

Zweck dieses Dokuments:

Dieses Dokument definiert das grundlegende technische Konzept für die smartrail 4.0 Architektur in dem die benötigten technischen Fähigkeiten und Eigenschaften definiert werden und den Zusammenhang zu den Zielen aufzeigt. Damit bildet dieses Dokument die Basis für die weiteren Architekturarbeiten. All die funktionalen Erweiterungen wie zum Beispiel die „Automatische Fahrplanplanung“ und „Optimierten Flächenprozesse“ sind genau mit den Feature beschrieben und darum in diesem Dokument nicht nochmals beschrieben.

5 Ausgangslage und Aufgabenstellung

Das Programm smartrail 4.0 konzipiert die Systeme zur Planung, Steuerung und Sicherung des Zugverkehrs und anderer Bewegungen im Gleisfeld grundlegend neu unter Verwendung von neuen Ansätzen und Technologien. Ein Teil der neuen Ansätze liegen in der Systemarchitektur und leisten einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Ziele. Dieses Kapitel beschreibt die Grenzen des betrachteten Systems, sowie die heutige Systemstruktur, inkl. den wichtigsten Stärken und Schwächen.

5.1 Heutige Systemstruktur

Die heutige Systemstruktur für die Planung, Steuerung und Sicherung des Zugverkehrs und anderer Bewegungen im Gleisfeld besteht aus mehreren, weitgehend unabhängigen Systemen.

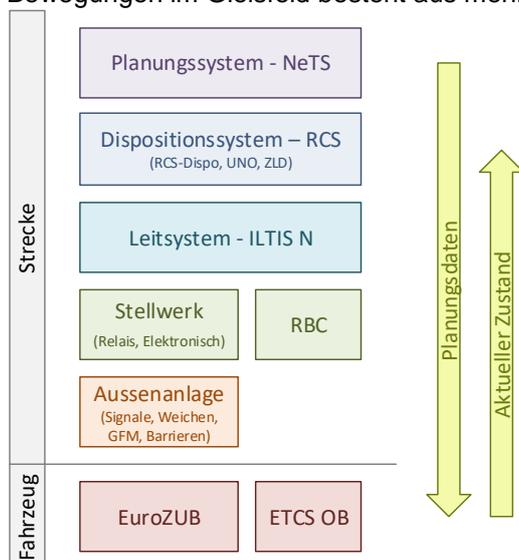


Abbildung 1 Heutige Systemstruktur

Planungssystem - NeTS	Das Planungssystem - NeTS ist das zentrale System um den Fahrplan zu erzeugen. Dies enthält neben der Konstruktion des Fahrplanes auch die Abwicklung der Bestellungen von den EVU.
Dispositionssystem – RCS (RCS Dispo, UNO, ZLD)	Das Disposystem - RCS erlaubt den Eisenbahnverkehr zu überwachen und auf Abweichungen und Vorfälle mit den passenden Massnahmen zu reagieren.
Leitsystem – ILTIS N	Das Leitsystem – ILTIS N ermöglicht die Anzeige und Steuerung von Zugverkehr aus der Betriebszentrale, indem einerseits die Stellwerke angezeigt und bedient werden können und andererseits indem ein Teil der Tätigkeiten automatisiert werden (Bsp: Zuglenkung).
Stellwerk	Das Stellwerk enthält die Verschlusslogik, welche die Fahrwegfreiheit für Züge garantiert.
RBC	Das RBC überträgt die Bewegungserlaubnis aus dem Stellwerk an den Zug, damit diese mittels Führerstandssignalisation angezeigt und überwacht werden kann.
Aussenanlage	Die Aussenanlagen erlauben es die Position vom Zug zu detektieren (GFM), die Bewegungserlaubnis anzuzeigen (Signale) sowie die Befahrbarkeit vom Fahrweg sicherzustellen (Weichen, Barrieren).
Euro-ZUB	Das Euro-ZUB ist überwacht die Geschwindigkeit und greift ein falls der Lokführer nicht rechtzeitig vor einem Halt zeigenden Signal bremst.
ETCS OBU	Die ETCS On-Bord Unit interagiert mit dem RBC damit die Bewegungserlaubnis mittels Führerstandssignalisation angezeigt und überwacht werden kann.

Tabelle 1 Systeme der heutigen Systemstruktur

Planungsdaten	Die Planungsdaten werden vom Planungssystem über das Disposystem an das Leitsystem geliefert, wo diese dann zur automatischen Zuglenkung verwendet werden.
Aktueller Zustand	Vom Fahrzeug und den Aussenanlagen wird der aktuelle Zustand über das Stellwerk/RBC und Leitsystem an das Disposystem geliefert

Tabelle 2 Wichtigste ausgetauschte Daten in der heutigen Systemstruktur

5.2 Stärken der aktuellen Systemstruktur

5.2.1 Integration verschiedenster Stellwerktechnologien in die Betriebszentrale

Obwohl im Feld eine Vielzahl von verschiedenen Typen von Relaisstellwerken und elektronischen Stellwerken vorhanden sind, können alle diese Stellwerke aus der Betriebszentrale ferngesteuert und damit der Zugverkehr weitgehend automatisiert werden. Die Unterstützung von verschiedenen Stellwerken erlaubt einen sehr langen Lebenszyklus der Stellwerke.

5.2.2 Integration zwischen Planung, Disposition und Leittechnik

Neben der Tatsache, dass überhaupt flächendeckende Planung-, Disposition- und Leitsystem existieren, sind diese auch über Schnittstellen verbunden und die wichtigsten Daten werden ausgetauscht. Damit ist ein effizienter Betrieb möglich, bei dem die Daten nicht durch den Menschen transferiert werden.

5.2.3 Erfüllung hoher Ansprüche in Bezug auf Safety und Verfügbarkeit

Die Systeme erfüllen abgestuft die benötigten Anforderungen bezüglich Safety und Verfügbarkeit. Stellwerke, RBC, Euro-ZUB und ETCS-OB stellen die Sicherheit (Safety) vom Zugverkehr sicher. Zusätzlich ermöglicht das Leitsystem die sichere (safe) Anzeige und Bedienung durch den Bediener in der BZ. Für die Verfügbarkeit sind die Systeme redundant ausgelegt. Hinzu kommt noch, dass die Stellwerke und das Leitsystem dezentral als mehrere Instanzen laufen und dadurch bei einem allfälligen Ausfall nur ein beschränktes Gebiet betroffen ist und nicht die ganze Schweiz.

5.2.4 Langfristige Wartung der Systeme

Die Wartung der Systeme ist langfristig möglich, da einerseits mit den Lieferanten der Stellwerke, RBC und Leitsysteme eine langfristige Zusammenarbeit besteht und auf der anderen Seite das Disposystem und Planungssystem Eigenentwicklungen sind, für welche eine aktive Entwicklungs-, Wartungs- und Betriebsorganisation besteht.

