

# SR40 Zweck und Optimierungsziele

---

Version 1.1\_published, 30.4.2018

## 1 Disclaimer

This document is a DRAFT version which is still under construction. Its content may change in the ongoing concept phase of SmartRail 4.0. The document is not completely verified and is not finalized by now. The document is published to enable an open discussion of the ongoing work of the SmartRail 4.0 program.

Links and references inside of this document may refer to other documents inside of the program SmartRail 4.0, that may not be published at this stage.



## Inhaltsverzeichnis

1	Disclaimer	1
2	Der Zweck des Programms	3
2.1	Einleitung	3
2.2	Zielbild SmartRail 4.0	4
2.3	Lösungsstrategie zum Zielbild SR40	5
3	Der primäre Zweck des Programms: Abhängigkeitsmanagement, Gesamtleistung und Kompatibilität	6
4	Die abgeleiteten vier Programme in SmartRail 4.0	10
4.1	Traffic Management System (TMS)	10
4.2	ETCS Stellwerk (ES)	11
4.2.1	Hintergrund	11
4.2.2	Ausgangslage	12
4.2.3	Optimierungschancen im Rahmen der nächsten Technologiegeneration der Stellwerke	13
4.3	Automatic Train Operation (ATO)	14
4.3.1	Hintergrund	14
4.3.2	Handlungsfeld ATO: Über Piloten ist eine Ausrichtung festzulegen	16
4.4	Lokalisierung, Connectivity und Security	17
4.4.1	Konzeption, Ausschreibung, Erprobung einer generisch einsetzbaren sicheren und lokalisierbaren Endgeräteplattform, um Baustellensicherungs- und Rangierprozesse zu automatisieren, die Netzkapazität zu erhöhen, die Aussenanlagen zu reduzieren und Sicherheitslücken zu schliessen	17
4.4.2	Connectivity (neues Datenfunksystem)	20
4.4.3	Cyber Security@SR40	22
5	Optimierungsziele	23
5.1	Sicherheit	23
5.2	Kapazität	24
5.3	Verfügbarkeit	26
5.3.1	Rechenzentren und andere single points of failures mit netzweiter Wirkung	26
5.3.2	Von zunehmender Bedeutung: Security (Cyber Security, personal Security, etc.)	27
5.3.3	Verfügbarkeit der Innen- und Aussenanlagen	27
5.4	Senkung des Aufwands in der Produktion	27
5.5	Angestrebter spürbarer Nutzen für die Endkunden	28
6	Glossary	29

Standardglossar ist integriert. Volles Glossar siehe: [Glossar Deutsch](#) [Glossary English](#)

## Der Zweck des Gesamtprogramms SmartRail 4.0

### Die Optimierungsziele des Gesamtprogramms SmartRail 4.0.

## 2 Der Zweck des Programms

### 2.1 Einleitung

In einer grossen Vollbahn sollte ca. alle 15-20 Jahre (Systemlebenszyklus) die nächste grosse Zielarchitektur der Produktion (Prozesse, Systeme, Anlagen) festgelegt werden, auf die langfristig koordiniert hingearbeitet wird. Diese Festlegung erfolgte bei der SBB zuletzt im Jahre 2002 mit dem VR Beschluss zur „Innovation neue Bahnsysteme / XP08“. Der Beschluss ist vollständig umgesetzt worden und stellt die Grundlage für die heutige Bahnproduktion dar. Die nächste grosse Zielarchitektur wird durch SmartRail 4.0 festgelegt.

SmartRail4.0 ist eine integrierte Architektur bestehend aus Komponenten, die durch offene Schnittstellen verbunden werden. Ein Teil der Komponenten könnte auch isoliert in andere Architekturen eingebettet werden, dann jedoch evtl. mit geringerem Nutzen und hohem Migrationsaufwand.

Die abgestimmte Entwicklung aller Komponenten in einer integrierten Architektur ist erforderlich um die Bahnproduktion insgesamt auf ein deutlich besseres Niveau bzgl. Kosten, Sicherheit und Leistungsfähigkeit zu bringen. SmartRail 4.0 ist daher als Branchenprogramm anzusehen, das Projekte zur grundlegenden Verbesserung der Bahnproduktion identifiziert und deren Umsetzung untereinander und mit dem Umfeld koordiniert. Die Anwendung dieses "Komponentenbaukastens" wäre dann z.B. [SR40@SBB](#) oder [SR40@BLS](#), wobei der Systembaukasten SR40 jeweils ganz oder teilweise genutzt werden könnte.

SmartRail 4.0 ist aus technischer Sicht keine zusätzliche Massnahme, da aufgrund der Systemlebenszyklen und der Technologieverfügbarkeit in den nächsten 10-15 Jahren in jedem Fall alle Grosssysteme der Produktion auf aktuelle Technologien umgestellt werden müssen.

SmartRail 4.0 entsteht durch Business Reengineering und durch die Anwendung heutiger Prinzipien und Möglichkeiten der digitalen Welt in der Bahnproduktion. Dieses geschieht auf allen Ebenen – vom Fahrplanplanungsprozess bis hinunter zu Steuerung von Aussenanlagen und Zügen. Hierbei steht nicht die Erfindung neuer Basistechnologien im Vordergrund, sondern der Einsatz heute vorhandener aber noch ungenutzter Technologien. Ihre Wirkung auf Kapazität, Sicherheit, Pünktlichkeit und Kostenoptimierung ist, wie die Auflistung aller Business Cases und Effekte in diesem Dokument zeigt, sehr gross.

Die wichtigste Erkenntnis ist dabei, dass nicht die Verfügbarkeit oder Einsetzbarkeit der Technologie für die Bahnproduktion die Herausforderung ist, sondern die Migration der vorhandenen weitvernetzten Informationsverarbeitungsprozesse (bei SBB zum Beispiel mit mehr als 10.000 Beteiligten) und des grossen Anlagenpools mit einem Wiederbeschaffungswert von 8-9 Mia CHF für die Produktionstechnik (Anteil Infrastruktur bzw. nur Planungs- und Steuerungssysteme und -anlagen). Das Ziel ist die Migration mit geringen "sunk costs", mit möglichst früh einsetzenden Vorteilen, mit allen betroffenen Mitarbeitern in stets stabiler Weise und ohne betriebliche Beeinflussungen. Man benötigt also einfache und günstig migrierbare Technologien und Systeme sowie stabile Prozessveränderungsmethoden.

Die grossen Vollbahnen haben einen technologischen Rückstand, weil sie dieses grosse Migrationsproblem bisher auf der Basis der verfügbaren Industrieprodukte noch nicht lösen konnten. Sie hängen teilweise auf alten und unveränderbaren Geschäftsprozessen und Technologien fest, die fix in die Anlagen und Systeme, in regulativen Bestimmungen und in internen Vorschriften „einprogrammiert“ sind. Es ist in SmartRail 4.0 deshalb von besonders grosser Bedeutung, dass verfahren und Technologien für eine sehr günstige und schnelle Migration entwickelt werden. Dieses muss für die Gesamtlandschaft der Systeme von verschiedenen Herstellern abgestimmt geschehen.

Mit SmartRail 4.0 wird vor allem auch ein wirtschaftlicher operativer Migrationsweg erarbeitet. Hierbei werden

gezielt nur bestimmte Prozesse und Systeme im „Rückgrat“ der Produktion optimiert und integriert oder durch wenige aber sehr leistungsstarke Alternativen ersetzt, die das Gesamtsystem massiv flexibilisieren und damit optimierte Prozesse zulassen.

## 2.2 Zielbild SmartRail 4.0

Zielbild SmartRail 4.0

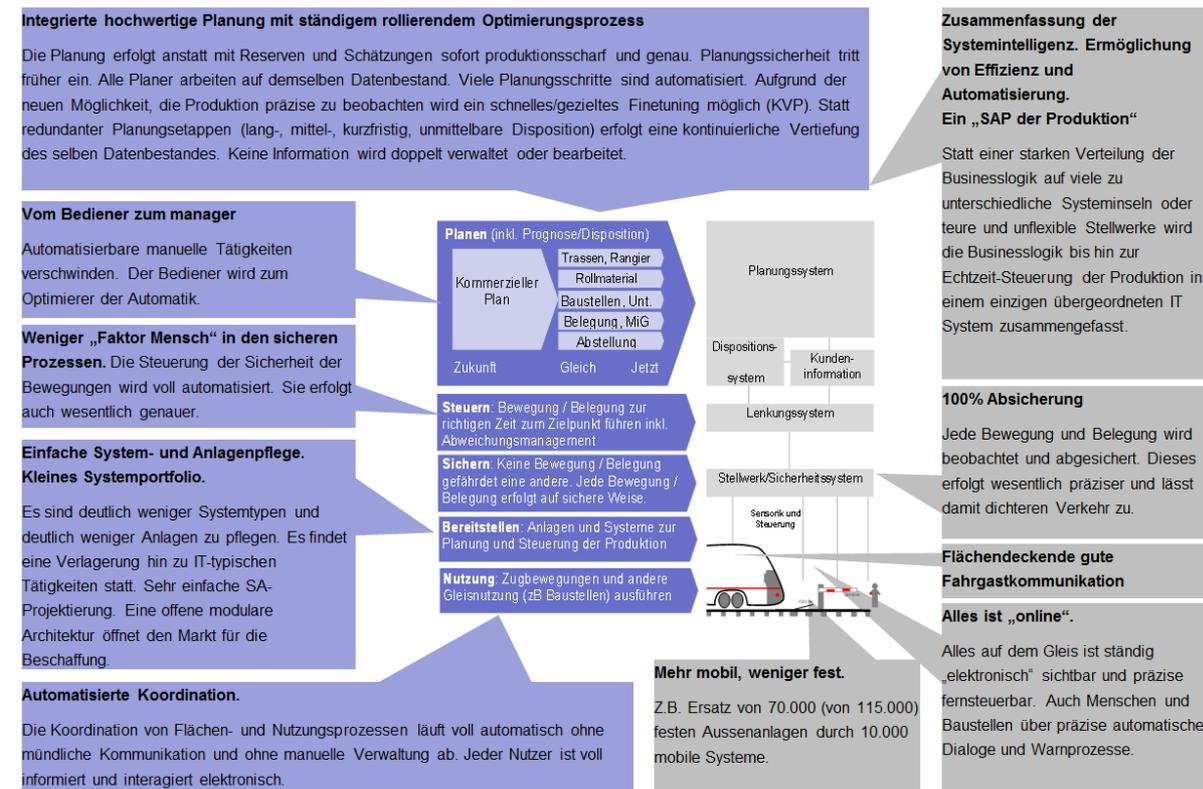


Abbildung 1: Zielbild SmartRail 4.0

### Integrierte hochwertige Planung mit ständigem rollierendem Optimierungsprozess.

Die Planung erfolgt anstatt mit Reserven und Schätzungen sofort produktions-scharf und genau. Planungssicherheit tritt früher ein. Alle Planer arbeiten auf demselben Datenbestand. Viele Planungsschritte sind automatisiert. Aufgrund der neuen Möglichkeit, die Produktion präzise zu beobachten wird ein schnelles/gezieltes Finetuning möglich (KVP, kontinuierlicher Verbesserungsprozess). Statt redundanter Planungsetappen (lang-, mittel-, kurzfristig, unmittelbare Disposition) erfolgt eine kontinuierliche Vertiefung des selben Datenbestandes. Keine Information wird doppelt verwaltet oder bearbeitet.

### Vom Bediener zum Tuner.

Automatisierbare manuelle Tätigkeiten verschwinden. Der Bediener wird zum Optimierer der Automatik.

### Wenig „Faktor Mensch“.

Die Steuerung der Sicherheit der Bewegungen wird voll automatisiert und erfolgt wesentlich genauer.

### Einfache System- und Anlagenpflege. Kleines Systemportfolio.

Es sind deutlich weniger Systemtypen und deutlich weniger Anlagen zu pflegen. Es findet eine Verlagerung hin zu IT-typischen Tätigkeiten statt. Die Sicherungsanlagen (SA)-Projektierung erfolgt auf einfache Art und Weise. Eine offene modulare Architektur öffnet den Markt für die Beschaffung.

### Automatisierte Koordination.

Die Koordination von Flächen- und Nutzungsprozessen läuft mit einem möglichst hohen Automatisierungsgrad möglichst ohne mündliche Kommunikation und ohne manuelle Verwaltung ab. Jeder Nutzer ist voll informiert und interagiert elektronisch.

### Zusammenfassung der Systemintelligenz. Ermöglichung von Effizienz und Automatisierung.

Statt einer starken Verteilung der Businesslogik auf viele unterschiedliche Systeminseln oder teure und unflexible Stellwerke wird die Businesslogik bis hin zur Echtzeit-Steuerung der Produktion in einem einzigen übergeordneten IT System zusammengefasst.

### Nahezu 100% Absicherung.

Jede Bewegung und Belegung wird beobachtet und abgesichert. Dieses erfolgt wesentlich präziser und lässt damit dichteren Verkehr zu.

### Flächendeckende gute Fahrgastkommunikation.

Das langfristige Ziel ist, für jeden Reisenden 20 MBit/s Downstream bei guter Verfügbarkeit zu erreichen.

**Alles ist „online“.**

Alles auf dem Gleis ist ständig „elektronisch“ sichtbar und präzise fernsteuerbar. Auch Menschen und Baustellen sind über präzise automatische Dialoge und Warnprozesse sichtbar und "steuerbar".

**"Mehr mobile Systeme, weniger feste Anlagen".**

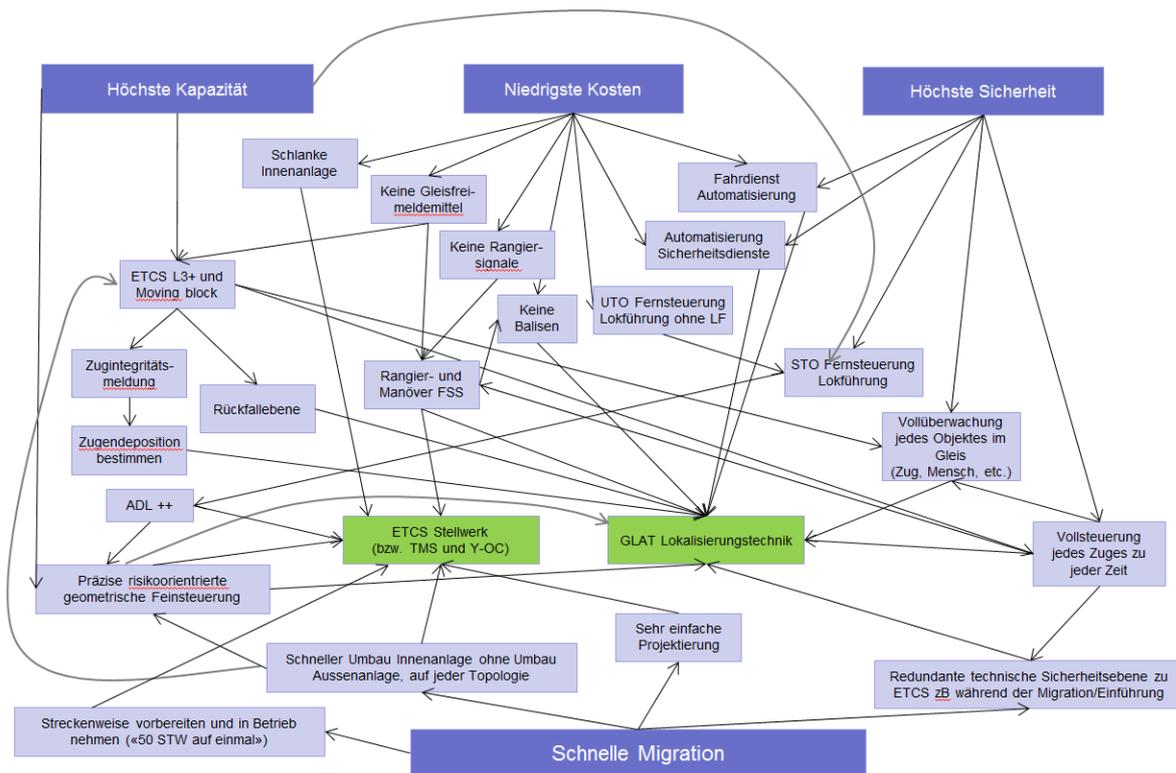
Z.B. Ersatz von 70.000 festen Aussenanlagen durch 5-10.000 mobile Systeme.

