Emch+ Berger

Schweizerische Bundesbahnen SBB

Gutachten zur risikoorientierten Ausrüstung Zugbeeinflussung und internationaler Vergleich Kollision infolge Signalfällen

Schlussbericht I 30. Oktober 2013

Gesamtlösungen sind unser Plus. I Emch+Berger AG Bern
Schlösslistrasse 23 I Pf 6025 I CH-3001 Bern I Tel. +41 31 385 61 11 I Fax +41 31 385 61 12 I bern@emchberger.ch I www.emchberger.ch

Impressum

Gutachter	Emch+Berger AG Bern Schlösslistrasse 23 Postfach 6025 CH-3001 Bern
Auftraggeber	SBB AG, K-SQ-RKD Kontaktperson: Marcel Huser
Inhalt des Auftrags	Gutachten zur risikoorientierten Ausrüstung Zugbeeinflussung und internationaler Vergleich Kollision infolge Signalfällen
Datum	30. Oktober 2013
Version	Schlussbericht
Autor(en)	Dr. I. Levkov, Dr. P. Gerber, M. Kost, Dr. M. Kaegi, Emch+Berger AG Bern Prof. Dr.-Ing. Jörn Pachl, Technische Universität Braunschweig
Freigabe	
Datei	P:\P_SBB-Signalfälle\4_PLAN\40_ALLG\Bericht\131030_Gutachten_Signalfälle_V2-0.docx
Seitenanzahl	85
Copyright	© Emch+Berger AG Bern