5.3 Schwächen der aktuellen Systemstruktur

5.3.1 Heterogene Systemlandschaft

Die bestehende Systemlandschaft ist sehr heterogen, insbesondere in Bezug auf die folgenden Punkte:

- Unterschiedliche Konzepte und Datenmodelle:
Die verschiedenen Systeme wurden weitgehend unabhängig voneinander entwickelt, wodurch dies auf unterschiedliche Konzepte und Datenmodelle basieren. Dies betrifft nicht nur die Betriebsdaten, sondern auch die Projektierungs- und Topologiedaten.
- Keine standardisierten Schnittstellen:
Es gibt fast keine standardisierten Schnittstellen für verschiedene Produkte mit der gleichen Funktion (Ausnahmen: ETCS, Blockschnittstelle, ZN-Schnittstelle). So hat jedes Stellwerk und RBC eine eigene spezifische Schnittstelle.

Als Folge dieser beiden Punkte ist die Integration der Systeme sehr aufwändig. So ist ein wesentlicher Teil von den bestehenden Systemen dazu da, Informationen aufzubereiten und zu transformieren für die Implementation von Schnittstellen zu anderen Systemen. Dies betrifft vor allem das Leitsystem, das Disposystem, das Planungssystem und das RBC. Weiter muss das Leitsystem für jedes Stellwerk und RBC eine separate Schnittstelle implementieren.

Alle diese Punkte führen zu entsprechend hohen Kosten für die Entwicklung und Wartung dieser Systeme. Weiter entstehen gerade bei der Projektierung wesentliche Aufwände indem die Daten mehrfach erfasst werden müssen.

5.3.2 Stellwerke, RBC und Leitsystem als monolithische Systeme

Stellwerke, RBC und Leitsystem werden je als Gesamtsystem bestehend aus Hardware, Software und Projektierungsdaten beim Hersteller beschafft. Zwar können im Rahmen der Produktpflege Anpassungen gemacht werden wie neue SW-Releases oder kleine HW-Upgrades. Aber bei einem Ersatz besteht nicht die Möglichkeit nur Teile vom System durch neue Produkte zu ersetzen. Dies wäre insbesondere hilfreich, da Software, Rechnerhardware und Elektronikkomponenten oft unterschiedliche Lebenszyklen haben.

5.3.3 Spezifische Stellwerklogik für die Schweiz

Die Stellwerke beinhalten viele für die Schweiz spezifische Funktionen. Dies kommt daher, dass in jedem Land die Prozesse und Regeln für den Eisenbahnbetrieb historisch gewachsen sind. Die Stellwerkhersteller verwenden zwar internationale Plattformen (Bsp.: Simis® W), doch muss die Stellwerklogik für die Schweiz entsprechend angepasst werden, was den entsprechend hohen Aufwand bedeutet.

5.3.4 Nicht strikt entlang Sicherheitsanforderungen geschnitten

Die Stellwerke enthalten Funktionen, welche ganz unterschiedliche Sicherheitsanforderungen haben. So enthalten sie neben der sicherheitskritischen Verschlusslogik auch Funktionen, welche beschränkt oder gar nicht sicherheitskritisch sind. Dies dürfte davon kommen, dass die Stellwerke früher direkt lokal bedient wurden und daher dem Bediener einen gewissen Komfort bieten mussten. Ein Beispiel dazu ist die Wahl des Vorzugfahrweg zwischen Start und Ziel einer Fahrstrasse.

Das Leitsystem enthält ebenfalls Funktionen mit unterschiedlichen Sicherheitsanforderungen. Dies sind einerseits die sicherheitsrelevante Anzeige und Bedienung und andererseits die nicht sicherheitsrelevante Automatik.

Systeme mit hohen Sicherheitsanforderungen sind um Faktoren teurer in der Entwicklung, da wesentlich mehr Vorgaben eingehalten (Bsp.: viele Überprüfungen) und Nachweise erbracht werden müssen. Wenn nun Funktionen mit unterschiedlichen Sicherheitsanforderungen zusammen im gleichen System entwickelt werden, entstehen für die Funktionen mit tieferen Anforderungen unnötig hohe Entwicklungs- und Wartungsaufwände.

5.3.5 Sicherheit in gewissen Bereichen von manuellen Prozessen abhängig

Beim Rangieren, auf Baustellen oder bei aussergewöhnlichen Sendungen werden die Prozesse nur teilweise durch das Sicherungssystem unterstützt und der Mensch muss noch einiges an Sicherheitsverantwortung übernehmen.

5.3.6 RBC als Add-On

Die heutigen RBC setzen auf bestehenden Stellwerken auf, welche weitgehend gleich funktionieren wie wenn Aussensignale vorhanden sind. Dadurch kann einerseits die Stellwerklogik nicht die Informationen aus dem RBC, wie die genaue Position und Geschwindigkeit verwenden und andererseits muss das RBC die ortsbezogenen Informationen wie Signalbegriffe in zugbezogene Informationen umwandeln, was zu zusätzlicher Komplexität und hohem Projektierungs- und Prüfaufwand führt.

5.3.7 Hoher Projektierungsaufwand

Stellwerk und Leitsystem benötigen eine sehr umfangreiche Projektierung und verursachen damit einen entsprechend hohen Projektierungsaufwand. Zu den Ursachen gehören unter anderem, dass diese Systeme eine sehr spezifische und fixe Verschlusslogik haben, sowie dass die einfache Projektierbarkeit kaum das primäre Ziel der Entwicklung gewesen sein dürfte.

6 Ziele und Akzeptanzkriterien

Dieses Kapitel beschreibt die wichtigsten Ziele und Vorgaben, welche durch die Architektur von smartrail 4.0 unterstützt werden sollen.

6.1 Relevante Ziele von SR40

Effizienz:

- Reduktion der jährlichen Systemkosten in der Bahnproduktion um 450 MCHF (nur SBB; Infrastruktur und Fahrzeuge)

Effektivität:

- Erhöhung der technischen Kapazität um 15% bis 30%
- Reduktion der durch SA-bedingten Störungen um 50%
- Reduktion der Kollisionsrisiken um 90% insbesondere beim Rangieren und auf Baustellen
- Schnelle Migration

6.2 Wichtigste Qualitätsattribute

- **Safety**
Die Funktionen zur Sicherung der Bewegungen auf dem Eisenbahnnetz müssen sehr hohe Anforderungen an die «funktionale Sicherheit» erfüllen.
- **Verfügbarkeit**
Die Systeme müssen sehr verfügbar sein, da bei einem Ausfall der Eisenbahnverkehr unmittelbar eingeschränkt werden kann. Dies umfasst das RAM «Reliability», «Availability» und «Maintainability» aus der EN 50126.
- **Security**
Für smartrail 4.0 gelten hohe Anforderungen an die Security, da die Security indirekt auf die Verfügbarkeit und die Safety einwirkt.
- **Performance und Skalierbarkeit**
Die Systeme müssen genügend leistungsfähig sein um den wachsenden Eisenbahnverkehr von der Zukunft zu bewältigen und um innert Sekundenbruchteilen komplexe Entscheidungen treffen zu können, welche heute von vielen Disponenten wahrgenommen werden.