## 2.3 Lösungsstrategie zum Zielbild SR40

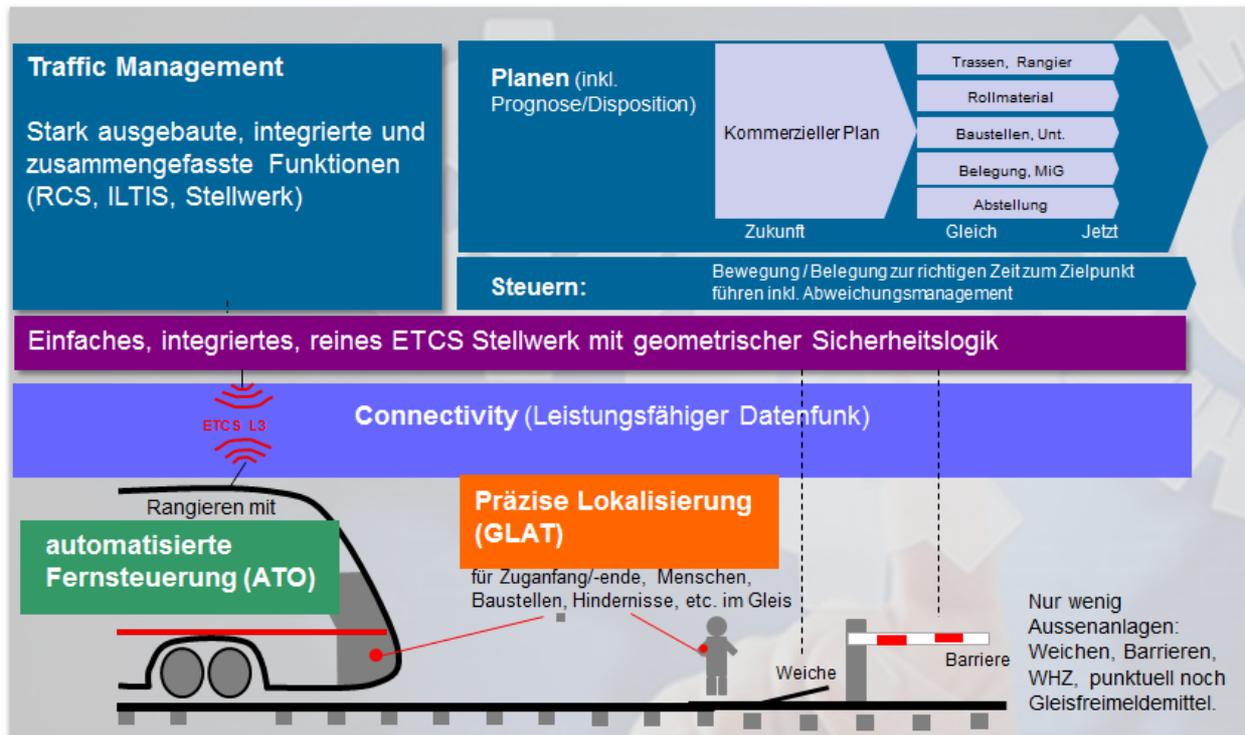
Lösungsstrategie zum Zielbild SmartRail 4.0



Abhängigkeiten in der Lösungsstrategie SR40



Das technische Zielbild zu SmartRail 4.0



1. Ein sehr leistungsstarkes Traffic Management System übernimmt die Aufgabe diverse Systeme, die heute im Umfeld Fahrplan/Betrieb existieren.
2. Das TMS (NoSIL) übernimmt als Realtime-System ausserdem alle nicht sicherheitsrelevanten Funktionen aus Bahnleittechnik und Stellwerken, damit die Bahnleittechnik entfallen kann und die Stellwerke (SIL4) auf ein absolutes funktionales Minimum reduziert werden können.
3. Das Gleis ist bzgl. der Stellwerkassenanlagen nur noch mit Weichen, Weichenheizung und Barrieren ausgestattet (30% der Anlagen von heute).
4. Alle lokalisierbaren Objekte im Fahrweg (Züge, Menschen, etc.) melden ihre Position über eigene Lokalisierungssysteme.
5. Das Stellwerk enthält eine geometrische Sicherheitslogik mit Risikobeurteilung zur Laufzeit, die sichere Bewegungen im Fahrweg für jeden beliebigen Prozess und jedes Anlagenlayout garantieren kann. Dieses ermöglicht unter anderem (zusammen mit umschaltbaren Object Controllern) die Umstellung eines Netzes in sehr grossen Schritten und durch den reinen Ersatz der Innenanlage.
6. Die Zugbeeinflussung wird auf der Basis von ETCS L3 durchgeführt
7. Die Züge sind durch ATO ferngesteuert (mindestens ATO GoA2, bei anwesendem Lokführer).
8. Ein leistungsstarker Datenfunk ermöglicht die Einführung der obigen Systeme und generiert hohe Bandbreitenverfügbarkeit für Endkunden.

### 3 Der primäre Zweck des Programms: Abhängigkeitsmanagement, Gesamtleistung und Kompatibilität

#### Die Abhängigkeiten der Projektfelder.

Theoretisch könnten alle in SmartRail 4.0 enthaltenen Projekte isoliert betrachtet werden, wenn sie jeweils nur einzeln durchgeführt werden würden und in eine vorhandene Anwendungslandschaft integriert werden würden. Sie hätten dann einen anderen Umfang und wesentlich weniger Nutzen, und vor allem grosse Synergiepotentiale gingen verloren. Deshalb ist SR40 anders aufgebaut: Alle Projekte erfolgen parallel, da die

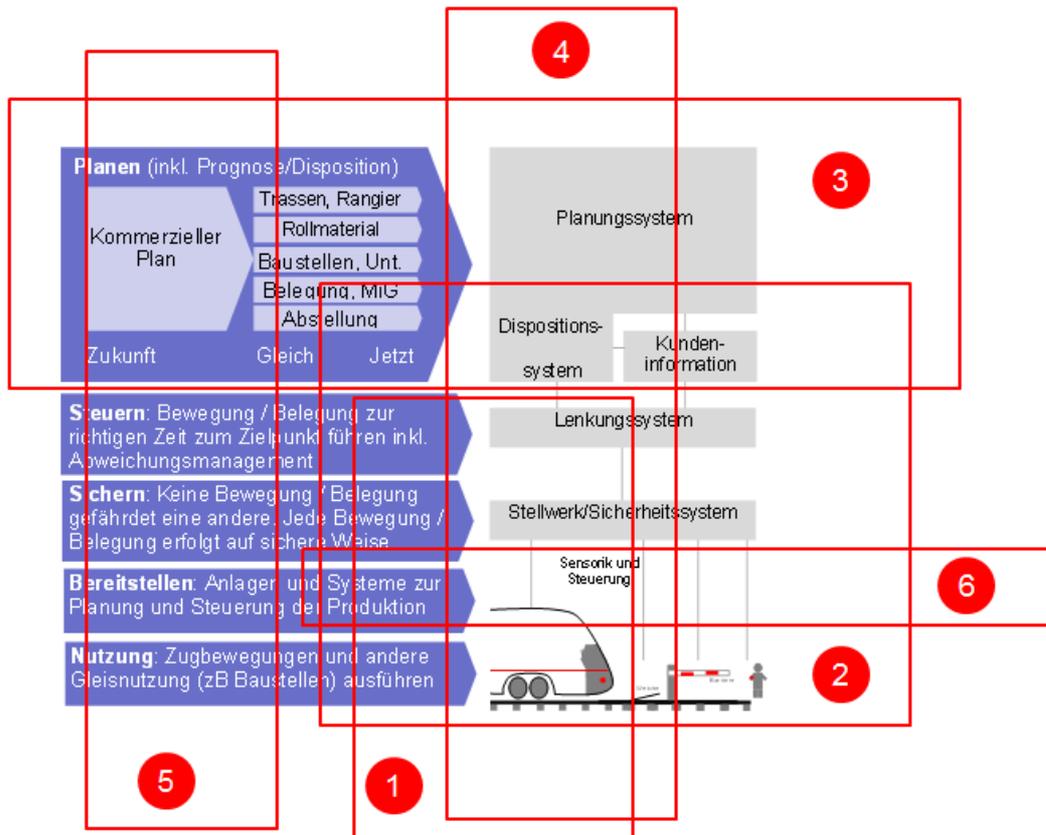
gesamte Bahnproduktion koordiniert umgestellt werden soll. Damit müssen die Projekte auch inhaltlich stark aufeinander abgestimmt werden. Diese Abstimmung betrifft folgende Aspekte:

Die Gesamtarchitektur zur Bahnproduktion und damit die Eigenschaften ihrer Komponenten müssen zusammenpassen und auf die Gesamtziele von SR40 ausgerichtet werden. Dieses betrifft z.B. die Durchgängigkeit des erforderlichen Gesamtinformationsflusses.

Die Einführung der Projekte von SR40 muss über einen abgestimmten stabilen Migrationsplan erfolgen.

Die Vorgaben für die Einzelprojekte müssen aus den Gesamtzielen zur Bahnproduktion so heruntergebrochen werden, dass eine sinnvolle Zuteilung zum Einzelsystem so erfolgt, dass die Ziele ausreichend, ökonomisch und machbar sind.

Koordination der Abhängigkeiten in SmartRail 4.0: Die 6 grössten Projektfelder



## Projektfelder:

### (1). Die Züge „online“ bringen (direkte Zuglenkung, genaue Positionen und Geschwindigkeiten).

- Zügige Migration zur ETCS Führerstandssignalisierung („FSS“, mindestens ETCS L2)
- Stark vereinfachte Stellwerke. Stark vereinfachte Stellwerkprojekte und –unterhalt.
- Situativ optimierte Feinsteuerung der Zugsbewegungen (via ETCS FSS).
- Voraussetzung: Neue Stellwerktechnik (Projekte ES Innenanlage, OC, TMS-L)

### (2). Alle Züge, Menschen und Objekte im Gleis vollständig lokalisieren und „online“ bringen.

- Optimierte ETCS Führerstandssignalisierung (ETCS L3): Ergänzungen in den Fahrzeugen.
- Höhere Verkehrsdichte wird möglich. Deutlich weniger Aussenanlagen. Hohe Sicherheit.
- Voraussetzung: Neue Lokalisierungstechnik (GLAT), Abschluss ETCS L3-Standard.

### (3). Integrierte und automatisierte Planung und Steuerung schrittweise aufbauen

- Automatisierungsschritte und Aufwandsreduktion bei der Fahrplanplanung und BZ
- Höhere Planungsqualität (Robustheit, Kapazitätsausnutzung, Ressourcenbelastung)
- Automatisierung von Routine-Lenkungsprozessen in den Betriebszentralen
- Feinsteuerung der Produktion wird in einem KVP ständig optimiert
- Voraussetzung: Neues Traffic-Management-System (TMS-PAS Modul, Ersatz RCS und NeTS, datentechnische Integration oder Zusammenführung diverser Planungssysteme)
- In diesem Projektumfeld sind auch ohne SmartRail 4.0 Optimierungen möglich

#### **(4). Automatic Train Operation („ATO“ im Zusammenspiel ETCS, Fernsteuerung der Züge)**

- Teilautomatisiert / Autopilot („GoA 2“, geringere Fahrzeuganpassungen)
- Vollautomatisiert („GoA 4“, umfangreiche Investitionen in die Fahrzeuge und die Infrastruktur)
- Voraussetzungen: (1),(3), TMS-ATO Modul

#### **(5). Veränderung des Gesamtprozesses zur Produktion zwischen den OE: Zum Beispiel bei SBB zwischen FN, B, AT, PJ, IH, etc.** (abhängig von allfälligen kontinuierlichen Organisationsanpassungen)

- Aus der Veränderung der Einzelprozesse muss auch ein konsistenter Gesamtprozess entstehen
- Die hohe Vereinfachung (Prozesse, Systeme) muss durch eine Bereinigung aller Residual-Prozesse begleitet werden, damit sich historische Aufwände nicht einfach fortsetzen

#### **(6). Schnell wachsende Anforderungen an das Datenfunknetz erfüllen**

- Die Industrie diskutiert zur Zeit ein (formales) Lebensende von GSM-R (2G) für 2030
- Die heutigen Sicherheitssysteme (Stellwerke, Fzg.) können die Public-Netze noch nicht nutzen
- Ein Rollout von ETCS FSS ist nur mit Ausbau des Datenfunk-Netzes möglich
- Eine volle Lokalisierung (für ETCS L3) erfordert noch höhere Bandbreiten
- ATO stellt in bestimmten hohen Automatisierungsgraden nochmals deutlich höhere Kapazitätsanforderungen an das Datenfunknetz
- Höhere Kundenerwartungen sind auch flächendeckend abzudecken (insbesondere Reisende, aber auch stärkere Kommunikation der Managementsysteme der EVU mit Fahrzeugen/Wagen)
- Voraussetzung: Projekt „connectivity@rail“

Die Langlebigkeit von Infrastrukturanlagen und Fahrzeugen erzwingt eine weite Vorausschau für die zukünftigen technologischen Änderungen und Ausbauten des Rückgrats der Produktionsprozesse und Systeme. Wenn sie nicht auf eine gemeinsame langfristige Zielarchitektur ausgerichtet werden, drohen hohe "sunk costs", nachträgliche Umbauten, missed opportunities aufgrund fehlender Aufwärtskompatibilität zu neuen leistungsfähigen Lösungen oder fehlende Automatisierbarkeit.

An der Überlagerung der Projektumfelder sieht man, dass die Roadmaps nicht unabhängig entwickelt werden können. Die 6 Handlungsfelder hängen zusammen wie „Keller, Mauern, Räume, Leitungen und Dach“ in einem Einfamilienhaus. Die Abhängigkeiten bestehen zeitlich, inhaltlich, datentechnisch, technologisch und prozedural. Einige Beispiele:

#### **Abhängigkeiten:**

Um die Technologie, die Roadmap und die Ausbaustufe von (6) connectivity@rail festzulegen, müssen (1)-(4) geklärt sein (bis zur technischen Konzeption)

Wird erst (1) (ETCS L2) und dann später (2) (ETCS L3, GLAT) umgesetzt, entstehen hohe "sunk costs" (unnötig migrierte Aussenanlagen)

Man kann ATO (4) nicht einfach nur „ergänzen“. Es benötigt mindestens ETCS FSS (1) oder eine analoge

Absicherung und seine Bauform, Kosten und Leistungsfähigkeit hängt sehr stark von (2),(3) und (6) ab.