Management Summary

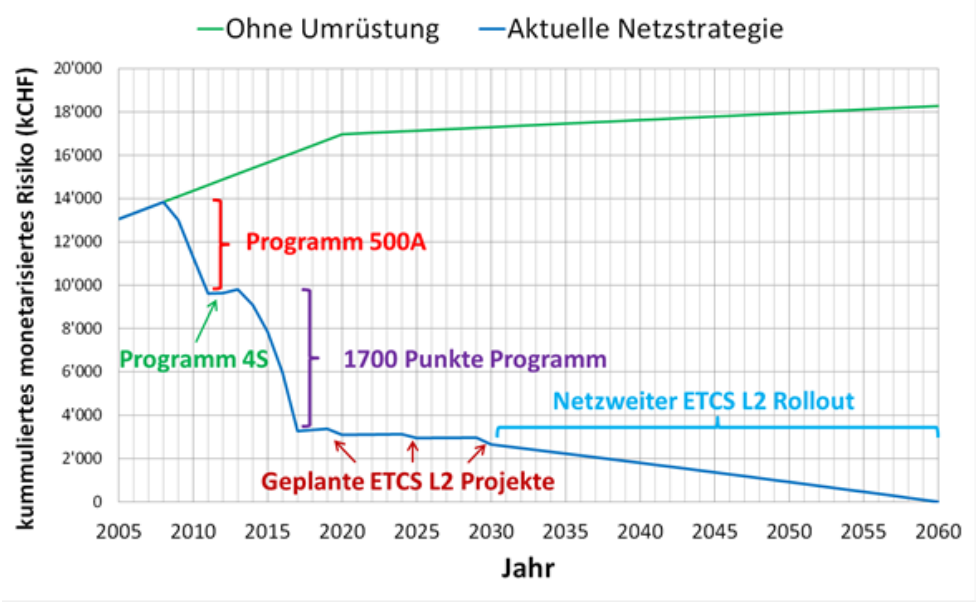
Einleitung

Die SBB verfügen über ein historisch gewachsenes Netz, welches aufgrund der Topologie und der Platzverhältnisse zum Teil über kurze bis sehr kurze Durchrutschwege verfügt. Mit Durchrutschweg wird dabei die Distanz von einem Zugsignal bis zum massgebenden Gefahrenpunkt definiert. Auf der im internationalen Vergleich sehr komplexen Infrastruktur – beispielhaft im Verhältnis Weichen oder Signale pro Gleiskilometer dargestellt – werden Betriebsprogramme gefahren, die zu den dichtesten weltweit gehören. Zur Minimierung der Risiken, die mit den immer komplexer werdenden Betriebsbildern einhergehen sowie zur Effizienzsteigerung verfolgen die SBB seit Mitte der 90er Jahre konsequent ein Programm zur Modernisierung ihrer Sicherungsanlagen. Die Strategie ist dabei, einen betrieblich und wirtschaftlich vertretbaren Übergang flächendeckend zum zukünftigen europäischen Standard ETCS L2 sicherzustellen, welcher mit einer kontinuierlichen Geschwindigkeitsüberwachung der Züge einen maximalen Schutz bezüglich Zugbeeinflussung gewährleistet.

Ausgangslage

Das vorliegende Gutachten bezieht sich auf Unfälle aufgrund von Signalfällen. Das Restrisiko solcher Unfälle resultiert in erster Linie aus nicht mit Geschwindigkeitsüberwachung und Abfahrverhinderung ausgerüsteten (Ausfahr-)Signalen. An solchen Signalen und insbesondere bei kurzen Durchrutschwegen passieren aus den Signalfällen Unfälle.
Bis ca. 2005 wurde das ursprüngliche Gesamt-Risikopotenzial von Unfällen aufgrund von Signalfällen – gerechnet in Risikoeinheiten pro Jahr [RE/J] - nach einem risikoorientierten Ansatz, bei welchem Signale in der Reihenfolge ihrer Risikopotenziale identifiziert und unter Berücksichtigung des Kosten-Nutzenverhältnisses umgerüstet wurden, rigoros reduziert. Für die effiziente Identifikation des Ausrüstungsbedarfs auch an Signalen mit einem Risikopotenzial kleiner als 20 RE/J wurde zur Regelung der Ausrüstung von Signalen mit Geschwindigkeitsüberwachung und Abfahrverhinderung seit 2010 die R I-20027 in Kraft gesetzt.

Die Reduktion des monetarisierten kumulierten Restrisikos durch die seit 2005 getroffenen Massnahmen sowie die erwartete zukünftige Entwicklung aufgrund vorgesehener sicherheitssteigernder Programme stellt sich wie in der folgenden Abbildung dar (grüne Kurve zeigt als Vergleich die Zunahme des Risikos aufgrund des Mehrverkehrs, der dichteren Fahrpläne, der schnelleren Züge und der Zunahme der Signale, falls keine Massnahmen umgesetzt würden):



Die Anzahl Signalfälle pro Jahr auf dem Netz der SBB bewegt sich in den letzten 9 Jahren zwischen 80 und 130. Entscheidend für das Restrisiko sind jedoch nicht die Anzahl Signalfälle an sich, sondern die sich daraus ereignenden Unfälle – also das Verhältnis Unfall/Signalfall als geeignete Kenngrösse. So haben beispielsweise Bahnen mit einer hohen Zugsdichte mehr Signalfälle bei ungesicherten Signalpunkten. Sofern diese Bahnen jedoch ausreichende Durchrutschwege bzw. entsprechende Zugsicherungstechnik haben, resultieren daraus nicht zwangsläufig mehr Unfälle. Signaltypen, die bei den SBB besonders kritisch bezüglich der Anzahl Unfälle pro Signalfall sind, sind die Gleisabschnitts- und Ausfahrsignale, bei welchen insgesamt 95% der Unfälle aufgrund von Signalfällen auftreten. Bei den Ausfahrsignalen spielt nebst der Geschwindigkeitsüberwachung auch eine entscheidende Rolle, ob diese mit einer Abfahrverhinderung gegen ein Halt zeigendes Signal ausgerüstet sind. Die unfallrelevante Statistik ergibt, dass auf dem SBB-Netz im Durchschnitt jährlich 2 Unfälle infolge von Signalfällen passieren, was rund 1.5 Unfällen pro 100 Mio. Zug km. entspricht. Durch das 1700-Punkte-Programm, bei welchem im Rahmen des ETCS-Rollouts 1700 Signalpunkte zusätzlich mit ZUB121 ausgerüstet werden, wird das kumulierte monetarisierte Restrisiko und die durchschnittliche Anzahl Unfälle um mehr als einen Faktor 2 reduziert (vgl. Abbildung oben).