6.3 Weitere wichtige Vorgaben

- **LCC optimiert**
Die neue Architektur und Systeme sollen auf tiefe Lebenszykluskosten ausgelegt werden, indem zum Beispiel Teile, welche unterschiedlich lange Lebensdauer haben, unabhängig ersetzt werden können.
- **Flexibel einsetzbar bei verschiedenen Bahnen**
In smartrail 4.0 eingesetzte Systeme, sollen soweit sinnvoll erweiterbar und adaptierbar sein, damit diese bei unterschiedlichen Bahnen in In- und Ausland einsetzbar sind.
- **Energiesparen**
Die neuen Möglichkeiten von smartrail 4.0 sollen genutzt werden um die Fahrprofile der Züge bezüglich geringem Energieverbrauch zu optimieren.

7 Konzept

Das Kapitel 7.2 Technisches Grundkonzept definiert die technische Grundstruktur von smartrail 4.0 im Gegensatz zu den inneren Lösungskonzepten, welche im Kapitel 7.3 «Systemarchitektur» definiert sind.

7.1 Grundstrategie zur maximalen Infrastrukturausnutzung

Die maximale Ausnutzung der Infrastruktur (Kapazität) bildet neben der Ermöglichung der Reduktion der streckenseitigen Anlagen und der Prozessautomatisierung das wichtigste Designziel für die Architektur.

Für die volle Ausnutzung der Infrastrukturkapazität sind verschiedene typische Fehler zu vermeiden:

1. Unnötige Kumulation von Latenzzeiten
2. Unnötig lange Verarbeitungszeiten (z.B. fehlende algorithmische Einfachheit oder synchrone Systemprozesse)
3. Kumulation unnötiger Wartezeiten und Risikoreserven (z.B. funktionale Sequentialisierung)
4. Fehlende Parametrisierbarkeit des Systemverhaltens (tuning)
5. Fehlende Differenzierung des Systemverhaltens (z.B. Bremskurven oder Optimierung Movement Authorities)

Die optimale betriebliche Umsetzung wurde in der Studie zur kapazitätsoptimalen Steuerung betrachtet.

Siehe https://sbb.sharepoint.com/teams/p-230/617/Oeffentlich/0950%20Architektur%20fuer%20Prozesse%20und%20Systeme/200%20Kapazitätseffekte%20SR40/Phase1%20Technische%20Effekte/Technische_Kapazitätseffekt_SR40.docx.

Siehe https://sbb.sharepoint.com/teams/p-230/617/Oeffentlich/0950%20Architektur%20fuer%20Prozesse%20und%20Systeme/200%20Kapazitätseffekte%20SR40/Phase1%20Technische%20Effekte/Technische_Kapazitätseffekt_SR40.docx.

Um SR40 als System auf diese Steuerungsfähigkeiten auszurichten wird folgende Grundstrategie angewendet:

- a) Top Down Ableitung der minimal notwendigen Controlloops (End2End, TMS>APS>World>APS>TMS) im Architekturprozess.
- b) Hohe Parametrisierbarkeit nahezu aller funktionaler Reserven (Risikopuffer, Flankenschutz, etc.)
- c) Frühe Implementierung des «digital Twins» zu SR40 (E2E ITV) und der kapazitätsorientierten Testsets als Optimierungsgrundlage.
- d) Überarbeitung der quantitativen Vorgaben (zB Bremskurven, Form des SSP, Adaptive MRSP Vorgabe durch das RBC, Mode-Geschwindigkeiten, etc.) zusammen mit dem Projekt bei I-AT-SAZ in der Entwicklungsphase bis 2025. Es wurden diverse Potentiale identifiziert, deren Vertiefung jedoch einen grösseren Aufwand bedeutet.
- e) Auf verschiedenen technischen Ebenen werden weitgehende Redundanzen geschaffen um auch im Wartungsfall keine betrieblichen Auswirkungen zu generieren

7.2 Technisches Grundkonzept

Smartrail 4.0 setzt auf der bestehenden physischen Bahninfrastruktur auf und verlangt keine Anpassungen der Gleistopologie. Das technische Grundkonzept ist ein modularer Baukasten von technischen Fähigkeiten, welche durch technische Massnahmen erreicht werden. Die einzelnen Infrastrukturmanager (IM), welche die technischen smartrail 4.0 Systeme beschaffen, entscheiden, welche leistungssteigernden technischen Massnahmen sie umsetzen. Dieser «Investorenentscheid» gibt den IM die Freiheit, die für ihre Verhältnisse optimale Lösung zu implementieren. Die folgende Grafik fasst die wichtigsten technischen Fähigkeiten und technischen Massnahmen zusammen und zeigt den Zusammenhang zum Nutzen.