Die für (1),(2),(4),(6) notwendige Fahrzeugausrüstung könnte in einem Schritt erfolgen, oder auch in mehreren Schritten mit Abstand von ca. 5-10 Jahren. Diese mehrfachen Veränderungen sind mit einer deutlich höheren Laufzeit und höheren Kosten verbunden.

Die mittel-/langfristige Integration und Automatisierung der Planungs- und Steuerungsprozesse (3) hängt stark von den technologischen Möglichkeiten und von der Machart von (1),(2) und (4) des zu steuernden Produktionssystems ab. Sind z.B. ATO und auch alle sonstigen Bewegungsprozesse im Gleis (z.B. automatische Gleissperren für Kleinunterhalt) elektronisch zu steuern, ergibt sich eine andere Aufgabenstellung für Prozesse und Systeme. Für die schrittweise Evolution der BZ spielt es auch eine wesentliche Rolle, ab wann diese Veränderungen der Produktion eintreten, da die Etappen der Veränderung von Business Prozessen machbar gestaltet werden müssen.

Der Prozess- und Datenfluss quer durch (1)-(6) muss datentechnisch präzise zusammenpassen (Architektur Informationsfluss entlang der Prozessanforderungen und der technologischen Anforderungen). Wird ein Projektumfeld mit zu wenig Informationsumfang entwickelt oder geht es von zu vielen Informationen aus, die an anderer Stelle zur Verfügung stehen müssen, so entstehen erneute Umbauten oder aufwendige „Medienbrüche“ (erfordern manuelle Datenübertragung und -verarbeitung), die die Automatisierung verhindern.

Es existieren auch terminliche „Scheren“. Es gibt Handlungsfelder mit fixiertem Zeitdruck (z.B. Auftrag des Eigners zur ETCS FSS Migration ab 2025, Lebensende GSM-R oder Ersatzspitze für Stellwerke zwischen 2020-40 mit deutlich höherem Investitionsaufwand). Umgekehrt benötigen einige Handlungsfelder noch technologische Machbarkeitsprüfungen um ihre erreichbare Leistungsfähigkeit zu bestimmen (ATO, Lokalisierung, connectivity@rail). Ergänzung im regulativen Umfeld sind durch detailliert zu erarbeitende Change Requests zu erwirken, deren Akzeptanz und Machbarkeit zu ermitteln ist. Diese terminliche Scheren müssen durch die Erarbeitung einer präzisen und technisch machbaren Migration gelöst werden, die stabil durchführbar ist.

Die Existenz von inhaltlichen Abhängigkeiten bedeutet nicht, dass man alle SR40 Projekte zusammen beschliessen oder ablehnen muss. Die ausgewählte Projektmenge muss nur, wenn sie beschlossen wurde, gemeinsamen gestaltet werden. Und sie sollten aufwärtskompatibel zu den Projekten gestaltet werden, die im Moment noch nicht beschlossen sind aber später realisiert werden könnten. Dieses bedeutet bzgl. der grösseren Massnahmenpakete:

- Das ETCS Stellwerk (ES) könnte allein realisiert werden (nur zusammen mit TMS-L)
- TMS-PAS könnte allein realisiert werden (Fahrplan Automatisierung, Beseitigung der betrieblichen Medienbrüche)
- GLAT könnte für einen Teil seiner Use Cases isoliert entwickelt werden (z.B. Baustellwarnung)
- ATO könnte isoliert realisiert werden (auf der Basis von Class-B Systemen oder einem entsprechend angepassten ETCS L1LS)
- GSM-R könnte unabhängig von allen anderen Projekten durch seinen Nachfolger FRMCS ersetzt werden

Durch die gemeinsame Realisierung dieser Projekte entstehen jedoch grössere zusätzliche Nutzenpotentiale, die im Einzelfall nicht erreicht werden können.

## Abhängigkeitsmatrix SmartRail 4.0

Legende:

„E“ = Zielerreichung wird durch eine spezifische Gestaltungen der Projekte dieses Teilprogramms primär ermöglicht

„V“ = Für das ermöglichende Teilprogramm (E) ist ein anderes Teilprogramm als Voraussetzung anders zu gestalten. Ein

(V) in Klammern bedeutet, dass der Nutzen verstärkt wird, aber dass keine zwingende Abhängigkeit vorliegt

Nutzen		Umbau / Ausbau Fahrplan, Disposition und Lenkung	Neue Stellwerk-technologie-generation	Ersatz bzw. Ausbau der Fahrzeug-ausrüstungen	Ersatz und Ausbau des Datenfunks	Sichere und lokalisierbare mobile Endgeräte-plattform
Zwingend vorzubereiten	Ersatz im nächsten Jahrzehnt rollierend	E	E		E	

Kostensenkung	oder ganz Investitionsspitze	V	E			(V)
	Stellwerke brechen					
	Vervollständigung ETCS			E		
	Fahrzeugausrüstung					
	Schnelle günstige ETCS L2 Migration	V	E	V		(V)
	Reduktion Stw. Aussenanlagen	V	E	V	V	E
	Automatisierung Fahrplan + Betrieb	E	(V)			(V)
	Automatisierung Lokführung	V		E	(V)	(V)
	Automatisierung Projektierung	V	E			(V)
	Stellwerke					
	Geringerer Energieverbrauch	E		E	(V)	(V)
	Sichere automatisierte Baustellenwarnung	(V)	(V)			E
	Reduktion mobile Plattformen	V	(V)	(V)	V	E
	generische Stellwerkinnenanlage	V	E			
	Günstige Einführung ETCS L2/3	V	E	(V)	(V)	(V)
Kapazität	Senkung Aufwand Zugführung (ATO GoA4)	V		E	V	
	Keine Fahrvarianz (ATO GoA2)	V		E	V	
	Präzise Feinsteuerung des Verkehrsflusses „moving block“	E	V	V	(V)	(V)
	Direkte adaptive Lenkung	V		E	(V)	(V)
	Sicherung Mensch im Gleis	V	E			V
	Kein „human factor“ mehr	V	E	V	V	V
	Autarkes Warn- und Stoppsystem	V	E	V	V	V
Sicherheit	Rangiersicherheit	V	E	V	V	V

## 4 Die abgeleiteten vier Programme in SmartRail 4.0

### Die 4 technischen Programme von SmartRail 4.0: TMS, ES, LCS und ATO

#### 4.1 Traffic Management System (TMS)

##### TMS Grundkonzept

Die Interoperabilität der grossen Bereiche Fahrplan und Betrieb und deren Automatisierungsgrad sollen erhöht und verbessert werden. Das Traffic Management System (TMS) umfasst die heutigen Systemwelten der SBB Softwaresysteme NeTS (Fahrplansystem), RCS (Dispositionssystem) und ILTIS (Lenkung- und Steuerung) und stellt ein integrales Verkehrsmanagementsystem für die Normalspurbahnen in der Schweiz zur Verfügung.

Die Fahrplanplanung ist heute geprägt vom Expertenwissen der Planer. Die Erstellung des Fahrplans erfolgt mit IT-Systemen, welche weder eine Automatisierung in der Planungserstellung noch in der Qualitätskontrolle beinhalten. Mit dem TMS werden weitere Einzelschritte der Planung des Fahrplans automatisiert und eine marktgerechte und zeitnahe Angebotserstellung sowie eine kapazitätsoptimale Planung automatisiert der

Produktion (dem Betrieb) zur Verfügung gestellt.

Innerhalb des Produktionsbetriebes werden die zum Teil bereits vorhandenen, automatischen Funktionen zur Regelung des Bahnverkehrs weiter ausgebaut, so dass auch die Produktion sowohl im normalen, als auch im teilgestörtem Betrieb vollautomatisch und kapazitätsoptimal in erhöhter Qualität abläuft.

Neben diesen beiden Kerninhalten zur Automatisierung der Bahnproduktion, wird innerhalb des Vorhabens TMS die bestehenden Lenkungs- und Steuerungssysteme (LTIS) durch eine neue Lenkung ablösen/ergänzen, die im Zeitraum der Migration die zu SmartRail 4.0 alte und neue Welt der Bahnproduktion durchgängig miteinander verbindet. So können die Automatisierungspotenziale von TMS sowohl in der bestehenden Sicherungsanlagenwelt (LTIS) als auch mit den neuen Stellwerksgenerationen (ETCS-ES) in der Übergangsphase des Ausbaus von SmartRail 4.0 erreicht werden.

Als vierten Teil umfasst das neue TMS die notwendigen streckenseitigen Zugfernsteuerungsmechanismen (ATO), die zur energie- und kapazitätsoptimalen Umsetzung des Fahrplanes, durch direkte Steuerung von Triebfahrzeugen notwendig sind.

## **4.2 ETCS Stellwerk (ES)**

### **ES Grundkonzept**

#### **4.2.1 Hintergrund**

Die SBB hat zwischen 1985 und 2010 viermal eine grössere Technologieentwicklung bzw. Weiterentwicklung zu neuen Stellwerken bei den beiden Hauptlieferanten in Auftrag gegeben. Die Auslöser für die Entwicklungen lagen im nahenden Lebenszyklusende der vorherigen Technologien und in erhöhten Anforderungen, die sich mit den alten Stellwerktechnologien nicht abbilden liessen (z.B. zu Sicherheit, Betriebsprozessen oder zu ETCS) sowie zur Reduktion der Abhängigkeiten zu einem einzelnen Lieferanten.

Diese neuen Stellwerktechnologien bildeten althergebrachte traditionelle Stellwerklogiken nicht mehr auf Relais sondern auf Computertechnologien ab („elektronische Stellwerke“). Dieses ermöglichte einen höheren und flexiblen Funktionsumfang und eine bessere Wartbarkeit. Gleichzeitig wurde damit jedoch die Lebensdauer der Stellwerkanlagen von ca. 60 Jahre (Relaisstellwerke) auf maximal 40 Jahre reduziert.

Diese Entwicklungen der neuen Stellwerktechnologien wurden damals durch eigenständige generische Produktentwicklungen der Hauptlieferanten flankiert, die marktgetrieben ebenfalls einen Technologiewechsel vornehmen wollten. Hierbei gehen die etablierten Lieferanten auch heute noch so vor, dass ihre generischen internationalen Plattformen auf landesspezifische Anforderungen angepasst werden. Man kann diesen beidseitig ausgelösten Entwicklungsvorgang als kooperativ abgestimmte und abgesicherte Entwicklung bezeichnen. Die Finanzierung solch einer Entwicklung erfolgte indirekt über die Preise der Stellwerke bei den späteren Implementierungen zu Stellwerkersatz und Stellwerkerweiterungen. Der Entwicklungsaufwand für eine völlig neue Stellwerkentwicklung liegt nach Aussagen der Hersteller je nach Typ bei CHF 50-70 Mio., zuzüglich späterer funktionaler Erweiterungen, die oft sehr umfangreich sind.

Für die nationale Anwendung einer Stellwerkplattform eines Herstellers müssen in der Schweiz zur Anbindung der vorhandenen Aussenanlagen, für die regulativ festgelegten Vorgaben (FDV, AB EBV), für die Schnittstellen zu vorhandenen Sicherheitssystemen im Netz sowie für die national festgelegten Betriebsprozesse zwischen 350-450 Zusatzfunktionen pro Stellwerktyp implementiert werden. Der Entwicklungsaufwand für eine Zusatzfunktion liegt zwischen CHF 30'000.00 und in einigen Fällen mehreren hunderttausend CHF.

Die Funktionalität eines Stellwerks ist im Vergleich zu einem grossen IT System wie RCS dennoch vergleichsweise klein. Trotzdem sind die Kosten pro Funktion wesentlich höher (Faktor 5-20), da das Entwickeln von Sicherheitssystemen von äusserst aufwendigen Projekt- und Nachweisprozessen begleitet wird. Diese sind umfangreich und unterliegen aufwändigen Zertifizierungsverpflichtungen, welche dazu führen, dass die Codierung selbst nur wenig des Aufwandes und Kosten konsumiert.

Dieser hohe Mehraufwand hat insbesondere seit der regulativen Vorgabe der EN 50126 - EN50129 stetig

zugenommen und wächst weiter, insbesondere nun durch die zusätzlichen europäischen Zulassungsschritte, die mit der technischen Säule des vierten Eisenbahnpakets indirekt auch auf die Stellwerklösungen wirken. Neu werden auch verschärfte Vorschriften zur Security der Sicherheitssysteme diskutiert, die in die regulativen Vorschriften und damit in die komplexen Projekt- und Zulassungsprozesse eingehen könnten, was nochmals einen grossen Sprung im Entwicklungs- und Projektierungsaufwand für Sicherheitssysteme bedeuten wird.

Die Bürokratisierung der Entwicklung und Nutzung von Sicherheitssystemen hat seit 2000 deutlich zugenommen und auch einen neuen Dienstleistungsmarkt erzeugt, der sie immer weiter professionalisiert und ausbaut. Die Sicherheitslogiken sind bezüglich ihres Grundalgorithmus' aber immer noch sehr alt (> 60 Jahre). Zwar wurden auch Verbesserungen der Logik sowie kleinere Verbesserungen der Sicherheit erzielt, die meisten Sicherheitsverbesserungen bei der konventionellen Signalisierung basieren aber auf der intensiveren Ausstattung des Netzes mit hochwertigeren Aussenanlagen, anderen Anlagenlayouts oder auf operativen Veränderungen – nicht auf einer besseren Stellwerktechnologie an sich.

60% der ca. 500 Stellwerken der SBB basieren noch auf Relaisstellwerken, und ihre statistische Sicherheit ist nicht schlechter als die der neuen elektronischen Stellwerktechnologien, trotz der nicht gleich hohen Sicherheitsfunktionen und der sehr unterschiedlich strengen Zulassungsprozesse (früher versus heute). Dieses liegt daran, dass die Sicherheit nicht nur durch eine Technologie sondern insbesondere auch durch die Gestaltung und Einschränkung der Nutzung stark beeinflusst werden kann. Solche Einschränkungen sind bei modernen elektronischen Stellwerken entsprechend etwas seltener notwendig, da sie einen etwas besseren Funktionsumfang haben.

#### **4.2.2 Ausgangslage**

##### **Dringende Handlungsbedarfe zu den Stellwerken**

Die Nachfolgetechnologien für die Stellwerke und Leittechniken müssen vorbereitet werden.

Die beschlossene Strategie zur Einführung der Führerstandssignalisierung ist mit den heute verfügbaren ETCS kompatiblen Produkten zu aufwendig, erfolgt zu langsam (bis 2060) und bringt mit den heutigen Produkten zu wenig Vorteile. Hierbei ist stark zwischen ETCS (bzw. ERTMS) als Kommunikationsstandard und den dazu kompatiblen Produkten oder den Implementierungsformen zu unterscheiden. ETCS als Kommunikationsstandard hat ein hohes Potential für grössere business cases. Mit den heute verfügbaren und immer noch recht jungen ETCS-kompatiblen Produkten sind diese im Fall der SBB jedoch noch nicht ausreichend erreichbar.

Die Investitionsspitze zum Stellwerkersatz ab 2024 muss im Sinne der Finanzierbarkeit gebrochen werden.

Die Abdeckung des zukünftigen Personalbedarfes (Bahn/Industrie) zur Betreuung der Systeme, Technologien und der Anlagen muss durch eine zügige Veränderung der eingesetzten Technologien abgesichert werden – inkl. des zügigen Rollouts dieser Technologien im gesamten Netz.