Heute sind bei den SBB rund 30% der Hauptsignale mit einem ZUB als Zugbeeinflussung ausgestattet. Ausgehend von ca. 11‘000 betroffenen Hauptsignalen bedeutet dies aber auch, dass bei mehr als 7‘000 Hauptsignalen eine Ausrüstung mit Geschwindigkeitsüberwachung fehlt. Bei den bezüglich des Restrisikos massgebenden Ausfahr- und Gleisabschnittsignalen sind es ca. 3‘500 Signale, welche nur mit Signum gesichert sind. Bei diesen 3‘500 Signalpunkten setzt das 1700-Punkte-Programm zur weiteren Risikoreduktion an, bei den nicht mit Geschwindigkeitsüberwachung gesicherten Blocksignalen beispielsweise ereignen sich praktisch keine Unfälle aus Signalfällen.

Die bisherigen Systeme der Zugbeeinflussung Signum und ZUB sind nun ans Ende ihrer Lebensdauer angelangt, so dass bei diesen häufiger Störungen auftreten werden. Deshalb werden seit längerem nicht mehr Signum und ZUB, sondern ETCS Komponenten mit Signum bzw. ZUB Funktionalität eingebaut. Mit ETCS Netz Rollout werden nun alle alten Komponenten ersetzt und bis 2017 ETCS L1 LS flächendeckend eingeführt. Zur weiteren Steigerung der Sicherheit ist vorgesehen, ab 2018 den Übergang zum flächendeckenden Einsatz des zukünftigen europäischen Standards ETCS L2 zu starten.

Die SBB haben im Frühling 2013 Emch+Berger AG Bern beauftragt, im Kontext der Unfälle infolge Signalfälle und der geplanten Sicherheitsprogramme folgende Fragen zu beantworten:

a. Wie wird die Strategie der risikoorientierten Ausrüstung Zugbeeinflussung beurteilt?
b. Wie wird diese Strategie im Kontext der gewählten ETCS-Migration beurteilt?
c. Wie ist der Stand der SBB-Zugbeeinflussung im internationalen Vergleich?
d. Wo stehen die SBB hinsichtlich Statistik der Unfälle infolge Signalfälle im internationalen Vergleich?[1]

Im Zuge der Projektarbeit wurden die folgenden Fragen zusätzlich beauftragt:

- Vergleich mit den anderen Normalspurbahnen in der Schweiz (BLS, SOB)
- Beurteilung der Gruppenausfahrsignale (insb. Aspekt der Lage der Zugsicherungseinrichtung erst nach dem Gefahrenpunkt).

[1] Auswertungen können erst nach Vorliegen vollständiger Unterlagen abgeschlossen werden.

Gesamtheitliche Bewertung der aktuellen Situation
(für die detaillierte Darstellung vgl. Kap. 4)
Die SBB haben in Sachen risikoorientierte und Kosten-Nutzen-orientierte Ausrüstung mit Zugbeeinflussung einen guten Stand erreicht. Die eingeleiteten Programme zeugen davon, dass die Risikosituation seitens der SBB erkannt, mit methodisch gut entwickelten Tools analysiert und, wenn auch mit Unterbrüchen, geeignete Massnahmen für eine effiziente Risikoreduktion bis 2018 getroffen werden bzw. wurden. Aus technologischer, betrieblicher, finanzieller Sicht und aus einer korrekten Risikobetrachtung heraus wurden die richtigen Tools zum richtigen Zeitpunkt eingesetzt. Zwecks Erreichung einer bestmöglichen Wirtschaftlichkeit folgen diese Programme dem ETCS-Rollout und sind mit vielen und komplexen Massnahmen wie z.B. Stellwerkserneuerungen sehr eng verzahnt. In diesem Zusammenhang sind aufwendige Planungsprozesse unter der Beteiligung interner und externer Entscheidungsträger etabliert. Die erforderlichen Ressourcen werden an die Bewältigung dieser Prozesse, aber insbesondere an die Umsetzung der Massnahmen selbst gebunden. Im Rahmen vorgegebener Ressourcen ist die Frage nach der richtigen Priorisierung entscheidend (siehe Empfehlung A).