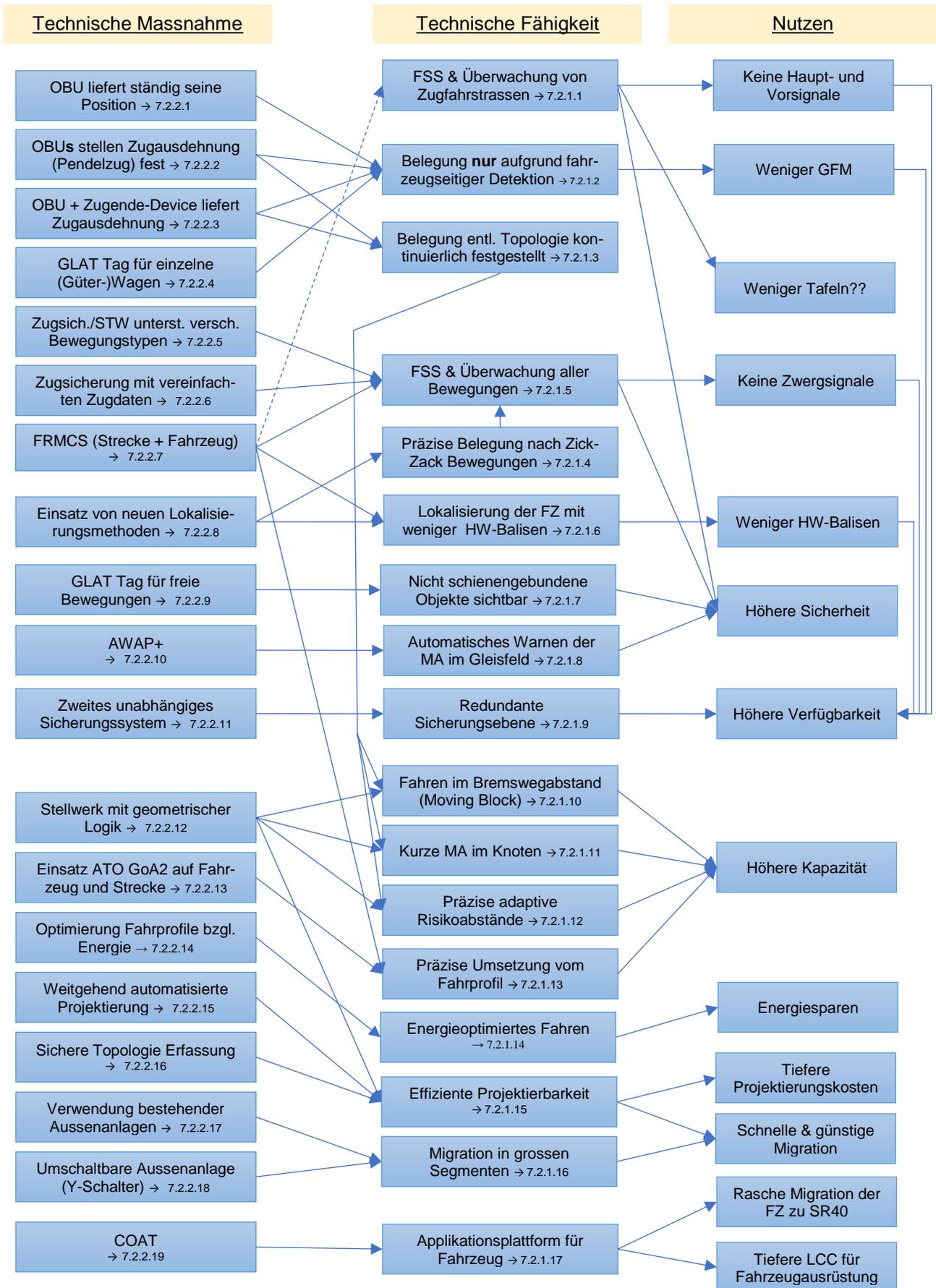


Abbildung 2 Technisches Grundkonzept

7.2.1 Technische Fähigkeiten

7.2.1.1 Basis: FSS und Überwachung der «MA» für Zugfahrten

Smartrail 4.0 setzt als Minimum ETCS Level 2 mit Führerstandssignalisierung voraus. Dabei wird für Zugfahrstrassen die «Movement Authority» (MA), die Erlaubnis für den Zug sich zu bewegen, nicht mehr mit Aussensignalen angezeigt, sondern per Funk von der Strecke an den Zug gesendet, in welchem diese mit der Führerstandssignalisierung (FSS) angezeigt und die Einhaltung der Erlaubnis durch das technische System überwacht wird. In der Regel gibt es keine Haupt- oder Vorsignale mehr. Die Ausnahme sind einzelne «Randsignale», welche bei den Aussengrenzen eines mit smartrail 4.0 ausgerüsteten Bereichs vorkommen, entweder bei einem Übergang von/zu konventioneller Technik oder zu einem nicht überwachten Bereich (Bsp.: Industriegleise).

7.2.1.2 Belegung nur aufgrund fahrzeugseitiger Detektion

Technische Einrichtungen (Sensoren) auf den Fahrzeugen stellen die durch die betriebliche Einheit (Zug, Rangiereinheit, abgestellte Wagen) auf dem Schienennetz verursachte Belegung fest und melden diese an die Stellwerklogik. Wenn alle betrieblichen Einheiten, welche in einem Bereich verkehren oder abgestellt sind, über diese Fähigkeit verfügen, kann auf die streckenseitige Detektion der Belegung mittels Gleisfreimelder (GFM) verzichtet werden.

7.2.1.3 Belegung entlang Topologie kontinuierlich festgestellt

Eine Belegung wird entlang der Topologie kontinuierlich lokalisiert. Daher ist mit einer feinen Auflösung bekannt, wo die Belegung von einer bewegten oder abgestellten Einheit ist. Dies im Gegensatz zu den heutigen GFM, bei welchen ein GFM-Abschnitt belegt bleibt bis dieser gänzlich freigegeben wird und damit das Zugende abschnittsweise «weitspringt», sowie bei einem belegten Abschnitt (Bsp.: abgestellte Wagen), nicht klar ist, wo sich der Wagen innerhalb des Abschnitts befindet. Bemerkung: Diese Fähigkeit ist unabhängig von der Fähigkeit «Belegung nur aufgrund fahrzeugseitiger Detektion», da die Belegung entlang der Topologie auch aufgrund verbesserter streckenseitiger Lokalisierung kontinuierlich festgestellt werden könnte.

7.2.1.4 Präzise Belegung nach Zick-Zack Bewegungen

Die Belegung, welche durch ein Fahrzeug verursacht wird, kann auch nach mehreren kurzen Bewegungen in wechselnde Richtungen noch genügend genau ermittelt werden.

7.2.1.5 FSS und Überwachung der «MA» für alle Bewegungen

Zusätzlich zu den Zugfahrstrassen werden auch alle anderen Bewegungen mit Führerstandssignalisierung (FSS) angezeigt und vom Fahrzeug überwacht. Das heisst es müssen auch Bewegungen, welche heute mit Rangierfahrten gemacht werden unterstützt werden. Dies beinhaltet:

1. Unterstützung von allen Arten von Bewegungen in Bezug auf die Position der Lokomotive innerhalb der Formation und dem aktiven Führerstand der Lokomotive:

		Führerstand in Fahrrichtung aktiv	Führerstand entgegen Fahrrichtung aktiv
Position der «Leading Engine» Lokomotive innerhalb der Formation	Vorne in Bezug auf Fahrrichtung	Normalfall	Rückwärts gezogen
	Hinten in Bezug auf Fahrrichtung	Geschoben	Rückwärts geschoben
	Innerhalb der Formation	Gezogen und geschoben	Rückwärts gezogen und geschoben

2. Bewegungserlaubnis, welche mehrere Bewegungen in unterschiedlicher Richtung in einem Bereich erlauben.

7.2.1.6 Lokalisierung der Fahrzeuge mit weniger HW-Balisen

Die Fahrzeuge werden lokalisiert mit weniger teuren streckenseitigen Referenzpunkte wie HW-Balisen.

7.2.1.7 Nicht schienengebundene Objekte sichtbar

Nicht schienengebundene Objekte in Gleisnähe wie Menschen und Maschinen werden lokalisiert. Dies erhöht die Sicherheit, da einerseits beim Erteilen einer Bewegungserlaubnis für einen Zug alle Objekte in Gleisnähe berücksichtigt werden können und andererseits kann das System beim Entstehen einer Gefährdung eine Sicherheitsreaktion auslösen.

7.2.1.8 *Automatisches Warnen der Mitarbeiter im Gleisfeld*

Die Mitarbeiter im Gleisbereich werden durch ein technisches System rechtzeitig gewarnt, damit diese die befahrenen Gleise verlassen können.

7.2.1.9 *Redundante Sicherungsebene*

Zusätzlich zur primären Sicherungsebene wird eine zweite vereinfachte Sicherungsebene implementiert, welche grundlegend anders funktioniert und somit beim Ausfall der primären Sicherungsebene mit einer hohen Wahrscheinlichkeit immer noch verfügbar ist. Die redundante Sicherungsebene erlaubt nur einen stark reduzierten Bahnbetrieb. Die redundante Sicherungsebene kontrolliert die primäre Sicherungsebene nicht, d.h. es gibt keine Verbesserung bei der Safety.

7.2.1.10 *Fahren im absoluten Bremswegabstand (Moving Block)*

Bei Folgefahrten zwischen zwei Zügen kann der hintere Zug bis auf den absoluten Bremswegabstand aufschliessen, was die Zugfolgezeit deutlich verkürzt verglichen zu den festen Blockabschnitten von den heutigen Systemen. Bei den heutigen blockbasierten Systemen muss der hintere Zug um mindestens den absoluten Bremswegabstand von einem Blockabschnitt entfernt sein, wenn dieser durch den vorausfahrenden Zug frei gegeben wird. Somit erhöht sich die Zugfolgezeit um die Fahrzeit der Züge im Blockabschnitt.