Es dürfen nicht weiter Technologien durch Ersatzinvestitionen installiert werden, die 40 Jahre existieren sollen, die aber nicht zu der absehbaren kommenden technologischen Regulation oder zu den absehbaren neuen leistungsstarken Industrieprodukten aufwärtskompatibel sind, die schon in 5-15 Jahren entstehen werden.

Aufgrund der Komplexität und schneller wachsenden Vielfalt der Anlagen und Technologien bei gleichzeitiger Verkürzung der Lebensdauer (mehr ICT Technologien) entsteht zunehmend ein Beherrschungsrisiko, da aufgrund der alten Architekturen (Patchwork) und verteilten Systeme keine modernen Methoden des ICT Managements eingesetzt werden können.

Auch die Industrie plant die nächsten Technologiegenerationen und der Besteller muss dafür seine Anforderungen genau formulieren können.

Die aufgrund der proprietären Anlagen zu kleinen Anlagenserien bedrohen auch die Industrie, welche die

Entwicklungskosten nicht amortisieren kann. Breit einsetzbare Produkte sind nur möglich, wenn die Besteller ihre Anforderungsgerüste deutlich verändern. Dazu ist eine andere Architektur erforderlich. Es besteht das Risiko, dass sonst vorhandene Lieferanten noch während des jungen Lebenszyklus' ihrer Systeme den Markt Schweiz verlassen müssen, wenn keine Perspektive geschaffen wird.

Einführung der regulativ vorgeschrieben kontinuierlichen Zugüberwachung.

#### **4.2.3 Optimierungschancen im Rahmen der nächsten Technologiegeneration der Stellwerke**

##### **Optimierungschancen zu den Stellwerken**

Die Anzahl der Stellwerkaussenanlagen (heute 115'000 alleine auf dem SBB-Netz) liesse sich durch einen Technologiewechsel um bis zu 70% reduzieren (grosso modo verbleiben langfristig nur noch Weichenansteuerungen und Barrieren sowie sehr wenige Sensoren im Gleis). Die jährlichen Sicherungstechnik-Kosten (400-600 MCHF je nach Jahr, alleine bei der SBB) korrelieren direkt zu dieser Anzahl.

Die Verfügbarkeit der Stellwerke korreliert mit der Anzahl der Stellwerkaussenanlagen und lässt sich damit deutlich verbessern.

Die Anzahl der Stellwerktechnologien (heute 16 verschiedene alleine im SBB-Netz) liesse sich durch einen Austausch aller Stellwerkinnenanlagen (18% des Wiederbeschaffungswerts der ca. 500 Stellwerke) auf eine einzige Technologie reduzieren, für den eine nahezu Cash Flow-neutrale Grobmigrationsstrategie entworfen wurde. Dieses reduziert den technologisch skalierenden Betreuungsaufwand in den zentralen Fachdiensten, der Projektierung und der Instandhaltung.

Ein grosser Teil der Funktionalität kann auf deutlich günstigere übergeordnete IT Systeme verlagert werden.

Die Stellwerktechnologie kann spezifisch allein auf die Führerstandssignalisierung ausgerichtet werden und müsste damit weder unternehmensspezifisch noch landesspezifisch entwickelt werden (keine Helvetismen).

Der Systemumfang kann auch über andere („geometrische“) Sicherheitslogiken nochmals deutlich verkleinert werden, was auch die Entwicklung von unternehmensspezifischen Erweiterungsfunktionen vermeidet. Diese ermöglichen auch die komplette Unabhängigkeit von Betriebsprozessen oder Anlagenlayouts, was Projektierungen, Umnutzungen und Umbauten stark vereinfacht.

Die Projektierung (ca. 20% des Aufwandes eines Stellwerkersatzes) kann durch eine andere Stellwerklogik stark vereinfacht und dann stark automatisiert werden. Gleichzeitig werden mit der neuen Logik generische Zulassungen des Systemeinsatzes möglich, so dass im Einzelprojekt keine aufwendigen PGV oder Sicherheitsnachweise für neue Anlagen mehr erfolgen müssen.

Aufgrund der hohen Präzision einer geometrischen Stellwerklogik in Verbindung mit der ETCS Führerstandssignalisierung und adaptiven Zuglaufoptimierungssystemen (wie ADL) entsteht eine Feinsteuerung des Verkehrs (quasi „Meter- und Sekundengenau“) mit einem hohem Kapazitätspotential, da die heutigen Sicherheitslogiken der Stellwerke auf der Grundlage sehr pauschaler Sensoriken und Schaltungen unnötig Kapazität insbesondere in den wichtigen Knotenbereichen verbrauchen.

In Verbindung mit spezifisch entwickelten Ansteuerungen der Aussenanlagen kann eine Industrialisierung des Stellwerkersatzes implementiert werden, der sogar in grossen Netzsegmenten in einem Schritt hoch effektiv erfolgen kann.

Die Schnittstelle zwischen Innen und Aussenanlagen kann stark vereinfacht und so standardisiert werden, dass eine Trennung der Lebenszyklen (kein Komplettersatz mehr nötig) und ein internationaler Einkauf unabhängig zugelassener Aussenanlagen möglich wird.

Das funktional sehr kleine Stellwerk kann nochmals modular aufgebaut werden, damit ein einfacher und günstiger Austausch seiner Komponenten möglich wird.

Konzentration der Stellwerkinnenanlagen in wenigen redundanten Rechenzentren.

Die Stellwerksoftware kann vollständig hardwareunabhängig entwickelt werden, wenn Technologien zur sicheren Virtualisierung der Stellwerkhardware eingesetzt werden (siehe z.B. der Produktprototyp DS3 von Siemens). Dies führt zur Entkopplung der Lebenszyklen (weniger Ersatz), zu einer langlebigen Stellwerksoftware und zur freieren Auswahl der Hardware, die dann aus konventionellen Technologien zusammengesetzt werden kann.

Die Sicherheitsparameter einer geometrischen Stellwerklogik können zur Laufzeit netzweit verändert werden, um auf neue Erkenntnisse zu reagieren. Die Risikosituation im Netz kann zur Laufzeit beobachtet und statistisch präzise erfasst werden. Risikozüge (z.B. durch ZKE erkannt) können besonders behandelt werden.

Die Sicherheitslogik kann aufwärtskompatibel zu neuen Technologien entwickelt werden. Dies betrifft z.B. ETCS Level 3 (Reduktion Aussenanlagen und Kapazität durch moving block) oder die Einbindung von mobilen Lokalisierungstechnologien zur deutlichen Erhöhung der Rangiersicherheit oder zum Schutz des Menschen im Gleis.

Geometrische Stellwerklogiken agieren mit einem generischen Algorithmus der in jeder beliebigen Anlagentopologie oder Situation das gleiche Sicherheitsniveau generieren kann, ohne dass Anlagen dafür spezifisch umgebaut und ohne dass Sonderfunktionen implementiert werden müssen. Ausserdem wird die spontane Änderung oder Einbindung neuer Aussenanlagen möglich, ohne dass die Sicherheit der Gesamtanlage neu überprüft werden muss. Auch Fahrzeuge mit unterschiedlichen Ausrüstungsständen (ETCS Level 2 oder 3, verschieden gute Odometrien bzw. Lokalisierungstechnologien) können im gemischten Betrieb agieren, so dass die Fähigkeiten des modernen Rollmaterials voll ausgenutzt werden können (Kapazität, Sicherheit).

Eine generische geometrische Sicherheitslogik wäre in der Lage, über verschiedene Zugbeeinflussungsstandards (ETCS, CBTC, ATACS, PTC, Systeme der Kleinbahnen) mit dem Zug zu interagieren.

Die Erkennung und ständige Überwachung von Gefahrenmustern (Bewegungen auf dem Gleis, Zustände von Anlagen und Fahrzeugen, Umfeldgefahren) kann stark ausgebaut und zur Laufzeit konfiguriert werden.

Es kann in Verbindung mit lokalisierbaren sicheren Endgeräten im Zug erstmalig eine redundante, autarke zweite Sicherheitsebene aufgebaut werden (Warn- und Notstoppsysteme) so dass bei Störungen, Notbedienungen oder Sondersituationen (z.B. Inbetriebnahmen neuer Technologien) die Sicherheitsverantwortung nicht mehr komplett auf den Menschen verlagert werden muss.

Stellwerk und RBC werden als ein System zusammengefasst (Beseitigung der Redundanzen, Vermeidung einer verteilten Sicherheitslogik), was zur Reduktion der Kosten für Anlagen führt, die kompatibel zur ETCS Führerstandsignalisierung gebaut werden.

### **4.3 Automatic Train Operation (ATO)**

#### **Grundkonzept ATO**

##### **4.3.1 Hintergrund**

##### GoA 1: Automatische Zugsicherung (Zugbeeinflussungssysteme)

- Sicherheit.

Hierzu werden Zugbeeinflussungssysteme wie z.B. ETCS eingesetzt. Der heutige hohe Aufwand ist bekannt.

##### GoA 2: Autopilot, bei anwesendem Lokführer, der überwacht

- Energieersparnis sowie höhere Pünktlichkeit bzw. ein Kapazitätseffekt.

GoA2 soll primär die sogenannte "Fahrvarianz" beseitigen, sowie die einkalkulierten Reaktionszeiten des

Lokführers bei den Zugfolgezeiten zu ETCS L3 und in den ETCS Bremskurven aus den Zeitvorgaben herausbringen.

Die "Fahrvarianzen" bezeichnen Abweichungen des Fahrverhaltens des Zuges von der optimalen SOLL-Linie hinsichtlich Energieverbrauch und aktuellem Verkehrsfluss. Die Höhe der "Fahrvarianz" ist quantitativ noch nicht bestimmt. Es liegen nur punktuelle Messungen zum starken Schwankungen des Energieverbrauches oder zum unterschiedlichen Fahrverhalten auf den ETCS L2 Strecken vor. Erfahrungsberichte z.B. aus Tschechien, wo GoA2 über 15 Jahre eingesetzt wurde, sprechen von einem deutlichen Effekt und einer hohen Wirtschaftlichkeit.

Diese Effekte müssen durch systematische Praxistests noch überprüft und quantifiziert werden. Es ist jedoch anzumerken, dass diese Effekte auch zum Teil (je nach Umsetzungsweise) durch ein gutes Fahrassistenzsystem wie ADL erreichbar sind.

Da die Sicherheit bereits durch die Systeme zu GoA 1 hergestellt wird und da der Lokführer noch anwesend ist, können die für GoA 2 nötigen Systeme in der Lok als günstige kommerzielle Technik ausgelegt werden. Auch ihr Anschluss an die Loktechnik zur Steuerung der Geschwindigkeit oder der Türen ist noch ein eher einfacher Vorgang, der jedoch für jedes Fahrzeugmodell unterschiedlich erfolgt. Auf der Seite der Infrastruktur muss das Traffic Management System die situationsoptimale Geschwindigkeit vorgeben können. Dieses würde z.B. im Fall der SBB über die existierenden Systeme ADL/HOT erfolgen. Wenn von einer „Entwicklung“ zu GoA2 trotz der langjährigen Erfahrungen gesprochen wird, dann ist damit die Etablierung einer interoperablen Version und eine Adaption auf lokale Verhältnisse gemeint – also auf die eigenen Fahrzeugmodelle, auf das eigene Traffic Managementsystem und auf die installierten Zugbeeinflussungssysteme. Es geht also primär um Schnittstellenarbeit und Finetuning der Geschwindigkeitsoptimierung.

#### GoA 3 und GoA4: Die fast vollständige oder die vollständige Automatisierung.

- Senkung des Personalaufwands für die Steuerung der Züge

Obwohl auch hier viele Installationen und viele Erfahrungen oder Produkte bzgl. z.B. der U-Bahnen vorliegen, handelt es sich hierbei aus der Sicht einer Bahn mit heterogenem Rollmaterial, offenen ungeschützten Fahrwegen und sehr unterschiedlichen Situationen in den Bahnhöfen um ein Innovationsgebiet mit diversen Forschungs- und Entwicklungsbedarfen.

Besonders zu beachten ist, dass bei Abwesenheit des Lokführers seine Sicherheitsaufgaben zu automatisieren sind, was eine deutlich höhere Anforderung an die Automatisierungstechnik stellt.

Beispiele:

- Eine U-Bahn mit immer gleichem Aufbau und immer gleichen Perrons dazu zu bringen, dass sie präzise immer am gleichen Halteort die Türen öffnet, ist wesentlich einfacher, als in einer stark heterogenen Umgebung (Zugkompositionen, Infrastruktur), bei der dann auch die genaue Zusammensetzung der Züge verbindlich bekannt sein muss.
- Bei ungeschützten Fahrwegen muss die Automatisierung der Fahrwegüberwachung um ein Vielfaches leistungsstärker ausgelegt werden, und aufgrund des sehr langen Bremsweges von Zügen mit sehr weiter Vorausschau.
- Zur Vermeidung von Unfällen bei Türschliessungen für viele Bahnhöfe ohne abschottende Glastüren muss eine genaue Sensorik und Bilderkennung im Zug oder auf dem Perron implementiert werden (oder andere Sensoren).
- U-Bahnen sind für Interventionsressourcen bei Fahrzeugstörungen meistens relativ schnell erreichbar. Bei grossen Netzen kann die erreichbare Interventionszeit zum Problem werden (viele Stützpunkte erforderlich).

Kleinere Normalspurbahnen ohne heterogenem Material und mit homogener Infrastruktur können die

Implementierungsweise von GoA3/4 in U-Bahnen besser und schneller adaptieren als grosse Mischverkehrsbahnen wie die SBB.

Das zweite Forschungsgebiet ergibt sich durch einen anderen Zusammenhang: Bei GoA3/4 müssten auch die komplexeren Tätigkeiten des Lokführers automatisiert werden. Diese sind:

- Bei allen Fahrten mit langsamen Geschwindigkeiten (Rangieren, Fahrt auf Sicht bei Störungen, Einfahrt in die Station, Langsamfahrstellen bei Baustellen ) hat der Lokführer eine stark erhöhte Verantwortung und muss z.B. die Lage einer Weiche, das Gleisumfeld oder das Verhalten der Baustellenfahrzeuge beachten. Teilautonome langsame Fahrten sind besonders schwer zu automatisieren.
- Ein Teil der Fahrzeugvorbereitungen oder Fahrzeugstörungen muss durch den Lokführer lokal betreut werden. Diese in ihrer Vielfalt zu automatisieren, ist eine aufwandsreiche Entwicklungsarbeit.
- Die Beherrschung von kritischen Situationen, die in vielfältiger Form auftreten können, also z.B. Evakuationen, Kollisionen, Hangrutsch, Feuer, Eskalationen an Bord, Stromausfall in einem Tunnel, fehlerhaft agierende Systeme, Unterspülungen, herunterhängende Fahrstromleitungen, etc. muss analysiert werden. Die Fälle müssen in adäquater Form automatisiert oder durch Interventionsmannschaften abgesichert werden, die die nötige Interventionszeit erreichen.
- Für die Fernsteuerung des Zuges durch einen Menschen (GoA3) müssen wirtschaftliche Wege zu einer Videoübertragung und sichere Systemabläufe geschaffen werden, damit bei einem plötzlichen Übertragungsunterbruch keine gefährlichen Situationen entstehen.