Zusammenfassend kann folgende Beurteilung festgehalten werden:

- Die SBB betrachten die Zugbeeinflussung aus einer ganzheitlichen Systemsicht heraus:
    - Die parallele Vorbereitung von Infrastruktur und Fahrzeugen auf den Zustand „ETCS only“ gilt als besonders wirtschaftlich und wird konsequent verfolgt.
- Die SBB kennen die Risikosituation, setzen risikoorientierte Prozesse zur Nach-/Aufrüstung der Zugbeeinflussung ein und unterstützen diese mit stets weiterzuentwickelnden Rechentools:
    - Der ursprüngliche, konsequent angewandte risikoorientierte Ansatz auf Basis Kosten-Nutzen-Wirksamkeit stellt eine möglichst hohe Risikoreduktion pro investierten Franken sicher.
    - Mit der sich in Umsetzung befindenden netzweiten Anwendung von R I-20027 werden nach Umsetzung des 1700-Punkte-Programms alle als kritisch identifizierten Durchrutschwege über eine Geschwindigkeitsüberwachung verfügen.
    - Die verbleibenden, relativ geringen Restrisiken, die sich aus dem Einsatz der punktförmigen Zugbeeinflussung ergäben, werden mit dem flächendeckenden Einsatz von ETCS L2 weiter signifikant eliminiert (siehe Empfehlung B).
- Der internationale Vergleich der Zugbeeinflussungstechnologien ist von der eingebauten Technik und der jeweils projektierten Funktionalität abhängig. Für vergleichende Aussagen muss auch das jeweilige Risikopotenzial der Signalpunkte herangezogen werden:
    - Die Kombination Signum und ZUB *ohne Abfahrverhinderung* erreicht einen durchschnittlichen Platz im Vergleich mit den anderen europäischen Bahnen. Diese Kombination ist allerdings an Standorten mit ausreichend langem Durchrutschweg durchaus State of the Art, da eine Abfahrverhinderung keine Zusatzsicherheit bringt und daher nicht erforderlich ist.
    - In der Kombination auch *mit Abfahrverhinderung* an den erforderlichen kritischen Stellen gehört die Kombination Signum+ZUB zu den besten Technologien und kann als „State of the Art“ bezeichnet werden (vgl. Kap. 4.2 und 4.2.2).
    - Nur Signum bei der Konstellation, wo der Bremsweg länger als Durchrutschweg ist, ist jedoch nicht mehr „State of the Art“.
- Die aktuelle ETCS-Strategie bedient im Übergang zum langfristig anvisierten flächendeckenden ETCS L2-Einzug primär Substanzerhalt, Zugang zum Netz und Interoperabilität als Treiber. Es werden konsequent Elemente aus dem ETCS-Baukastensystem eingebaut, was einen guten technologischen Übergang sicherstellt. Für die Zeit ab 2018 braucht es aller-

dings weitere tiefgreifende Aktivitäten in Richtung ETCS L2 flächendeckend (vgl. Kap. 4.3 sowie Empfehlungen).