Diese Fähigkeit setzt die Fähigkeit «Belegung entlang Topologie kontinuierlich festgestellt» voraus.

7.2.1.11 *Kurze MA im Knoten*

In Knoten (grosse Bahnhöfe) können sehr kurze Bewegungserlaubnisse erteilt werden. Damit können die Züge kürzer nacheinander an den Konfliktpunkten vorbeifahren, was einen grösseren Durchsatz ermöglicht. Mit den heutigen Systemen können die Aussensignale nicht beliebig nahe nacheinander aufgestellt werden, was gerade bei tiefen Geschwindigkeiten zu entsprechenden langen Zeiten zwischen den Zügen führt. Diese Fähigkeit setzt die Fähigkeit «Belegung entlang Topologie kontinuierlich festgestellt» voraus.

7.2.1.12 *Präzise adaptive Risikoabstände*

Die Risikoabstände zwischen den Zügen sind abhängig von der Geschwindigkeit, den Zugtypen und der Topologie (Bsp: Steigung). So kann die Geschwindigkeit von einem Zug zusätzlich reduziert werden, damit weniger Risikoabstand nötig ist und zusätzliche andere Fahrten möglich werden. In der heutigen Stellwerklogik sind die Durchrutschwege für die Verschlusslogik auf eine fixe Geschwindigkeit pro Zug- und Bremsreihe ausgelegt.

7.2.1.13 *Präzise Umsetzung vom Fahrprofilen*

Wenn die Fahrprofile der Züge für einen konfliktfreien und dichten Zugverkehr optimiert sind, müssen in der Realität die Züge die Fahrprofile möglichst genau umsetzen, damit auch wirklich keine Konflikte entstehen und die Züge tatsächlich dicht aufeinander folgen können.

7.2.1.14 *Energieoptimiertes Fahren*

Wenn die Fahrprofile der Züge für einen geringen Energieverbrauch optimiert sind und diese dann entsprechend genau umgesetzt werden, kann Energie gespart werden.

7.2.1.15 *Effiziente Projektierbarkeit*

Diese Fähigkeit erlaubt mit beschränktem Aufwand die Anlagen zu projektieren. Heute ist die Projektierung der Systeme (Stellwerk, Iltis, RCS) sehr kostenintensiv.

7.2.1.16 *Migration in grossen Segmenten*

Um die Migrationsdauer zu verkürzen und die Migrationsaufwände zu senken kann smartrail 4.0 in grossen Segmenten migriert werden unter Beibehaltung der bestehenden Aussenanlagen.

7.2.1.17 *Applikationsplattform für Fahrzeug*

Die Fahrzeuge enthalten eine Applikationsplattform, welche es erlaubt Softwareapplikationen für die Sicherung des Zugverkehrs einfach auszurollen und zu erneuern. Dies im Gegensatz zu heute, wo für jede logische Einheit (ETCS-OB, ATO, etc.) ein separates System aus Hardware und Software nötig ist, was zu einem sehr teuren Lebenszyklus führt.

7.2.2 Technische Massnahmen

7.2.2.1 *OBU liefert ständig seine Position*

Die ETCS-OBU liefert die Position des Fahrzeugs ständig an die Strecke (vorne und hinten), so dass die Fahrzeuge immer über die fahrzeugseitige Lokalisierung sichtbar sind.

7.2.2.2 OBUs stellen Zugausdehnung fest (Pendelzug)

Bei Pendelzügen gibt es bereits an beiden Seiten der Kompositionen eine ETCS-OBUs. Diese OBUs müssen neu die Zugintegrität und die Länge des Zuges feststellen indem diese miteinander kommunizieren. Dazu müssen diese auch sicher alle angekoppelten Kompositionen detektieren.

7.2.2.3 OBU + Zugende-Device liefert Zugausdehnung

Ein temporär anzubringendes Zugende-Device erlaubt die Zugausdehnung für Züge festzustellen, welche keinen Führerstand am Zugende haben und auch keinen Wagen mit fest eingebautem GLAT-Tag.

7.2.2.4 GLAT Tag für einzelne (Güter-)Wagen

Das GLAT-Tag wird fest in einzelne Wagen eingebaut, damit diese immer sicher lokalisiert werden können. Das GLAT-Tag erlaubt abgestellte Wagen zu sehen sowie die Zugausdehnung festzustellen, falls mindestens der letzte Wagen ein solches GLAT-Tag hat, wobei dieser dann auch sicher feststellen muss, dass er das Zugende ist.

7.2.2.5 Zugsicherung und Stellwerk unterstützt verschiedene Bewegungstypen

Damit die Funktionalität der heutige Rangierfahrstrassen mit FSS angezeigt und überwacht werden kann, muss durch die Zugsicherung und das Stellwerk die folgenden Bewegungstypen unterstützt werden: geschobene Bewegungen, rückwärtsfahren und Bewegungserlaubnis, welche mehrere Bewegungen in unterschiedliche Richtungen in einem Bereich erlaubt.

7.2.2.6 Zugsicherung mit vereinfachten Zugdaten

Damit Bewegungen, welche den heutige Rangierfahrten entsprechen neu überwacht werden können und effizient getätigt werden können, muss das System die Funktion haben, mit weniger genauer Bestimmung des Bremsverhältnisses bei langsamen Geschwindigkeiten, Bewegungen durchzuführen.

7.2.2.7 FRMCS (Strecke + Fahrzeug)

Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) ist die zukünftige Funknetztechnologie für Daten und Sprache, definiert bei der UIC und basierend auf 5G Standards. FRMCS ist der Nachfolger von GSM-R und wird benötigt, einerseits da GSM-R nach 2030 nicht mehr unterstützt wird und andererseits, weil smartrail 4.0 eine grössere Datenmenge kommuniziert. Für FRMCS müssen einerseits streckenseitig die Funkzellen aufgebaut werden und andererseits auf den Fahrzeugen die entsprechenden Kommunikationsinfrastruktur eingebaut werden.

7.2.2.8 Einsatz von alternativen Lokalisierungsmethoden

Neue Lokalisierungstechnologien werden eingesetzt, welche weniger HW-Balisen benötigen und eine präzisere Lokalisierung ermöglichen, insbesondere auch nach mehreren Richtungswechseln und kurzen Fahrten.

7.2.2.9 GLAT Tag für freie Bewegungen

Das GLAT-Tag für freie Bewegungen lokalisiert nicht schienengebundene Objekte wie Personen und Geräte.

7.2.2.10 AWAP+

Die Funktion AWAP+ erlaubt das automatische Warnen von Mitarbeitern im Gleisbereich mit mobilen Warnanlagen und persönlichen Tags bei den Mitarbeitern.

7.2.2.11 Zweites unabhängiges Sicherungssystem

Ein Sicherungssystem, welches möglichst weitgehend unabhängig vom primären Sicherungssystem aufgebaut wird, ermöglicht einen reduzierten Bahnbetrieb, wenn das primäre Sicherungssystem ausgefallen ist.