In Summe zeigt sich, dass GoA3/4 für eine heterogene Mischverkehrsbahn mit offenen Fahrwegen sowohl noch der Forschung bedarf, als auch technisch deutlich aufwendiger ist, sowie den Personalbedarf teilweise nur verlagert (Zentralisierung, Interventionszentren).

GoA3/4 sind voraussichtlich auch für Mischverkehre zukünftig technisch machbar, sobald die Industrieprodukte den dafür notwendigen Reifegrad erreichen. Die Schlüsselfrage liegt in ihrer Wirtschaftlichkeit für Mischverkehrsbahnen. Der zentrale Treiber dazu sind die noch festzulegenden Sicherheitsziele. Offen ist noch das rechtliche Verantwortungsmodell, dessen Klärung Zeit beanspruchen wird.

#### **4.3.2 Handlungsfeld ATO: Über Piloten ist eine Ausrichtung festzulegen**

ATO ist ein neues Handlungsfeld, das in der LV 2017-20 noch nicht behandelt wurde.

Sowohl seitens der Industrie als auch der Bahnen sowie seitens der ERA wird seit 2016 ein hohes Tempo zu diesem Handlungsfeld an den Tag gelegt. Dieses ist einerseits in den neuartigen Implementierungsformen wie z.B. im Thameslink sichtbar, als auch in der äusserst intensiven und konkreten kooperativen Arbeit in Shift2Rail, sowie in der Absicht der ERA, es bereits in 2019 als zusätzlichen Interoperabilitätsstandard in die TSI CCS aufzunehmen.

GoA2 hat ein sehr grosses ökonomisches Potential und eine voraussichtlich sehr positive Wirkung auf Pünktlichkeit und Kapazität. Der technologische Aufwand ist überschaubar. Es ist auf dem SBB Netz implementierbar. Es wird deshalb empfohlen, ein Vorprojekt zu beginnen, das diese Implementierungsmöglichkeit zügig und konkret prüft und bewertet, die Standardisierung möglichst zielgerichtet beeinflusst, und eine netzweite Umsetzung vorbereitet (auf Basis von ETCS L1LS, ECTS L2 oder L3).

Quantifizierte betriebswirtschaftliche Bewertungen zu GoA 2 auf dem Netz der SBB sind zum heutigen Zeitpunkt noch nicht möglich, sie erfordern Vertiefungen im Vorprojekt.

Zu GoA 3 und 4 liegen noch zu wenig Bewertungsgrundlagen vor, um seine Wirtschaftlichkeit zu beurteilen. Diese sind im Vorprojekt zu erstellen.

## 4.4 Lokalisierung, Connectivity und Security

### 4.4.1 Konzeption, Ausschreibung, Erprobung einer generisch einsetzbaren sicheren und lokalisierbaren Endgeräteplattform, um Baustellensicherungs- und Rangierprozesse zu automatisieren, die Netzkapazität zu erhöhen, die Aussenanlagen zu reduzieren und Sicherheitslücken zu schliessen

#### GLAT Grundkonzept

Im Sinne einer ergänzenden Untersuchung wurde in der Vorstudie zu SmartRail 4.0 analysiert, wie sich der Gesamtsystemaufwand der Bahnproduktion noch deutlich weiter senken lässt. Bei dieser Gesamtüberlegung zum Aufwand im Produktionssystem wurde sehr schnell folgendes deutlich:

- Viele Aussenanlagen haben ausschliesslich mit der an sich trivialen Aufgabe zu tun, eine bestimmte Information, Warnungen oder Anweisungen an einem bestimmten Ort an einen Menschen oder an einen Zug gesichert weiterzugeben. Dieses betrifft z.B.: Hauptsignale, Vorsignale, Zwergsignale, Tafeln, Balisen.
- Weitere 27.000 Aussenanlagen haben damit zu tun, sicher festzustellen, wo ein Zug ist. Dies erfolgt heute durch „Gleisfreimeldemittel“ wie Achszähler oder Gleisstromkreise, die die Zugposition in einem groben Raster zurückmelden. Sie können dabei nur Züge und keine anderen Gefahrenobjekte im Gleis feststellen.
- Es gibt in der Fläche eine hohe Zahl von betrieblichen Prozessen sowie von Bau- und von Unterhaltsprozessen, in denen Arbeitsschritte und Kommunikationsschritte enthalten sind, um
  - die eigene Position festzustellen, und weiterzugeben (Zug, Mensch)
  - die Information zu erhalten oder zu geben, was im Gleis bis wo getan werden darf, bzw. sich gegen Zugsbewegungen im Umfeld abzusichern
  - die genaue ortsspezifische Freigabe für Aktivitäten im Gleis zu erhalten
  - die Anlagen im Gleis genau zu identifizieren

Dies betrifft z.B. Sperrprozesse, den Kleinunterhalt auf dem Gleis unter Betrieb; Rangiermanöver; Mitarbeiter, die den Anlagenzustand erfassen und sich dazu abgesichert auf einem Gleis bewegen sollen; Warnprozesse auf Baustellen für herannahende Züge; Fahrmanöver, die mündlich bei Störungen gegeben werden; das Festhalten von zu korrigierenden Anlagenmängeln; die Inventarisierung verschiedenster Anlagenarten; die Festlegung von Orten, an denen Anlagen gebaut werden sollen; die „Warnapp“ im Zug zur Warnung vor unzulässigen Fahrmanövern; Informationen des Lokführers zu Streckeninformationen wie z.B. Langsamfahrstellen; etc. Teilweise sind hierfür heute schon verschiedene mobile Endgeräte im Einsatz, wie z.B. iPads, Positionsmessgeräte oder spezifische Instrumente wie Funkgleismelder.

Die Summe des Aufwandes der in all diese Prozesse eingebetteten Arbeitsschritte zur Meldung und Erkennung einer Position ist hoch. Da es sich um eingebettete Prozesszeiten handelt, lässt sich ihr Gesamtaufwand bzw. Optimierungspotential nur durch genauere Folgeuntersuchungen bestimmen.

- Gemäss Tätigkeitsanalyse bestehen 60% des operativen Aufwandes der Fahrdienstleiter in den Betriebszentralen (ca. 1200) aus Routineprozessen, die in der Interaktion mit der Fläche erfolgen. Dies betrifft primär die zuvor genannten Prozesse z.B. zum Rangieren oder zum Unterhalt. Der Hauptanteil dieser Zeiten ist Kommunikation. Diese Routinekommunikationen ist heute aus folgenden Gründen nicht automatisierbar:
  - Es müssen dazu die sicheren Positionen der Betroffenen oder der von ihnen angefragten Gleispositionen in der Fläche bestimmt werden können, damit diese Routineprozesse gesichert automatisiert werden können
  - Die Kommunikation muss frei von Missverständnissen und einseitigen Fehlbedienungen erfolgen
  - Es müssen dazu sichere Endgeräte für das Flächenpersonal (auch für Lokführer) eingesetzt werden, deren Verlässlichkeit die Anforderungen eines sicheren Prozesses erfüllen

In ersten Abschätzung wurde in der ersten Studienphase folgende Vergleichsrechnung als Szenario aufgestellt:

**Konzeptansatz GLAT:** Genau lokalisierbare allgemeinverwendbare sichere Endgerätetechnik

- Würde man für eine generisch einsetzbare Plattform, die sichere und genau lokalisierbare mobile Endgeräte bereitstellt (für Mensch und Zug) bei 10.000 Endgeräten pro Endgerät CHF 10.000 und für zentrale Einrichtungen ggf. CHF 100 Mio (Software, Automatisierungssysteme) kalkulieren, so käme man nur auf einen Wiederbeschaffungswert von CHF 200 Mio. Dieses ist in Beziehung zu setzen zu den oben genannten Wiederbeschaffungswerten von über 4 Mrd. CHF (die jedoch eine etwa 2-4 mal längere Lebensdauer der Infrastrukturanlagen beinhaltet, als bei einer mobilen Plattform)
- Man könnte die oben genannten Prozesse in der Fläche und in den Betriebszentralen durch geeignete Software automatisieren.
- Die Anzahl der Stellwerkassenanlagen würde sich, soweit ein Stellwerk mit geometrischer Sicherheitslogik wie im zuvor erläuterten „ETCS Stellwerk“ eingesetzt wird, dann auf 30% der heutigen Anzahl senken lassen. Es gäbe (mit kleinen Ergänzungen) als Stellwerkassenanlagen nur noch Weichenansteuerungen und Barrieren. Durch die geringere Anzahl Stellwerkassenanlagen würde die Anzahl der Stellwerkstörungen um mehr als 50% zurückgehen.

Bei dieser Untersuchung zur Senkung der Gesamtsystemkosten wurde ausserdem offensichtlich, dass sichere, mobile lokalisierbare Endgeräte gleichzeitig auch ermöglichen, einen grossen Teil der noch existierenden grösseren „Sicherheitslücken“ zu schliessen, bei denen die Sicherheit allein vom korrekten und aufmerksamen Verhalten des Menschen abhängt.

1. Menschen im Gleis könnten vollautomatisch oder teilautomatisch vom Stellwerk erkannt werden, so dass ein Warnprozess sowohl für diese Menschen über ihr Endgerät, als auch ein Warn- und Notstopprozess für Züge oder in der Betriebszentrale möglich wird.
2. Die Sicherheitssysteme sind heute nicht funktional redundant. D.h. bei ihrem Ausfall (z.B. Stellwerk, Aussenanlage, Fahrzeugausrüstung) verlagert sich die Sicherheitsverantwortung vollständig auf die mündlich kommunizierenden Personen, die auch Positionsinformationen mündlich weitergeben müssen (Fahrdienstleiter, Lokführer). Das Missverständnisrisiko liegt bei menschlicher Kommunikation zwischen 1:100 – 1:1000, d.h. in z.B. einer von 1000 solcher Kommunikationen tritt ein Missverständnis auf, das gefährliche Konsequenzen haben kann, also mehrmals pro Jahr.

Eine sichere, gut lokalisierbare und mobile Endgeräteplattform kann so ausgelegt werden, dass sie auch unabhängig von Stellwerken und Fahrzeugausrüstungen funktioniert. Das bedeutet, dass erstmalig auch in Störungssituationen eine technische Überwachung der Sicherheit möglich wird, die die Transparenz zur Situation auf dem Gleis aufrechterhält und jeden Prozessbeteiligten in der Betriebszentrale informiert.

Solch eine Plattform hat den Charakter eines unabhängigen „Warnungsraders“, wie er in Flugzeugen eingesetzt wird. Sie hätte z.B. Unfallkategorien wie Bad Aibling voraussichtlich verhindert.

3. Eine der grössten noch existierenden Gefahrenquellen im normalen Fahrbetrieb ist das Rangiersignal (Zwergsignal). Es hat in der Regel keine Zugbeeinflussungseinrichtungen. Auch mit ETCS Einrichtungen wird das Rangieren nicht abgesichert. Rangiermanöver (bis zu 40 km/h) sind nur durch das Zwergsignal von einem schneller (bis zu 80 km/h) fahrenden Zug getrennt. Beim Überfahren dieses Zwergsignals können somit Differenzgeschwindigkeiten von 120 km/h bei einer Kollision auftreten, mit entsprechend hohem Schadenspotential.

Eine weitere Funktion des Rangiersignals ist die Absicherung der eher risikobehafteten „Gruppensignalisierungssituationen“. Diese treten an einigen Standorten noch regelmässig auf (Anlage ist so gebaut), in bestimmten betrieblichen Fällen (unüblicher Halt) aber auch auf beliebigen Topologiebereichen überall im Netz.

In Gruppensignalisierungssituationen warten ein oder zwei Züge jeweils vor einem kleinen Zwergsignal. Beide warten auf dasselbe Hauptsignal, das weiter vorne steht. Wenn das Hauptsignal die Fahrerlaubnis anzeigt, so darf nur der Zug losfahren, dessen Zwergsignal dies auch anzeigt. Hält man zu knapp vor dem Rangiersignal oder in unkonzentrierten Momenten kann es geschehen (wie die Erfahrung der letzten Jahre zeigt), dass beide Lokführer losfahren, wenn das Hauptsignal die Fahrerlaubnis gibt. Es kommt zu einer Flankenfahrt mit Kollision. Dieser Fall ist zwar bisher nicht mit grösseren Unfallfolgen aufgetreten, aber möglich. Die Hauptgefahr geht bei Gruppensignalen aber von einer anderen Situation aus: Ein Zug steht und wartet, der andere Zug fährt durch bei grünem Signal. Dieser Fall tritt immer wieder auf.

Insgesamt ist die Kommunikation im Rangierbetrieb zwischen Betriebszentrale und Lokführer fehleranfällig, da sie mündlich erfolgt und da der Lokführer für seine Bewegungen keine Anweisungen, Warnungen oder technische Hilfestellungen erhält, die ihn beim sicheren Rangierbetrieb unterstützen. Er hat kein sicheres Endgerät mit sicherer Anzeige zu betrieblichen Zusammenhängen.

Zuletzt ist zum Zwergsignal noch anzumerken, dass es im Zusammenhang mit ETCS L2 keine wirklich befriedigende sichere Lösung darstellt. Die Situation wurde zwar in den letzten Jahren durch die Schaffung des neuen Zwergsignaltyps verbessert, das Risiko der Fehlinterpretation bzw. der Angewöhnung einer falschen Reaktion auf Zwergsignalanzeigen ist jedoch noch nicht vollständig eliminiert worden.

Würden Zwergsignale entweder durch eine starke Erweiterung des ETCS Standards (was eher unwahrscheinlich ist) oder durch sichere mobile Endgeräte im Zug (im Lokführerstand), die mit dem Stellwerk kommunizieren, ersetzt, so könnten die oben genannten Risiken eliminiert werden. Es wird nicht nur eine fehler- und missverständnisfreie Anzeige für den Lokführer möglich, sondern das Stellwerk könnte den Zug auch jederzeit via ETCS stoppen, wenn es erkennt, dass das lokalisierbare Endgerät im Lokführerstand einen Gefahrenpunkt überfährt resp. ein Gefahrenpunkt fälschlicherweise überfahren wird. Damit wäre die kontinuierliche Geschwindigkeitsüberwachung und Führerstandssignalisierung in jeder betrieblichen Situation gegeben, die die heutigen ETCS L2-kompatiblen Technologien nicht vollständig in allen betrieblichen Situationen wie z.B. dem Rangieren erreichen können.

Damit ergab sich, dass eine sichere lokalisierbare Endgeräteplattform nicht nur einen grossen Kostenhebel darstellt, sondern auch einen sehr grossen Hebel zur Sicherheit. Sie leistet auch einen kleinen Beitrag zur Kapazitätssteigerung, da sie eine günstige Form der Implementierung von ETCS L3 ermöglicht (durch genaue Lokalisierung von Zuganfang und Zugende). Das Besondere an dem Ansatz ist, dass eine Vielzahl von Anwendungsfällen mit hohem Nutzenpotential durch eine einzige Endgeräteplattform erreicht werden kann. Dies steigert das Potential des Kosten-/Nutzenverhältnisses sehr stark und trägt gleichzeitig zur Anlagenvereinfachung bei.

Es ist angesichts der Nachfrage mittelfristig davon auszugehen, dass genaue sichere Lokalisierung im Produktmarkt in zunehmender Qualität etabliert wird. Für SmartRail 4.0 stellt sich primär die Frage, ob sie angesichts des sehr grossen ökonomischen Potentials diese Entwicklung beschleunigt, indem sie den Produktmarkt aktiv fördert: Publikationen, Unterstützung von Studien, early adaptor, Pilotprojekte, Beschreibung klarer Anforderungen und Business Cases gegenüber Produktherstellern als Anregung, Teilübernahme von Entwicklungskosten, punktuell Sponsoring.