- Die anderen Normalspurbahnen (BLS, SOB) in der Schweiz rüsten ihre Ausfahrsignale konsequenter mit Geschwindigkeitsüberwachung *und* Abfahrverhinderung aus – diese Bahnen haben aktuell mehr als 55% ihrer Signale mit Geschwindigkeitsüberwachung ausgestattet. In den nächsten 2-3 Jahren wird von einem Ausrüstungsgrad von mindestens 90% ausgegangen. Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass diese Bahnen im Vergleich zu SBB Rahmenbedingungen haben, die diesen hohen Ausrüstungsgrad begünstigen (vgl. Kap. 4.6.1 und 4.6.2). Die beiden Bahnen verwenden eigene, der R I20027 ähnliche Normen für die Zugsicherungsausrüstung. Nur wählen sie beim Entscheid für oder gegen eine Abfahrverhinderung einen sehr pragmatischen Ansatz, teilweise ohne Berücksichtigung von Ausnahmefällen. Zu den im Vergleich zu den SBB günstigeren Rahmenbedingungen ist allerdings insbesondere auch auf die Finanzierung der Massnahmen zur Reduktion des Restrisiken hinzuweisen – seitens BAV werden für die beiden Bahnen BLS und SOB Finanzmittel zur Eliminierung der Unfallrisiken an Ausfahr- und Gruppensignalen durch Einbau von Geschwindigkeitsüberwachung und Abfahrverhinderung zur Verfügung gestellt. Insgesamt wäre in diesem Zusammenhang ein risikobasierter Einsatz der vorhandenen Finanzmittel über alle Bahnen zu prüfen.
- Die Gruppenausfahrsignale, welche historisch an Stellen mit sehr geringen Platzverhältnissen entstanden sind, bergen jedoch erhöhte Risikopotenziale und sind international gesehen eine Randerscheinung. So sind diese beispielsweise in Deutschland nur noch auf Gleisen ohne besetzte Reisezüge in Betrieb oder auf Nebenbahnen mit vereinfachter Signalisierung (Frankreich) vorzufinden. Die SBB haben vor, bei den noch vorhandenen Gruppenausfahrsignalen spezielle Massnahmen einzuführen – als Teil der Umpriorisierung des 1700-Punkte-Programms ist beispielsweise vorgesehen, Signale mit zu kurzem Durchrutschweg in Einspurstrecken (insb. Gruppensignale) mit Abfahrverhinderung gezielt vorzeitig auszurüsten.
- Die SBB ist sich der Wichtigkeit des „human factors“ bewusst und hat parallel laufende Mandate zur Untersuchung der Risikopotenziale aus dem Arbeitsumfeld des Lokführers initiiert. Es werden auch weitere Sondermassnahmen eingeleitet, die sich aus den Erkenntnissen der Auswirkungen des Rückzugs des Personals aus der Fläche infolge des unbegleiteten Betriebs, der Automatisierung und der Zentralisierung der Betriebsführung heraus ergeben. Beispiel ist die vorübergehende Einführung des 4-Augenprinzips durch den Einbezug der Fahrdienstleiter bei 7 Bahnhöfen mit Gruppensignalen.

Empfehlungen im direkten Zusammenhang mit den Signalfällen

Eine Bahn wie die SBB mit höchst komplexen Betriebsbildern und Infrastruktur agiert aus der Position einer sehr hohen Erwartungshaltung seitens ihrer Stakeholders wie das BAV und insbesondere die Reisenden. Um den daraus abgeleiteten Anforderungen an ein „State oft the Art“ insbesondere bei den Zugsicherungssystemen zu entsprechen, wird ein Mix aus Massnahmen empfohlen (vgl. auch die detaillierten Empfehlungen in Kapitel 4.8):

A) Stringente Umsetzung des sicherheitssteigernden 1700-Punkte-Programms (Hauptprogramm):
   - Eine Repriorisierung der Rolloutplanung unter Berücksichtigung der vorhandenen Ressourcen soll nur unter der Auflage erfolgen, dass keine Verzögerung im Rollout entsteht. Grund: umfangreiche Abhängigkeiten und Verzahnung mit parallel laufenden Projekten und der Industrie, knappe Ressourcen, ambitionierter Zeitplan für die Umsetzung des 1700-Punkte-Programms (Ende 2017). Im Falle

einer Verzögerung wäre das *Restrisiko* langsamer abgebaut und damit Ende 2017 *höher* als ursprünglich vorgesehen.

- Allenfalls ist jedoch eine vorgezogene, rasche Ausrüstung der vom 1700-Punkte-Programm betroffenen Signale in den bereits realisierten Losen 2 und 3 des ETCS Netz Rollouts zu prüfen, welche aktuell erst Ende 2017 vorgesehen ist[2]. Diese Ausrüstung darf allerdings die Umsetzung des übrigen Programms nicht negativ beeinflussen.