7.2.2.12 Stellwerk mit geometrischer Logik

Anstelle einer blockbasierten fixen Stellwerklogik, bei welcher eine Fahrstrasse nur von Signal zu Signal eingestellt werden kann, wird eine geometrische Stellwerklogik implementiert, bei welcher eine Bewegungserlaubnis zwischen zwei kontinuierlichen Positionen auf der Topologie erteilt werden kann.

7.2.2.13 Einsatz von ATO GoA2 auf Fahrzeug und Strecke

Mit dem Einsatz von ATO GoA2 fahren die Züge zwischen zwei Halteorte automatisch durch das System, aber mit Aufsicht des Lokführers. Indem die Geschwindigkeit durch ein technisches System genau gesteuert wird kann der Plan für den Zug sehr genau eingehalten werden und bei Konflikten und Folgefahrten im optimalen Zeitpunkt gebremst werden.

7.2.2.14 Optimierung Fahrprofile bzgl. Energie

Die ATO GoA2 Fahrprofile werden so optimiert, das der Energieverbrauch kleiner ist.

7.2.2.15 *Weitgehend automatisierte Projektierung*

Ein Projektierungssystem automatisiert die Projektierung weitgehend, indem auf bestehende elektronische Daten aufgesetzt wird und indem Projektierungsregeln angewendet werden.

7.2.2.16 *Sichere Topologie Erfassung*

Ein teilautomatisiertes Vermessungssystem (TOPO4) überprüft die Topologie des Schienennetzes. Diese Topologie muss korrekt sein, da dies die Basis für die geometrische Stellwerklogik ist.

7.2.2.17 *Verwendung bestehender Aussenanlage*

Das System unterstützt die bereits bestehenden Aussenanlagen, damit diese weiterverwendet werden können.

7.2.2.18 *Umschaltbare Aussenanlage (Y-Schalter)*

Um grosse Segmente zu ermöglichen, werden die Aussenanlagen mit einer Umschaltvorrichtung («Y-Schalter») zwischen den Bestandsstellwerken und den neuen Stellwerken hin- und hergeschaltet. Dies erlaubt Tests während der Nacht und die Verwendung der Bestandsstellwerke durch den Tag sowie die Umschaltung für die Inbetriebnahme für grosse Gebiete.

7.2.2.19 *COAT*

Die technische Plattform COAT wird auf die Fahrzeuge installiert, damit auf die Fahrzeuge einfach neue oder aktualisierte Softwareapplikationen für die Steuerung und Sicherung des Zugverkehrs eingespielt werden können. Dazu müssen die Schnittstellen zwischen den Softwareapplikationen und dem Fahrzeug sowie die Laufzeitumgebung standardisiert werden.

7.3 Systemarchitektur

Die Systemarchitektur definiert die Aufteilung des Gesamtsystems in einzelne technische Teilsysteme, welche flexibel bei den unterschiedlichen Infrastruktur Manager (IM) eingesetzt werden können. Zu dieser Aufteilung gehört auch die Definition der Schnittstellen zwischen den einzelnen Teilsystemen.

7.3.1 *Bedeutung der Systemarchitektur für die Zielerreichung*

Gute Systemarchitekturen sind sehr langlebig und bleiben länger bestehen als die darin verwendeten Teilsysteme, welche bei Bedarf einzeln ersetzt werden können. Deutliche Architekturwechsel können nur dann vorgenommen werden, wenn sehr viele Teilsysteme gleichzeitig ihr Lebensende erreichen, so wie dieses in den nächsten 5-15 Jahren passieren wird. Hier ergibt sich nun die Chance, grundlegende Veränderungen herbeizuführen.

Die Systemarchitektur hat einen grossen Einfluss auf die folgenden Faktoren:

- Sie bestimmt wie modular einzelne Teilsysteme ersetzbar sind, wenn diese das Ende des Lebenszyklus erreichen und wie weit Teilsystem von unterschiedlichen Herstellern kombiniert werden können.
- Sie bestimmt wie flexibel die Teilsysteme bei unterschiedlichen Infrastrukturbetreiber national und international einsetzbar sind und wie weit das System für unterschiedliche Bedürfnisse erweitert werden kann.
- Sie bestimmt wie gross die einzelnen Teilsysteme sind und wieviel unterschiedliches Knowhow für die Fertigung der einzelnen Teilsysteme nötig sind.
- Die vorangehenden drei Punkte haben einen grossen Einfluss auf die Breite des Anbietermarkts und damit über das Veränderungstempo einer technischen Landschaft und über den technologischen Wettbewerb, der wiederum Preise und Innovation definiert.
- Sie bestimmt wie komplex der Betrieb des Systems ist.

7.3.2 *Kriterien für Aufteilung in Teilsysteme*

Grundsätzlich kann eine benötigte Funktionalität mit unzähligen Varianten auf Teilsysteme verteilt werden. Da aber diese Aufteilung eine sehr grosse Wirkung auf die Lebenskosten (LCC) und die Qualitätsattribute (QA) hat, muss die optimale Aufteilung gewählt werden, in Bezug auf die LCC und QA. Um dies zu erreichen werden hier die Kriterien definiert, welche den Leitfaden bilden für die Aufteilung in Teilsysteme.

Kriterium für Aufteilung in Teilsysteme	Beschaffungskosten	Wartungskosten	Teile einzeln austauschbar	Teile einzeln einsetzbar	Erfüllung Qualitätsattribute
7.3.2.1 Dünner «Safety Layer»	+	+			+
7.3.2.2 Separation entlang dem erwarteten Lebenszyklus			+	+	
7.3.2.3 Separation Aufgrund unterschiedlichen Qualitätsattributen	+	+			+
7.3.2.4 Modularer Baukasten			+	+	
7.3.2.5 Schmale und gut testbare Schnittstellen (schwache Kopplung, hohe Kohäsion, fachlicher Schnitt)	+		+	+	
7.3.2.6 Benötigte Hardwaregrenze					
7.3.2.7 Bestehende Produkte	+	+			
7.3.2.8 Zulassung	+	+			

Tabelle 3 Kriterien für Aufteilung in Teilsysteme

7.3.2.1 Dünner «Safety Layer»

Die safety-relevante Funktionalität sollte so klein wie möglich sein. Um dies zu erreichen soll soweit möglich die safety-relevante und nicht safety-relevante Funktionalität separiert werden und unterschiedlichen Teilsystemen zugeordnet werden.

7.3.2.2 Separation entlang dem erwarteten Lebenszyklus

Das System soll so geschnitten werden, dass die Teile mit unterschiedlichen Lebenszyklen unterschiedlichen Teilsystemen zugeordnet sind, damit noch aktuelle Teile nicht unnötig früh ersetzt werden müssen. Dazu muss der erwartete Lebenszyklus der Teile entsprechend abgeschätzt werden. Diese Separation ist unter anderem entlang den folgenden Grenzen:

- Separation von Hardware und Software, mit Massnahmen damit die Software portabel zu anderer Hardware ist.
- Separation entlang der Auswirkung von erwarteten Änderungen
- Separation entlang der erwarteten Variabilität und Erweiterungen über Zeit
- Separation entlang erwarteten Release-Zyklen von Software
- Separation entlang der erwarteten Lebensdauer

7.3.2.3 Separation Aufgrund unterschiedlichen Qualitätsattributen

Die Teilsysteme sollen so geschnitten werden, dass Funktionalitäten mit unterschiedlichen Qualitätsattributen (QA) separiert sind, da höhere Ansprüche bei den Qualitätsattributen typischerweise zu mehr Aufwand führt. Die in diesem Bezug am meisten relevante Qualitätsattribute sind Verfügbarkeit und Performance.