Eine Beschleunigung hätte auch den Hintergrund, die Migration zur ETCS Führerstandssignalisierung mit der Hälfte der Aussenanlagen durchführen zu können. Wäre sie bis 2025 nicht etabliert, dann würden zum Start des Rollouts Zwergsignale, Balisen, Tafeln und Gleisfreimeldemittel noch vollumfänglich mit in das neue ETCS Stellwerk einzubinden sein und könnten dann wenige Jahre später überflüssig werden. Diese "sunk costs" wären andernfalls evtl. vermeidbar.

Um die alternativen Beschleunigungsmassnahmen zu dieser Technologie besser bewerten und auswählen zu können, enthält der Konzeptansatz 4 Endgeräteformen und eine zentrale Serverplattform, die untersucht

werden:



Das kleinste Endgerät, das Tag, meldet Positionen eines bestimmten Typs (z.B. Ende eines Güterzugs oder ein Mensch). Es kann akustisch warnen und Gefahreninformationen auf einem Mini-Display anzeigen.



Eine mobile Warnanlage (MWA) hat die gleichen Grundfunktionen wie das Tag, wird aber primär für längere Arbeiten in einem Gleisabschnitt eingesetzt. Wird es in einem Gleis aufgestellt, so sperrt es diesen Punkt. Werden zwei gekoppelte MWA aufgestellt, so sperren sie einen Bereich. Wird eine MWA neben dem Gleis aufgestellt, so warnt das Gerät gemäss konfigurierbaren Parametern vor einem herannahenden Zug.



Das sichere Tablet hat die umfangreichste Ausstattung gegenüber Tag und MWA. Die Hardwareausstattung ähnelt modernen Tablets, jedoch mit den notwendigen Einschränkungen, die für sichere Apps (fail-safe, SIL-4) einzuhalten sind. Es wird in der Regel verwendet, um sowohl sichere Anwendungsprozesse zu steuern (z.B. Notbedienungsterminal oder Darstellungsoberfläche für Stellwerk-Prozessabbilder, Rangier-FSS, Zugfernsteuerung, Gleissperren), als auch als Plattform für nicht-sichere Anwendungen.

Die vierte Endgeräteform ist ein fest eingebautes Tag in der Lok („virtuelle Balise“), das die Positionierungsgenauigkeit für ETCS erhöht und durchgehend verfügbar macht, auch wenn die Fahrzeugausrüstung ausfällt (Redundanz) oder das Fahrzeug abgeschaltet ist.

Auf der Basis dieser Plattformmodellierung wurden Betriebsprozesse und Fehlersituationen analysiert. Im Kern ergab das Grobkonzept, dass das Anwendungskonzept gut umsetzbar ist, sobald die hardwareseitige Machbarkeit der genauen sicheren Lokalisierung gegeben ist. Diese wäre also mit geeigneten Mitteln zu beschleunigen.

#### 4.4.2 Connectivity (neues Datenfunksystem)

##### Konzeptansatz Connectivity

Das Bahnmobilkommunikationssystem GSM-R (Global System for Mobile Communications – Rail) ist Grundlage für die Zugüberwachung und -beeinflussung sowie die fernmündliche Kommunikation zwischen Zugverkehrsleiter und Lokführer gemäss AB EBV Art 39.3.c Ziff 2.1 und 2.2 sowie Art 38.1 Ziff. 2. Zudem wird sie erfolgreich für betriebsunterstützende Tätigkeiten wie Anlagenüberwachung, Prozessunterstützung (Beispiel GSM-R basierte Zugabfertigung) und Kundeninformation eingesetzt. Ferner wird seit 2015 der GSM Nothalt auf ETCS Level 2 Strecken im konventionellen Geschwindigkeitsbereich eingesetzt und es ist geplant, Baustellenwarnanlagen über GSM-R zu vernetzen. Die zugrundeliegende GSM Technologie wurde in den 1980er Jahren entwickelt, ab 1991 eingeführt und wird von den öffentlichen Mobilfunkanbietern nur noch wenige Jahre unterstützt. Swisscom als grösster Mobilfunkanbieter in der Schweiz wird den Betrieb Ende 2020 einstellen. Die Industrie wird GSM-R voraussichtlich noch bis 2030 unterstützen, hat aber bereits angekündigt, dass wegen der entfallenden Synergien zu GSM die Kosten für den Weiterbetrieb ab 2025 signifikant steigen werden. Zur Zeit wird die Nachfolgetechnologie zu GSM-R genannt Future Railway Mobile Communications Systems (FRMCS) durch Industrie, Bahnen und Normierungsgremien spezifiziert mit dem Ziel, ab 2021/22 erste Versuchsstrecken auszurüsten.

Wegen den knappen für GSM-R reservierten Frequenzen und deren ineffizienter Nutzung durch diese alte Technologie ist es nicht möglich, die kontinuierliche Zugüberwachung und -beeinflussung in Knoten zu unterstützen. Speziell kritisch ist die Situation in grenznahen Knoten, da die schon knappen Frequenzen an den Landesgrenzen den Schweizer Bahninfrastrukturbetreibern nicht vollständig zur Verfügung stehen. Ein passives Warten auf die Nachfolgetechnologie FRMCS und deren Rollout auf den bestehenden Antennenstandorten ist aus in Abschnitt 9.2.2 ausgeführten Gründen nicht zielführend.

Um die Nutzen der in den vorigen Kapiteln beschriebenen Vorhaben von SmartRail 4.0 realisieren zu können sowie weiterentwickelte und neue Lösungen im Bahnumfeld (Prozessautomatisierungen in der Bereitstellung von Zügen, im Unterhalt von Fahrzeugen und Infrastruktur, Mobility Pricing / Online-Fahrgastkontrolle, Echtzeit-Kundeninformation, etc.) zu ermöglichen, muss eine gute Connectivity als Grundlage bereitstehen. Schon heute reicht die durch GSM-R bereitgestellte Kapazität für den Bahnbetrieb im weiteren Sinne nicht aus. Für die Zugabfertigung, Anschlussprognosen, Schichteinteilungen, Zugriff auf Datenbanken etc. wird GSM-R im Roaming (Swisscom 3G und 4G Netz) eingesetzt. Für die elektronischen Assistenten der Lokführer (eingesetzt nicht nur als Informationsdrehscheibe sondern auch für die adaptive Lenkung und die „Warn-App“) sowie der Zugbegleiter zur Kontrolle von Swisspass, Billets etc. wird direkt die Konnektivität der öffentlichen Mobilfunkanbieter genutzt. Sollen der Bahnbetrieb, wie im Rahmen von SmartRail 4.0 vorgesehen digitalisiert, die kontinuierliche Zugüberwachung und -beeinflussung netzweit und optional neben den Zügen auch möglichst viele weitere Gefahrenobjekte lokalisiert und überwacht werden, reicht die absehbare Kapazität eines von den Bahnen selbst erstellten und betriebenen FRMCS Systems in konventioneller Bauweise auf den bestehenden Antennenstandorten voraussichtlich nicht einmal für die Kernapplikationen, die für den Bahnbetrieb notwendig sind, aus. Bandbreitenhungrige Zusatz-Applikationen können à priori nicht über das knappe Frequenzspektrum der bahneigenen Systeme bedient werden, sondern müssen entweder im Roaming über die Funknetzinfrastruktur der öffentlichen Mobilfunkanbieter oder direkt über die Netze dieser Anbieter geführt werden.

Sowohl SmartRail 4.0 als auch die Umsetzung der aktuell gültigen ETCS Level 2 Strategie erfordert für die Einführung von FRMCS und vor allem für die ETCS Level 2 konforme Funkfeldredundanz einen substanziellen Zubau von Antennenstandorten, damit die geforderte kontinuierliche Zugüberwachung und -beeinflussung umgesetzt werden kann. Die öffentlichen Mobilfunkanbieter stehen vor einer ähnlichen Situation. Den in den letzten vier Jahren erfolgten 4G Rollout konnten sie zu einem grossen Teil auf bestehenden Standorten durchführen, weil für 4G hauptsächlich Frequenzen genutzt werden, die vorgängig für 2G und 3G genutzt wurden. Dies war auf den bestehenden Standorten und innerhalb des bestehenden „NISV Budgets“ (Sendeleistungsbudget im Rahmen der Verordnung zu nichtionisierender Strahlung) möglich. Schweizer Netzbetreiber planen in naher Zukunft die neue 5G Technologie auszurollen. Hierfür kommen neue Frequenzbänder zum Einsatz. Diese können sowohl wegen der unterschiedlichen Funkausbreitungsbedingungen (neue Frequenzen hauptsächlich bei 3.5 GHz führen zu einer eingeschränkten Reichweite im Vergleich zu den heute genutzten Frequenzen von 800 MHz bis 2.6 GHz) als auch wegen der ausgeschöpften NISV Budgets kaum mehr auf bestehenden Antennenstandorten aufgeschaltet werden.

Da sich also sowohl die Bahnen als auch die Mobilfunkanbieter mit der Situation konfrontiert sehen, entlang der Bahnstrecken eine grosse Zahl neuer Antennen bauen zu müssen und da die Bahnen in jedem Fall für den eigenen Betrieb zusätzliche Kapazität bei den Mobilfunkanbietern einkaufen müssen, selbst wenn sie ein eigenes FRMCS Mobilfunknetz bauen, soll im Rahmen von SmartRail 4.0 geprüft werden, ob ein gemeinsames Vorgehen nicht eine Win-Win Situation generieren kann.

Welche Art des „Infrastructure-Sharings“ am meisten Vorteile verspricht und einen wirtschaftlich und formal umsetzbaren Rahmen anbietet, soll im Detail untersucht werden unter Berücksichtigung

- der Life-Cycle Kosten für die Bahnen und die Mobilfunkanbieter (somit unter anderem den realisierbaren Synergiepotenzialen),
- der Verfügbarkeit der bahnkritischen Kommunikationsdienste,
- des „Durchgriffs“ auf die Anlagen im Störfall (und somit die resultierenden

- Störungsbehebungszeiten),
- der Komplexität der Umsetzung (namentlich wenn aus Nichtdiskriminierungsgründen alle Mobilfunkanbieter gleich behandelt werden sollen),
  - der Grenzen, die die Verordnung zu nichtionisierender Strahlung NISV auferlegt,
  - der Abhängigkeiten, die die strategischen Handlungsoptionen einengen und
  - des Nutzens für den Fahrgast.

#### 4.4.3 Cyber Security@SR40

##### Konzeptansatz Cyber Security

Mit der Umsetzung von SmartRail 4.0 wächst nicht nur der Bedarf nach drahtloser Konnektivität, auch die drahtgebundene Datennetzinfrastruktur muss ausgebaut werden, da die Stellwerks-Innenanlagen in Rechenzentren konzentriert werden sollen und diese flexibel und hoch performant mit den Aussenanlagen und den neuen mobilen Geräten kommunizieren sollen. Der hohe Grad der Vernetzung und die Unterstützung flexibler Topologien erhöhen die Ansprüche an die Kommunikationsnetze. Neben den Vorteilen bzgl. Effizienz, Kapazität und Sicherheit (Safety) bietet die neue Architektur auch Chancen und Risiken im Bereich Cyber Security. Erstere müssen konsequent genutzt werden, letztere müssen konsequent minimiert werden.

Um ein hohes Security-Niveau zu erreichen, muss man Systeme ständig mit den neusten Schutzmassnahmen aktualisieren. Die Anpassung eines Sicherheitssystems erfordert jedoch heute eine lange Laufzeit. Automatische netzweite Updates sind nicht vorhanden und sie sind aufgrund der hohen Heterogenität (Produkte und Hersteller) und Verteilung der Systeme heute sogar unmöglich. Auf der Netzwerkebene entsprechen die Security Massnahmen weitgehend dem State-of-the-Art. Um diesen auch in Zukunft sicherzustellen, müssen laufend das sich ändernde Gefährdungspotenzial analysiert und die Security Massnahmen aktualisiert und erweitert werden. Dies muss auch in Zukunft ohne Verzögerung durch aufwändige Zulassungsprozesse möglich sein, indem die Rückwirkungsfreiheit zwischen Stellwerktechnik und Netzwerk-Securitymassnahmen gewahrt bleibt.

In diesem Zusammenhang ist neben vertiefter Überlegungen zu geeigneten Netzwerkarchitekturen insbesondere auch eine geeignete Security Architektur festzulegen, die die optimale Kombination von Applikationssicherheit und Netzwerksicherheit vorgibt.

Eine Neugestaltung der Gesamtarchitektur ermöglicht folgende Verbesserungen:

- Starke Reduktion der Anzahl Systemebenen und Systemtypen, die zu schützen sind
- Zentralisierung mit hohem Schutz an wenigen Orten statt geringem Schutz an vielen Orten
- Einsatz modernster Schutztechnologien, Modernisierung der Systeme
- Einführung von sicheren Updateverfahren zur ständigen Aktualisierung
- Reduktion des Kreises der Mitarbeiter, die technischen Zugang zu diesen Systemen haben
- Professionalisierung der betreuenden Teams bzgl. Security durch Einsatz moderner Technologien, zu denen auch bzgl. Security ein qualifizierter Arbeitsmarkt existiert

Die europäische Gesetzgebung, die bzgl. des Schutzes von grossen Infrastrukturen neuerdings hohe Auflagen macht, beschäftigt zur Zeit alle europäischen Bahnen. Eine voranschreitende Standardisierung der verpflichteten Schutzmassnahmen wird entstehen. Es ist sehr gut denkbar, dass sie in gleicher oder ähnlicher Form auch die Schweiz betreffen wird. Dies wird in jedem Fall aufwändige Massnahmen auslösen, die bzgl. der heutigen Systeme um ein Vielfaches komplexer sein werden, als mit einer neuen konzentrierten Architektur.

## 5 Optimierungsziele

### 5.1 Sicherheit

#### Optimierungsziele zur Sicherheit

Der Quantensprung in der Sicherheit entsteht in der Automatisierten Bahnproduktion durch die Kombination der folgenden Veränderungen:

Angestrebtes Ziel zur Sicherheit: JEDES bekannte Objekt im Gleis (Zug - auf lange Sicht auch Mensch, Baustelle, Hindernisse, etc.) wird zu JEDEM Zeitpunkt ELEKTRONISCH und nahezu REAL-TIME unter Bestimmung von Position, Geschwindigkeit und Kategorie sichtbar. Dieses wird durch die Projekte ETCS FSS Migration und GLAT erreicht

Diese neue Sichtbarkeit wird in der neuen Sicherheitslogik von ES ZUR LAUFZEIT verwendet, um JEDE ART VON KOLLISION VON LOKALISIERBAREN OBJEKTEN sicher und automatisch auszuschliessen. Hierfür ist das Projekt ES erforderlich (und damit auch OC und TOPO4 und AMP)

Diese beiden grundlegenden Veränderungen sollen langfristig zu den nachfolgenden Verbesserungen der Sicherheit führen, soweit sie wirtschaftlich umgesetzt werden können:

Lokalisierung (GLAT) und automatischer Schutz von Menschen im Gleis (in allen Anwendungen, Rangieren, Bau, Unterhalt, Überwachung z.B. Streckenläufer, getagte Fussgänger, Gäste, etc.. Heute ca. 1-2 Unfälle mit Todesfolge pro Jahr) über persönliche automatische Warnung oder automatischen Zugstopp.