B) Nutzungsunabhängiger[3] Einbau von Abfahrverhinderungen an Gruppenausfahrsignalen auf Einspurstrecken ohne Auswirkungen auf das Hauptprogramm. Allerdings sind für diese Massnahmen zusätzliche Finanzierungspakete zur Verfügung zu stellen. In dieser Hinsicht ist auch eine entsprechende Anpassung der R I-20027 ab 2018 zu prüfen.

C) ETCS L2 – flächendeckende Implementierung spätestens bis 2030/2035 früher wie auch forcierter planen. In rund 20 Jahren wird nur noch eine standardisierte Führerstandsignalisierung als „State of the Art“ gelten, auch eliminiert ETCS L2 weitestgehend die Restrisiken im Zusammenhang mit Signalfällen durch eine permanente und kontinuierliche Zugüberwachung. In der Zeit bis 2018 sollen ETCS L2-Programme aus der Gotthard-Basislinie, dem LBT sowie anderer Bahnen dezidiert mitverfolgt werden, um die relevanten Erfolgsfaktoren für die SBB zu identifizieren und anschliessend (ab 2018) umzusetzen.

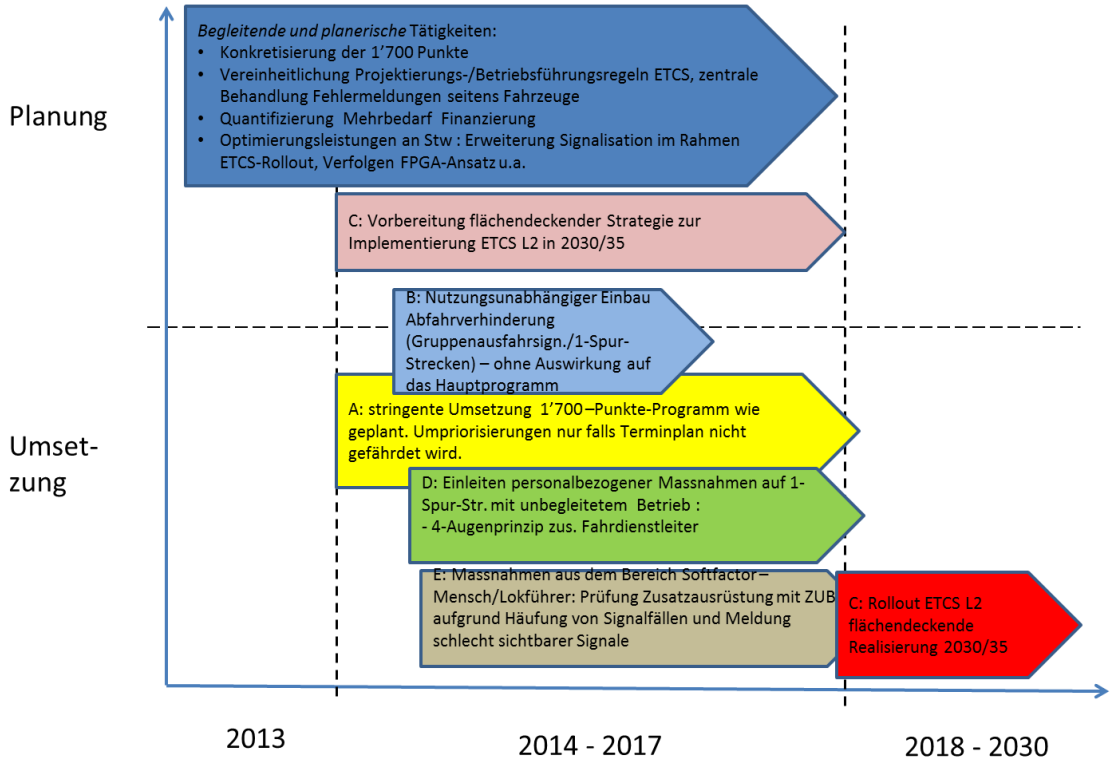
D) Möglichst rasche Steigerung der Sicherheit durch parallellaufende Personalmassnahmen auf Einspurstrecken mit unbegleitetem Betrieb (4-Augen-Prinzip) insbesondere auf Stecken mit Gruppenausfahrsignalen, wo die Zugsicherung erst nach dem Gefahrenpunkt greift.