7.3.2.4 Modularer Baukasten

Das System soll ein modularer Baukasten sein mit genügend fein granularen Komponenten um eine flexible Nutzung bei den unterschiedlichen Infrastrukturmanagern (IM) zu ermöglichen. Hinzu kommt, dass die Komponenten genügend klein sein sollten, damit aus mehreren Herstellern für die Produkte ausgewählt werden kann. Wobei die Komponenten nicht zu fein werden sollte, da dann der Preis für die Modularisierung (z.B. Latenzen, Betriebbarkeit,..) zu hoch wird.

7.3.2.5 Schmale und gut testbare Schnittstellen (schwache Kopplung, hohe Kohäsion, fachlicher Schnitt)

Die Teilsysteme sollten so geschnitten sein, dass die Komponenten nur über schmale und gut testbare Schnittstellen verbunden sind und die Komponenten eine hohe Kohäsion und fachliche Zusammengehörigkeit aufweisen.

7.3.2.6 *Benötigte Hardwaregrenze*

Die Teilsysteme, welche auf dem Fahrzeug oder an der Strecke verwendet werden, haben zwingende Hardwaregrenzen gegenüber den Systemen, welche an einem anderen Standort verwendet werden. Im Fall von ETCS ist die Grenze zwischen Strecke und Fahrzeug schon fest standardisiert.

7.3.2.7 *Bestehende Produkte / Produktstrategie*

Falls es bestehende Produkte gibt, welche als Teilsysteme verwendet werden, geben diese die Teilsystemgrenzen vor. Wenn gewisse Funktionen sich anbieten um ein Teilsystem zu «produktifizieren», dann müssen diese separiert sein von den Funktionen ohne diese Eigenschaft.

7.3.2.8 *Zulassung*

Die Granularität der Teilsysteme muss so gewählt werden, dass diese eine möglichst einfache Zulassung ermöglichen. Eine sehr grobe Granularität führt zu sehr grossen Zulassungen eine sehr feine Granularität führt zu sehr vielen Zulassungen, das Optimum dürfte dazwischen liegen.

7.3.3 Technische Eigenschaften

Die folgenden technischen Massnahmen sollen umgesetzt werden um vor allem die Lebenszykluskosten zu senken.

Technische Eigenschaft	Beschaffungskosten	Wartungskosten	Teile einzeln austauschbar	Teile einzeln einsetzbar	Erweiterbarkeit	Verfügbarkeit
7.3.3.1 Generische Standardschnittstellen	+	+	+	+	+	
7.3.3.2 Capability-Based Schnittstellen – erweiterbar und flexibel			+	+	+	
7.3.3.3 Applikationsebene der Schnittstelle klar separiert	+				+	
7.3.3.4 Plattformen für portable SW-Applikationen			+		+	
7.3.3.5 Modular Safety			+	+	+	
7.3.3.6 Regionalisierung – verfügbar und performant						+

Tabelle 4 Technische Eigenschaften

7.3.3.1 *Generische Standardschnittstellen*

Grundsätzlich sollen die Schnittstellen generisch definiert werden (losgelöst von einer konkreten Implementation eines spezifischen Teilsystems). Die Schnittstelle ist aufgrund abstrakter Domäneninformation definiert, welche auf der Schnittstelle ausgetauscht werden muss. Dies erhöht die Fähigkeit, dass einzelne Komponenten durch andere ersetzt werden können unter Beibehaltung der Schnittstellen und ohne Anpassungen an den umliegenden Teilsystemen. Damit rücken die Schnittstellen ins Zentrum der Architektur anstelle der Teilsysteme.

7.3.3.2 *Capability-Based Schnittstellen – erweiterbar und flexibel*

Die Schnittstelle sollen aufgrund Capabilities modular strukturiert werden, wobei die Schnittstellenpartner flexibel die passenden Capabilities aushandeln. Zusätzlich müssen die Capabilities rückwärtskompatibel gestaltet und versioniert werden.

7.3.3.3 *Applikationsebene der Schnittstelle klar separiert*

Innerhalb des Kommunikationsstacks muss die Applikationsebene klar von den unteren Ebenen separiert werden, damit die unteren Ebenen des Kommunikationsstacks bei Bedarf (Bsp.: Technologielebenszyklus) ausgetauscht werden können.

7.3.3.4 *Plattformen für portable SW-Applikationen*

Die funktionale Logik soll in Softwareapplikationen realisiert werden, welche auf Plattformen laufen. Die Plattformen stellen dabei die benötigten Infrastrukturservices über standardisierte API zur Verfügung. Dies

erlaubt die Portierung der Softwareapplikation von einer Implementation einer Plattform zu einer anderen Implementation der Plattform.

7.3.3.5 Modular Safety

Die Schnittstellen sollen so gestaltet werden, dass die Teilsysteme möglichst umfangreich getestet und damit möglichst unabhängig typenzugelassen werden können. Dazu sollen die mit dem Protokoll verbundenen Zustandsmaschinen möglichst isoliert und einfach sein um eine vollständige Testabdeckung einfach zu ermöglichen.

7.3.3.6 Regionalisierung – verfügbar und performant

Die Teile des Systems, welche höchst verfügbar sein müssen, können in mehreren Instanzen pro geografische Region laufen. Dies reduziert die Auswirkungen eines Ausfalls auf eine einzelne Region in den folgenden Fällen:

- Systematischer Fehler / Software Fehler
- Fehlmanipulation durch das Servicepersonals
- Ausfall aufgrund eines Security-Vorfalles (Bsp.: Virus)

7.3.4 Vorgehen

Das folgende Vorgehen soll zusätzlich helfen die Ziele von smartrail 4.0 zu erreichen.

7.3.4.1 Schnittstellen standardisieren

Wenn passende europäische Standards vorhanden sind, sollen diese verwendet werden und bei Bedarf noch mit entsprechenden «Change requests» an die Bedürfnisse von smartrail 4.0 angepasst werden. Dies betrifft:

- Zwischen Fahrzeug und Strecke: ERTMS, «ATO over ETCS»
- Für den Anschluss der «Object Controllers»: EULYNX
- TAF TAP TSI für die Bestellung von den EVU

Wenn es noch keinen passenden europäischen Standard gibt, dann soll wo sinnvoll ein solcher geschaffen werden. Dies betrifft:

- Streckenseitiges CCS: RCA
- Fahrzeugseitiges CCS: OCORA

Für alle übrigen Schnittstellen (Bsp: Bestellportal) soll smartrail 4.0 die Schnittstelle spezifizieren und vorgeben.

Durch die standardisierten Schnittstellen ergibt sich ein grösseres Marktvolumen, welches das Preis-/Leistungsverhältnis der Anlagen und Komponenten verbessern wird.