Lokalisierung von beweglichen getagten Hindernissen und automatischer Zugstopp. Identifizierbare bewegliche getagte Hindernisse wie Kranausleger, Schutznetze für Naturgefahren, schwere Baumaschinen oder abgestellte Einzelwagen werden für das Stellwerk ES sichtbar. Sobald sie zur Gefahr werden stoppt ES allfälligen herankommenden Verkehr

Schutz des schnellen Verkehrs vor rangierendem Verkehr (Manöver, Bau). Für die Absicherung von Zügen mit < 80 km/h vor rangierenden Zügen mit bis zu 40 km/h werden heute häufig nur Rangiersignale eingesetzt. Bei einem Signalfall können mit Differenzgeschwindigkeiten bis zu 120 km/h nennenswerte Kollisionen eintreten. Mit der Verbindung von GLAT, ES, der Rangier FSS-Lösung und ETCS FSS können rangierende Züge automatisch gestoppt werden.

Vermeidung von Unfällen innerhalb von Rangierbereichen (Zug-Zug, Zug-Wagen, Zug-Mensch), durch das tagen (GLAT) von Wagen und Menschen in Rangierumfeldern und durch die neue Sicherheitslogik von ES.

Redundante Sicherheitsebene GLAT zusätzlich zu den Sicherungsanlagen, Fahrzeugausrüstungen und Zugbeeinflussungssystemen. Ist die normale Sicherheitsebene ausser Kraft (Störung, Fahrt auf Sicht, Inbetriebnahmen auf der Basis von operativen Absicherungen, Tests, ETCS SR-Modus, etc.), dann hängt die Kollisionsgefahr heute weitgehend nur vom Menschen ab. Etwa 25% der Grossunfälle der letzten 20 Jahre entstanden in solch einer Situation. Mit GLAT entsteht ein zweites völlig unabhängiges Sicherheitssystem zur Überwachung von Zugbewegungen, das erstens immer noch alle Bewegungsobjekte im Gleis (Position, gestellter Fahrweg, Geschwindigkeit), die mit GLAT ausgestattet sind, erfasst, und zweitens über die Warnfunktionen der GLAT Endgeräte (Zug, Mensch im Gleis, Baustellenwarnanlage, etc.) die Produktionsbeteiligten auch dann warnen kann, wenn Stellwerk oder Fahrzeugausrüstung keine technische Absicherung mehr erzeugt.

"Schnelle Sicherheits-Optimierung". ES berechnet netzweit Risiken zur Laufzeit entlang von vorgegebenen Bewertungsvorschriften und Parametern. Dieses bezieht sich auf alle elektronisch sichtbaren Objekte im Gleis, wie Züge, Aussenanlagen, Menschen, Hindernisse, Baustellen, etc. Zwischen allen Objekten werden die Risikobeziehungen paarweise berechnet. Diese Fähigkeit erlaubt eine sehr hohe "live" Transparenz zur Sicherheit auf dem Netz in einer sehr hohen Differenzierung (Ort, Typ Objekte, Fahrplansituation) und auch

das sofortige netzweite oder fallspezifische Optimieren der Sicherheitsregeln.

Vollüberwachung des gesamten Netzes auf unzeitige Ereignisse (z.B. Belegungen oder Bewegungen):  
Durch den Ersatz aller Innenanlagen wird das gesamte Netz mit der Fähigkeit des Stellwerkes überwacht, unzeitige Ereignisse sofort zu erkennen und darauf zu reagieren (kann heute nicht jedes Stellwerk).

Universelle geometrische Sicherheitslogik in ES: Vermeidung von Risiken, die durch Projektierungsfehler, Nutzungsänderungen, untypische Anlagenänderungen oder Anlagen mit sehr kurzen Sicherheitsabständen (z.B. Durchrutschweg) entstehen. In der Projektierungsphase erfolgt keine nutzungsabhängige Sicherheitskonzeption mehr sondern nur eine genaue Erfassung der Topologie. ES stellt zur Laufzeit für jede Art von Topologie oder Nutzung sicher, dass das geforderte Sicherheitsniveau situativ gewährleistet ist.

Realtime Überwachung von sicherheitsrelevanten Zugseigenschaften bzgl. des Fahrverhaltens (insbesondere Bremswege): ES kann das korrekte Fahrverhalten von Zügen präzise beobachten und auch Fremdsysteminformationen einbeziehen (z.B. ZKE) und so z.B. überladene Züge abbremsen oder situativ mit grösseren Sicherheitsabständen fahren lassen. Auch Orte mit häufigen "Beinah-Gefahren" können automatisiert erkannt werden. Gefährliche betriebliche Situationsmuster können spezifisch regelbasiert anders gesteuert werden

Vermeidung von mündlichen Kommunikationsfehlern. Mit GLAT werden die Prozessbeteiligten in der Fläche genau lokalisiert, erhalten genaue Umfeldinformationen und melden ihre Anfragen elektronisch (z.B. Anfragen zu Sperren, Baustellen, Intervallen oder Rangierbewegungen). Diese Anfragen werden im TMS weitgehend automatisch behandelt bzw. Fahrdienstleitern werden genaue Informationen zu den Anfragenden angezeigt.

ATO, Fernsteuerung der Züge: Ergänzende Verhinderung unsicheren Fahrverhaltens zusätzlich zur Absicherung durch ETCS FSS

Die Sicherheitswirkung dieser Verbesserungen ist im Vorprojekt zu überprüfen. Sie stellen in Summe voraussichtlich einen äusserst grossen Fortschritt dar. Die Verbesserungen schliessen alle grösseren Sicherheitslücken im vorhandenen Produktionsprozess und das Sicherheitssystem der Bahn wird mit GLAT erstmalig auch redundant gestaltet (zwei unabhängige Sicherungsebenen, wie im Flugverkehr).

Als Hauptgefahren der Produktion bleiben danach nur noch Risiken für die „Objekte“ im/am Gleis (z.B. Menschen auf dem Perron, Bäume, PKW, Flüsse, Baustellen im Gleisumfeld, nicht technisch überwachte Naturgefahren), die nicht lokalisierbar oder steuerbar sind, sowie Risiken, die nichts mit Bewegungen/Belegungen im Gleis zu tun haben (z.B. Arbeitsunfälle ohne Zugbeteiligung).

Im Umkehrschluss sinken auch die Kosten, die heute für die Erhaltung und Erhöhung der Sicherheit anfallen.

## **5.2 Kapazität**

Kapazität ist kein „Wert pro Ort oder Strecke“. Sie ist eine sehr situative Performance und ergibt sich dynamisch durch viele Faktoren und Wechselwirkungen.



**Die grundsätzlichen Kapazitätsfaktoren**

**Physische Kapazität, Topologie-Kapazität**

Z.B. die Anzahl von gleichzeitig nutzbaren Gleisen und Weichen. Die Grösse der Türen oder Gänge in einem Zug oder die Breite der Treppen und der Anschluss der Perrons, die die Haltezeiten und Anschlüsse bestimmen. Die Traglast einer Brücke, oder die Grösse des Lichtraumprofils eines Tunnels. Die Überhöhung und der Radius einer Kurve, die die maximale Geschwindigkeit festlegen.

**Zugfolge-Kapazität, Verkehrsdichte**

Der steuerungsabhängige (Traffic Control) Sicherheitsabstand, mit dem Züge hintereinander, zueinander oder nebeneinander fahren dürfen, jeweils abhängig von den Geschwindigkeiten, der Steuerbarkeit und von Bremsfähigkeiten

**Gefahrene Kapazität**

Das tatsächliche Fahrverhalten eines Zuges weicht aufgrund verschiedener Faktoren immer etwas von seinem situations-optimalen Fahrverhalten ab.

**Umfeldbedingte Kapazität**

Eine Vierspurstrecke an einem Punkt nützt wenig, wenn sie am Anfang oder Ende aus zwei Spuren besteht, oder wenn die davor und dahinter liegenden Bahnhöfe keine ausreichend hohe Zugsmenge umsetzen können

**Fahrplanbedingte Kapazität (z.B. das Problem des Mischverkehrs)**

Je schneller auf einer Strecke (oberhalb 80 km/h) gefahren wird, umso geringer ist ihre Kapazität hinsichtlich Zugsmenge. Je höher der Geschwindigkeitsunterschied zwischen den Zügen ist, umso geringer ist die Streckenkapazität. Bei stark wechselnden Geschwindigkeiten oder vielen nicht gleichzeitigen Brems- und Beschleunigungsmanövern sinkt die Kapazität ebenfalls.

**Kapazität für den Kunden**

Kapazität an einem Punkt, wo sie keiner braucht, ist wertlos und eigentliche keine Kapazität, sondern eher Blindleistung.

Mit SmartRail 4.0 werden die fahrplanbedingte Kapazität, die Zugfolge-Kapazität (Knoten, Strecke) und die gefahrene Kapazität optimiert.

Hierbei besteht eine enge Wechselwirkung zwischen Kapazität und Pünktlichkeit: Je mehr Kapazität besteht, je präziser gesteuert wird und je mehr Alternativen ein Produktionssystem hat, umso schneller und stärker kann man Störungsauswirkungen kompensieren oder reduzieren.

Für die Gesamtarchitektur von SmartRail 4.0 werden folgende Kapazitätsoptimierungen untersucht und angestrebt :

**Optimierungsziele zur Kapazität und Pünktlichkeit**

Dichter Verkehr (kurze Zugfolgezeiten, Strecke, Knoten) wird durch Fahren im Bremswegabstand ohne Sicherheitsverschlechterung möglich (durch ETCS L3, „moving block“). Durch die Einführung von ES (in

Verbindung mit ETCS FSS bzw. TMS-L) erfolgt eine metergenaue und km/h-genaue Steuerung jedes Zuges unter Berücksichtigung seiner Umgebung und Eigenschaften. Heute ist die Steuerung des Verkehrs nur „Block-genau“ (idR 50m-1000m).

In bestimmten Produktionsfällen (dynamisches Stärken/Schwächen während der Fahrt, „Platooning“) kann das Fahren in „relativem Bremswegabstand“ („elektronisches Kuppeln“) einen grossen Vorteil bzgl. Zugfolgezeiten und weniger nötigen Halten bedeuten. In dem sehr kurzen relativem Bremswegabstand kann nur gefahren werden, wenn zwischen den fahrenden Zügen keine Weiche umgelegt werden muss (ein Fahr- oder Bremsweg darf nie über einer unverschlossenen Weiche liegen).

Die Integration der Fahrplan- und Produktionsplan-Planungsprozesse ermöglicht eine frühzeitige genaue Prüfung der Machbarkeit von Trassen. Die Automatisierung der Planungsprozesse führt zu der Möglichkeit, mehr Varianten in kurzer Zeit zu prüfen. Die gezielte Weitergabe von Planungsspielräumen von der kommerziellen zur operativen Planung ermöglicht eine Effektivitätssteigerung in der Produktion. Insgesamt erlauben diese Massnahmen eine bessere Ausnutzung der Kapazität und sie reduzieren die Notwendigkeit der Bildung von Reserven

Eine präzise adaptive Optimierung kann umgesetzt werden. Die heutige Stellwerklogik geht immer vom schlechtesten Fall aus, da sie die Position, die Geschwindigkeit und den Typ des Zuges nicht kennt (nur die „Blöcke“ die er belegt). Durch die fest programmierten Verhaltensregeln eines heutigen Stellwerks entsteht dadurch eine Verschwendung von Kapazität und die Sicherheitsreaktionen sind immer gleich. ES berücksichtigt die wirkliche Gefährdungssituation und stellt dem TMS-L mehrere sichere Reaktionsalternativen zur Verfügung, die je nach Priorität und Pünktlichkeit der Züge eingestellt werden können (unterschiedliche Geschwindigkeiten, Abstände, Flankenschutz, etc.).

Eine Reduktion der Einfahr- und Ausfahrkonflikte in Knoten durch kürzere und adaptiv gesteuerte „Movement Authorities“ (Fahrerlaubnis bis zu einem Punkt) ist möglich. Die Knoten spielen eine sehr grosse Rolle für die Gesamtkapazität im Netz. Heute werden stellwerkbedingt längere Fahrstrassen eingestellt, die aufgrund ihrer Länge schneller im Konflikt stehen können (sich kreuzen) – d.h. ein Zug muss dann warten. Zusammen mit ETCS FSS, ES und TMS-L können bei niedrigen Geschwindigkeiten sehr kurze „Movement Authorities“ erteilt werden, d.h. ausfahrende Züge fahren trotz Kreuzungskonflikt gleichzeitig los, aber die Geschwindigkeiten werden in kurzen Intervallen so gesteuert, dass sie nicht kollidieren können. Dieses verkürzt auch die technisch mögliche Zugfolgezeit am Perron.

Netzweite Doppelbelegung von Perrons und Gleisen wird ermöglicht. Die hochgenaue Steuerung der Züge (ETCS FSS, ES, TMZ-L) ermöglicht ohne Zusatzanlagen ein Feature, das heute nur in speziell ausgerüsteten Bereichen möglich ist: Die sichere enge Mehrfachbelegung von Gleisen (z.B. an Perrons).

Die technisch möglichen Verkehrsdichten (Zugfolgezeiten) sind heute netzweit sehr unterschiedlich, je nachdem wie stark bisher in die sogenannte Blockverdichtung investiert wurde. Durch die netzweite Einführung der ES Stellwerkinnenanlage wird als Nebeneffekt überall die gleich kurze technisch mögliche Zugfolgezeit eingeführt.

### 5.3 Verfügbarkeit

#### Optimierungsziele zur Verfügbarkeit der Produktionssysteme

##### 5.3.1 Rechenzentren und andere single points of failures mit netzweiter Wirkung

Schon heute ist der dichte Verkehr bei einem Ausfall wichtiger Automatisierungen (z.B. der Leittechnik) manuell nicht aufrechtzuerhalten und der Notbetrieb hat eine sehr geringe Leistungsfähigkeit.

Die Situation der Rechenzentren ist nach der Umsetzung der Automatisierten Bahnproduktion mit der heutigen vergleichbar: Die Leittechnik-Rechenzentren in den Betriebszentralen werden durch ES - Rechenzentren ersetzt, die durch die Auflösung von ca. 500 Stellwerkstandorten entstehen.

Damit verändert sich die Menge der Rechenzentren prinzipiell nicht gegenüber heute. Aufgrund des höheren

Automatisierungsgrades ist ein Ausfall jedoch mit einer etwas stärkeren Einschränkung der Steuerbarkeit verbunden. Entsprechend sind die Verfügbarkeitsniveaus der Systeme auf ein sehr hohes Ziel auszurichten (hohe Redundanz, hot stand by, etc.).

### 5.3.2 Von zunehmender Bedeutung: Security (Cyber Security, personal Security, etc.)

Die Zusammenfassung der 500 Stellwerkstandorte in wenige Rechenzentren verbessert die Möglichkeiten, die Produktionssysteme vor unzulässigem Zugriff (elektronisch oder persönlich) zu schützen.

Gleichzeitig wachsen weltweit die Fähigkeiten, Häufigkeiten und Auslöser für elektronische Angriffe immer weiter. Dieses passiert unabhängig von der Automatisierten Bahnproduktion und wird durch sie auch nicht erleichtert.