E) Ergänzend zur R I-20027, welche die topologische und betriebliche Situation zur Ausrüstung von Signalpunkten bei der Ausrüstung von Signalpunkten zur effizienten Sicherheitssteigerung berücksichtigt, sollten auch Softfactor-Erkenntnisse aus dem Bereich Mensch/Lokführer umgesetzt werden. Bei Signalpunkten, bei denen sich Signalfälle häufen oder bei Signalen, die von den Lokführern als schlecht sichtbar bezeichnet werden, ist eine zusätzliche Ausrüstung mit ZUB zu prüfen.

[2] Bei den Losen 2 und 3 sind zwar keine Priorität-1-Punkte vorhanden, aber das Optimierungspotenzial dieser Massnahmen resultiert aus der Vielzahl Signalpunkte.

[3] Die R I-20027 sieht risikobasierte Ausnahmen bei der Ausrüstung mit Abfahrverhinderungen vor. Diese Ausnahmen hängen unter anderem von der Nutzung der Signale ab. Als Folge werden nicht alle Abfahrsignale, insbesondere auch auf Einspurstrecken, mit Abfahrverhinderungen ausgerüstet.

Die Empfehlungen sind – getrennt nach Planungs- und Ausführungsschritten – graphisch wie folgt dargestellt. Es ist auch ein Block begleitender (Planungs-)Massnahmen vorangestellt, welcher beispielsweise die endgültige Ermittlung der Signalpunkte aus dem 1700-Punkte-Programm, die Fortführung der Betriebsführungsregeln ETCS oder die Implementierung zusätzlicher Finanzierungspakete beinhaltet.



Schussfolgerungen

Die SBB kennen die Risikosituation und bauen die Restrisiken in einem zweistufigen Ansatz mittels angemessener und stets optimierter Tools, die auch seitens BAV anerkannt werden, kontinuierlich ab. In der ersten Stufe wurde der Schwerpunkt auf eine risikoorientierte Vorgehensweise gelegt, um schnellst möglich die Punkte mit dem höchsten Risikopotenzial zu eliminieren. In der zweiten Stufe – ab 2010 – wurde anhand der R I-20027 ein effizienzorientierter Ansatz gefahren, um auch die Signale mit einem geringeren Risikopotenzial auszurüsten. Die Wirtschaftlichkeit der umgesetzten Massnahmen ist insbesondere durch die Verzahnung neuer Sicherheitssteigerungsprogramme mit dem Rollout der übergeordneten ETCS-Strategie optimiert. Zur sicherheitssteigernden Effizienz trägt das eingeleitete 1700-Punkte-Programm bei.

Durch eine Konzentration auf die laufenden Programme und rechtzeitige Vorbereitung und Einführung von weiteren Massnahmen kann das Ziel einer massgeblichen Restrisikoreduktion Ende 2017 erreicht werden.
Voraussetzung ist, dass das 1700 Punkte-Programm ungestört umgesetzt wird. Die komplementären Massnahmen sollen ergänzend wirken und aus zusätzlichen Quellen finanziert werden. Sofern die vorgeschlagenen Massnahmen realisiert werden, wird bereits 2018 ein dezidiertes Programm zur flächendeckenden Einführung von ETCS L2 stehen. Die flächendeckende Umsetzung des europäischen Standards für die Sicherungsanlagen eliminiert das Restrisiko beim Befahren des richtig eingestellten Fahrwegs und soll das Grundprinzip der zukünftigen Politik der Sicherungsanlagen der SBB sein.