7.3.4.2 Model-based systems engineering (MBSE)

Durch den Einsatz von «Model-based Systems Engineering» wird ein konsistentes, vollständiges und qualitativ hochwertiges Modell vom System und damit von der Architektur inklusive der Schnittstellen geschaffen.

7.4 Grundstruktur von smartrail 4.0

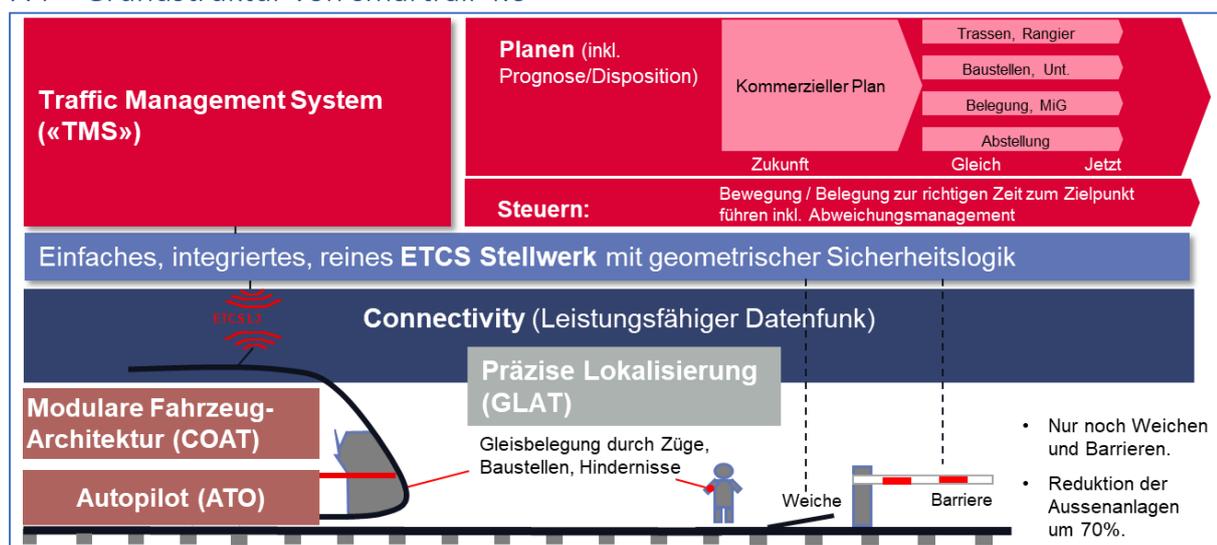


Abbildung 3 Grundstruktur von smartrail 4.0

7.4.1 Traffic Management System (TMS)

Das Traffic Management System (TMS) erzeugt und optimiert den Kapazitätsplan (Fahrplan) über alle Zeithorizonte. Der Kapazitätsplan enthält alle Aspekte der Gleisnutzung inklusive Zugfahrten, Rangierfahrten, Abstellungen und Unterhaltsarbeiten am Gleis (Intervalle). Bei Abweichungen und Vorfällen wird automatisch ein neu optimierter Kapazitätsplan erstellt. Damit wird die vorhandene Bahnanlage in allen Fällen optimal genutzt. Bei grossen Abweichungen und Vorfällen werden dem Bediener Entscheidungsvarianten angeboten. TMS optimiert die Geschwindigkeitsprofile um Konflikte zwischen den Zügen zu vermeiden und um Energie zu sparen. TMS erzeugt fein granulare Steuerkommandos an das ETCS Stellwerk sowie implementiert die Schnittstelle zu ATO um den Plan umzusetzen.

7.4.2 ETCS Stellwerk

Das ETCS Stellwerk integriert und vereinfacht bisherige Stellwerke und RBC. Das ETCS Stellwerk basiert auf einer geometrischen Sicherungslogik, welche mehr Kapazität schafft und die aufwändige Projektierung vereinfacht. Das ETCS Stellwerk hat eine reine «Gatekeeper»-Funktion. Dieser sicherheitsrelevante Kern wird so klein wie möglich gehalten, was zu Kosteneinsparungen führt.

7.4.3 Connectivity

Voraussetzung für eine optimierte Steuerung ist ein leistungsfähiger Datenfunk und Transportnetz. Als Datenfunk wird der kommende Standard FRMCS eingesetzt, um GSM-R (das auf bald obsoleter 2G-Technologie basiert) abzulösen. Das Transportnetz umfasst die Vernetzung der Datacenter untereinander, die Anbindung der Sicherungsanlagen sowie die Erschliessung der Funkinfrastruktur.

7.4.4 Präzise Lokalisierung

Alle Züge können sich selbst präzise, kontinuierlich (das heisst ohne feste Blockabstände) und sicher (inklusive Zugsintegrität) lokalisieren. Dies erlaubt eine präzisere Steuerung der Zugsbewegungen (Kapazität) und einen Rückbau der GFM (Kosten).

7.4.5 Automatic Train Operation (ATO)

Mit dem Einsatz von ATO GoA2 «On-Board-Unit» auf den Fahrzeugen fahren die Züge zwischen zwei Halteorten automatisch durch das System, aber mit Aufsicht des Lokführers. GoA4 (vollständige Automatisierung) ist für gewisse Anwendungsfälle (Abstellen) in Prüfung. Aufgrund der präziseren Steuerung der Geschwindigkeit bringt ATO Kapazität, Pünktlichkeit und die Möglichkeit für Energieeinsparungen.

7.4.6 Fahrzeugausrüstung COAT (CCS onboard application platform for trackside related functions)

Smartrail 4.0 beinhaltet Funktionalitäten, welche zwingend fahrzeugseitig zu realisieren sind. Mit einer grundsätzlich anderen Herangehensweise - analog der Beispiele aus den Branchen Aviatik und Automobilbau - wird eine standardisierte Architektur mit einer Trennung von Hardwarebeschaffung und Softwarebeschaffung angestrebt.

7.4.7 Physische Bahninfrastruktur

Smartrail 4.0 setzt auf der bestehenden Infrastruktur auf und verlangt keine zwingenden Anpassungen der Gleisstopologie. Mit der Umsetzung von smartrail 4.0 kann jedoch auf alle Signale, Tafeln und die meisten GFM (Gleisfreimeldemittel) verzichtet werden. Dadurch ergibt sich eine Reduzierung der Aussenanlagen um 70% und eine entsprechende Kosteneinsparung in Bau und Unterhalt.

8 Offene Punkte

keine

9 Verzeichnisse

9.1 Glossar / Glossar-Referenz

Siehe SR40 Glossar: <https://trace.sbb.ch/polarion/#/project/library/workitems/definition>

9.2 Grafik-Verzeichnis

Abbildung 1 Heutige Systemstruktur	6
Abbildung 2 Technisches Grundkonzept	10
Abbildung 3 Grundstruktur von smartrail 4.0	17

9.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Systeme der heutigen Systemstruktur	6
Tabelle 2 Wichtigste ausgetauschte Daten in der heutigen Systemstruktur	6
Tabelle 3 Kriterien für Aufteilung in Teilsysteme	15
Tabelle 4 Technische Eigenschaften	16

9.4 Quellen / Referenzen

keine