Security: Die Schaffung einer neuen Gesamtarchitektur und der Abbau der Insellandschaft vieler Systeme soll genutzt werden, um die Security Gesamtkonzeption auf ein höheres Niveau anzuheben. Dieses umfasst Cyber Security, Personal Security und Functional Security bzw. den gesamten Grundschutz (Vertraulichkeit, Integrität, Verfügbarkeit).

### 5.3.3 Verfügbarkeit der Innen- und Aussenanlagen

Je nach umgesetzten ETCS Level und Einsatz von GLAT sinkt die Anzahl der Aussenanlagen um bis zu 70%. Der Anteil der durch sie ausgelösten Störungen bei den Sicherungsanlagen liegt bei 35% und würde proportional zur Anzahl der Aussenanlagen sinken. Gleichzeitig reduziert sich aufgrund der geringen Anzahl von Aussenanlagen auch die Störungsmenge, die durch fehlerhafte Eingriffe entsteht. Durch die Harmonisierung der Innenanlagen reduziert sich die Störungsmenge um weitere 15%.

## 5.4 Senkung des Aufwands in der Produktion

In diese Vergleiche zur Wirtschaftlichkeit sind die nachfolgenden ökonomischen Nutzenpotentiale einzubeziehen (die ebenfalls in der Vorprojektphase zu erhärten sind):

### Optimierungsziele zum Aufwand der Bahnproduktion

Die vom Eigner beauftragte Migration zu ETCS FSS im Rahmen der Substanzerhaltung auf der Basis der heutigen Stellwerktechnik würde Mehrkosten und Sonderabschreibungen von mehreren Mia CHF bis 2060 gegenüber der Fortführung der optischen Signalisierung auslösen. Diese Mehrkosten können durch die Entwicklung des ES Stellwerkes weitgehend verhindert werden.

Die jährlichen Ausgaben für Sicherungsanlagen (Ersatz, Unterhalt, Erweiterung) werden in den kommenden Jahrzehnten in einzelnen Jahren um bis zu 60% ansteigen (falls kein Nachholbedarf aufgebaut werden soll), da sich eine Investitionsspitze aufgrund der Altersstruktur der Relaisstellwerke und der kürzeren Lebensdauer der elektronischen Stellwerke ergibt. Je nach umgesetztem Szenario zu der Automatisierten Bahnproduktion (ETCS Level, Einsatz von GLAT, Automatisierungsgrad ATO) kann die Anzahl der Aussenanlagen um bis zu 70% gesenkt werden, was zur Senkung der jährlichen Erhaltungskosten der Sicherungsanlagen führt.

Die Automatisierung von Verwaltungs-, Planungs- und Steuerungsprozessen in Fahrplanplanung und Betrieb sowie die Beseitigung manueller Informationsschnittstellen führt zu einer hohen Reduktion des Arbeitsaufwandes. In Verbindung mit der sicheren Endgeräteplattform GLAT kann ein noch höherer Automatisierungsgrad in den Betriebszentralen erreicht werden, da die Kommunikation und Steuerung der Flächenprozesse automatisiert werden kann.

Durch ES reduziert sich der Projektierungsaufwand für Stellwerkprojekte um über 50%, da für die Sicherheitslogik von ES nur eine fehlerfreie Topologieerfassung erfolgen muss.

Der je nach Szenario grosse Kapazitätsvorteil der Automatisierten Bahnproduktion würde teilweise zur Vereinfachung von aufwendigen Netzausbauten führen (z.B. bei AS2030). Die Quantifizierung erfordert eine sehr ausführliche Vertiefung im Vorprojekt.

Der Ersatz vieler Produktionssysteme und Einzeltechnologien durch wenige generische Plattformen führt zur

einer Senkung der laufenden Kosten (Technologiebereiche, Bau, Unterhalt, Ausbildung)

Die Verlagerung von vielen Funktionalitäten aus den Sicherheitssystemen (Stellwerk, Leittechnik) auf deutlich günstigere übergeordnete IT Systeme reduziert die Entwicklungs- und Lebenszykluskosten für diese Funktionen deutlich (je nach Technologie um Faktor 5-20). Sie erlaubt auch die Zusammenfassung der verschiedenen technologiespezifischen Kompetenzzentren und eine kostenoptimierte Anpassung der Fertigungstiefe (sie ist heute zumeist im Gegensatz zum letzten Jahrhundert sehr niedrig, hohe Abhängigkeiten führen zu höheren Servicekosten).

Durch die sichere lokalisierbare Endgeräteplattform GLAT und ihre automatisierte Schnittstelle zu den Betriebszentralen können Flächenprozesse, die unter Betrieb im Gleis stattfinden, produktiver gestaltet werden (automatische Sperren, bessere Ausnutzung der Lücken der Produktion, effizientere Manöver/Rangieren, etc.). Dieses reduziert die Wartezeiten und Rüstzeiten in den Flächenprozessen (Quantifizierung ist zu vertiefen).

### **5.5 Angestrebter spürbarer Nutzen für die Endkunden**

Kundennutzen: Aus den vorherigen Nutzenaspekten und den technologischen Veränderungen ergibt sich zusammengefasst folgender Kundennutzen:

- Kostengünstigere Angebotsverbesserungen
- Flexiblere und variable Angebote einfacher realisierbar
- Kostengünstigeres Bahnsystem
- Höhere Pünktlichkeit (adaptive Lenkung und starke Senkung der SA-Störungen)
- Quantensprung in der flächendeckenden Connectivity
- Höhere Sicherheit

## 6 Glossary

Term	Abbrev.	Description
<b>ATO</b>		Automatic Train Operation. Der Zug wird ferngesteuert. Man unterscheidet u.a. STO (Lokführer während der Fahrt passiv), DTO (Zugbegleiter im Störfall als Lokführer) und UTO (kein Lokführer im Zug. komplette Fernsteuerung wie bei einer Drohne).
<b>CENELEC SIL 4</b>		CENELEC Sicherheitslevel 4 (sehr hohe technische Anforderungen)
<b>Communication based traffic control</b>	CBTC	CBTC Systeme (z.B. ETCS oder proprietäre Systeme wie für Metros) haben einen Grundaufbau, die auf einer Datenfunkverbindung mit dem Zug zu den Zugsicherungs und Steuerungssystemen des Zuges basiert. Der Zug ist "kontinuierlich online" und damit ständig beeinflussbar.
<b>ETCS</b>		European Train Control System. Harmonisiertes Zugsicherungssystem zur Vereinheitlichung der verschiedenen länderspezifischen europäischen Zugbeeinflussungssysteme für einen zunehmenden grenzüberschreitenden Fahrzeugeinsatz und Netzzugang.
<b>ETCS L2</b>		European Train Control System Level 2. Signale werden nun im Führerstand angezeigt (siehe Führerstandsinalisierung). Ist im Gegensatz zu Level 1 und Level 1 Limited Supervision zwingend auf GSM-R angewiesen.
<b>ETCS Stellwerk</b>	ES	ETCS FSS basiertes Stellwerk, welches das RBC umfasst. Über seine dynamische, regelbasierte und geometrische Sicherheitslogik steuert das ES alle Bewegungen von Objekten und Veränderungen an den Aussenanlagen innerhalb des Wirkbereichs. Sämtliche betrieblichen Steuerungsaufgaben sind in die übergeordneten Systeme verschoben.
<b>Fahrdienstvorschriften</b>	FDV	<p>Der Fahrdienstvorschriften (FDV) sind die Vorschriften, welche für alle schweizerischen Eisenbahnen sowie für alle Bahnen, die schweizerische Eisenbahninfrastrukturen gültig sind. Sie umfassen die sicherheitsrelevanten Regeln für alle Fahrten auf Schienen.</p> <p>Das Bundesamt für Verkehr erlässt gestützt auf Art. 11a der Eisenbahnverordnung vom 23. November 1983 EBV (742.141.1) die Schweizerischen Fahrdienstvorschriften FDV.</p> <p>Zu den Vorschriften:  <a href="http://www.bav.admin.ch/grundlagen/03514/03533/03649/index.html?lang=de;">http://www.bav.admin.ch/grundlagen/03514/03533/03649/index.html?lang=de;</a>                      Begriffe (  <a href="http://www.bav.admin.ch/dokumentation/vernehmlassung/02503/index.html?d...">http://www.bav.admin.ch/dokumentation/vernehmlassung/02503/index.html?d...</a> )</p> <p>Die Eisenbahnverkehrsunternehmung und Infrastrukturbetreiberin können zusätzlich zu den FDV verschärfte bzw. präzisierendere Ausführungsbestimmungen erlassen.</p>
<b>Fahrplan</b>		<p>Ein Fahrplan legt im öffentlichen Personennah- und -fernverkehr und im Schienengüterverkehr den Fahrtverlauf eines Verkehrsmittels fest. Dabei notwendige Angaben sind Zugnummer, Verkehrstage, Fahrweg, Ankunfts-, Abfahrts- und Durchfahrtszeiten an den Betriebspunkten sowie die zulässigen Geschwindigkeiten in den einzelnen Abschnitten des Fahrwegs. Der Fahrplan ist ein zentrales Datenobjekt für das Geschäft der SBB. Er umfasst betriebliche und kommerzielle Dimensionen auf einer Zeitachse vom Langfristplan (+20 Jahre) bis zum aktuellen Betrieb. Innerhalb der SBB gibt es (noch) zahlreiche unterschiedliche Sichten auf das Objekt Fahrplan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fahrplan aus NeTS</li> <li>- Fahrplan Cargo</li> </ul>

- kommerzieller Fahrplan
- Fahrplan, Flex
- betrieblicher Fahrplan
- SBB Fahrplan

<b>Fail-safe</b>	fail-safe	<p><b>Fail-safe</b> (englisch für <i>versagenssicher</i> oder <i>ausfallsicher</i>, zusammengesetzt aus <i>fail</i>, <i>ausfallen</i> und <i>safe</i>, <i>gefährlos</i>) bezeichnet jede Eigenschaft eines Systems, die im Fall eines <b>Fehlers</b> zu möglichst geringem Schaden führt. Bei einer Maschine oder Anlage werden systematisch Fehler unterstellt und danach versucht, die zugehörigen Auswirkungen so ungefährlich wie möglich zu gestalten. Dieses Prinzip wird in allen technischen Bereichen angewendet. In vielen Fällen gibt es hierfür branchenspezifische Sicherheitsvorschriften. Im übertragenen Sinn werden neben Bauteil- oder Energieausfall auch Bedienungsfehler betrachtet.</p> <p>Manchmal wird im Deutschen in diesem Zusammenhang auch der Begriff <i>Fehlertoleranz</i> benutzt. Bei diesem Begriff geht es aber eher um das Thema <b>Bedienerfreundlichkeit</b>. Jedenfalls ist mit diesem Begriff selten die Betrachtung einer Gefährdung für Gesundheit und Umwelt verbunden. Auch der Begriff <i>Ausfallsicherheit</i> bezieht sich nicht auf eine damit verbundene Gefährdung, sondern auf die Zuverlässigkeit einer Anlage.</p>
<b>FSS</b>		Führerstandsinalisierung
<b>Genau lokalisierbare allgemeinverwendbare Endgerätetechnik</b>	GLAT	Der Entwicklungsgegenstand GLAT dreht sich um eine "genau lokalisierbare sichere und allgemeinverwendbare Endgerätetechnik".
<b>GoA Grade of Automation</b>	GoA	<p><b>GoA:</b> „Grade of Automation“ bezeichnet den Grad der Automatisierung in der Zugfernsteuerung (ATO). Die Liste der automatisierbaren Tätigkeiten des Lokführers wird in 5 Kategorien („grade of automation“, GoA) unterteilt:</p> <p><b>GoA 0:</b> Keine Automatisierung, alles liegt in den Händen des Lokführers.</p> <p><b>GoA 1:</b> Der Lokführer wird an unsicheren Handlungen gehindert (z.B. das Überfahren eines Signals). Dies ist der heutige Automatisierungsgrad bei der SBB und anderen Bahnen.</p> <p><b>GoA 2:</b> Der Lokführer ist zwar anwesend, während der Fahrt übernimmt aber ein System die Geschwindigkeitssteuerung oder am Bahnhof die Türsteuerung (Autopilot).</p> <p><b>GoA 3:</b> Im Führerstand ist keine Person mehr anwesend, die meisten Prozesse sind automatisiert. In schwierig zu automatisierenden Situationen (z.B. Fahrt auf Sicht bei Störungen) erfolgt eine manuelle Fernsteuerung z.B. durch den Zugbegleiter oder durch die Betriebszentrale.</p> <p><b>GoA 4:</b> Alle Prozesse der Zugsteuerung sind automatisiert. Nur noch bei Lokstörungen oder Evakuationen greifen Interventionsgruppen vor Ort ein.</p>
<b>GSM-R</b>	GSM-R	Global System for Mobile Communications Railway - digitales Mobilfunknetz der Bahn. Dient der Bahn neben der Sprachübermittlung auch als Übermittlungsmittel für ETCS ab Level 2.
<b>Kontinuierlicher Verbesserungsprozess</b>	KVP	Ein ständiges Verbessern wird dann als KVP bezeichnet, wenn dieser Prozess systematisch organisiert ist. Im Minimum besteht dieser organisierte Prozess aus Erkennen, Sammeln, Lösen, Prüfen, Nacharbeiten.
<b>LCC</b>		Life Cycle Costs bzw. Lebenszykluskosten: Alle existenzbedingten Ausgaben einer Anlage wie Investition, Unterhalt, techn. Betrieb, etc.
<b>Leittechnik (SA)</b>		(z. B. ILTIS) ... steuert Stellwerke fern, und nimmt hierbei automatische vorprogrammierte Bedienungen vor (automatische Konfliktlösung). Es sind verschiedene Generationen der Leittechnik in Betrieb, die neueste Generation ist ILTIS Netz.

<b>MWA</b>		Mobile Warnanlage. GLAT Gerät, dass zum Sperren von Topologiebereichen und zur Ausgabe von Warnungen (Lautsprecher, Blinklicht) dient.
<b>NoSIL</b>	NoSIL	NoSIL ist eine umgangssprachliche Bezeichnung für Systeme, die keine Bedeutung für die Sicherheit haben.
<b>Object Controller</b>	OC	Der Object Controller verbindet das ETCS Stellwerk mit den alten Innenanlagen und mit den Aussenanlagen.
<b>Plangenehmigungsverfahren</b>	PGV	
<b>Radio Block Center</b>	RBC	Ist die wesentliche Komponente des European Train Control System (ETC S) in den ETCS-Level 2 und 3. Das RBC generiert die Movement Authority unter Berücksichtigung dynamischer und statischer Informationen und stellt die Schnittstelle der Stellwerke zur ETCS Welt dar.
<b>RCS</b>		Rail Control System. Dispositionssystem.
<b>SIL</b>		Safety Integrity Level einer Systemfunktion oder eines Systems gemäss CENELC EN 50126,50128,50129 (Stufe 0-4, definiert durch Gefährdungsraten und Prozessauflagen bzgl. Entwicklung, Betrieb und Nutzung)
<b>SmartRail 4.0</b>	SR40	A program with disruptive innovations for the processes and Systems of the railway production.
<b>TMS</b>		Traffic Management System. Die Gesamtmenge aller Systeme oberhalb der CCS, die die Nutzung des Fahrweges und seiner Zugänge (z.B. Bahnhöfe) planen, steuern und optimieren.
<b>ZKE</b>		Zugkontrollenrichtungen