Inhalt

Management Summary i

1 Einleitung 1

2 Begutachtungsgegenstand, Ziele und Vorgehensweise 1

2.1 Begutachtungsgegenstand und Ziele 1

2.2 Vorgehensweise 1

2.3 Abgrenzung 2

3 Ausgangslage und Feststellungen 3

3.1 Ausgangslage 3

3.2 Bisherige Strategie der risikoorientierten Ausrüstung Zugbeeinflussung 4

3.3 Anwendung der R I-20027 7

3.4 Risikoaspekte einzelner Signaltypen 8

3.4.1 Einfahrsignale 8

3.4.2 Ausfahrsignale/Gleisabschnittssignale 9

3.4.3 Blocksignale 9

3.4.4 Gruppensignale 9

3.5 Technologie der Zugbeeinflussung 10

3.5.1 Übergeordnete Betrachtung 10

3.5.2 Zugbeeinflussung bei den SBB 11

3.6 Migrationsstrategie ETCS 13

3.7 Vergleich Signalfall- und Unfallhäufigkeit mit anderen Bahnen in der Schweiz 15

3.7.1 Situation SBB 15

3.7.2 BLS 19

3.7.3 SOB 20

3.8 Umsetzung Zugsicherung bei den europäischen Bahnen 20

3.8.1 Zugbeeinflussung bei ausgewählten ausländischen Bahnen 20

3.8.2 Vergleichende Gegenüberstellung der Zugbeeinflussungssysteme der betrachteten Bahnen 22

3.9 Internationaler Vergleich von Signalfällen und Zusammenstössen 25

3.9.1 Verhältnis Zugskollisionen zu Signalfällen 28

3.10 Anwendung von Gruppenausfahrsignalen bei europäischen Bahnen 29

3.11 Weitere sicherheitsrelevante Aspekte 31

3.11.1 Betrachtung im Kontext der Gesamtrisikolandschaft 31

3.11.2 Rangierfahren 31

3.11.3 Lokführer 31

3.11.4 Begleitpersonal inkl. Fahrdienstpersonal (4-Augenprinzip) 32

4 Ergebnis der Begutachtung 33

4.1 Risikoorientierte Ausrüstung Zugbeeinflussung 33

4.2 Technologie der Zugbeeinflussung 36

4.2.1 Definition“State of the Art“ 36

4.2.2 Beurteilung SBB im Kontext des State of the Art 36

4.3 Beurteilung der Strategie ETCS Migration 37

4.4 Beurteilung Gruppenausfahrsignale 40

4.5 Abbau der Restrisiken 40

4.5.1 Umrüstungsprogramme – bisherige Planungen, Sensitivitätsbetrachtung 40

4.5.2 Weitere sicherheitssteigernde Massnahmen 44

4.6 Vergleiche mit anderen Normalspur-Bahnen in der Schweiz 45

4.6.1 Vergleich mit BLS 45

4.6.2 Vergleich mit SOB 46

4.7 Internationaler Vergleich 46

4.8 Empfehlungen 48

5 Schlussfolgerungen und Ausblick 51

6 Grundlagen und betrachtete Dokumente 54

Anhang A Berechnungen 58

A.1 Risiko 58

A.2 Statistische Evidenz der jüngsten Ereignisse 60

Anhang B Schwere Unfälle infolge von Signalfällen 61

B.1 Übersicht der Unfälle auf dem SBB-Netz 61

B.2 Lenzburg, 12.12.2012 (Streifkollision) 61

B.3 Neuhausen, 10.01.2013 (Streifkollision) 62

B.4 Granges-Marnand, 29.07.2013 (Frontalkollision) 62

Anhang C ETCS Migrationsstrategie der SBB 64

Anhang D Zugsbeeinflussungssysteme ausgewählter ausländischer Bahnen 69

Anhang E Anwendung von Gruppenausfahrsignalen in Deutschland 74

1 Einleitung

Die SBB haben bereits in den 1990er Jahren damit begonnen, die Zugbeeinflussung in mehreren Etappen nach dem Prinzip der risikoorientierten Ausrüstung auszubauen. Dabei haben sie stets steigenden Sicherheitsanforderungen, resultierend primär aus dichteren Fahrplänen und schnelleren Zügen, Rechnung zu tragen. Ein wichtiger Indikator für die Bahnsicherheit in diesem Bereich sind die Signalfälle, welche zu Zugskollisionen führen können.

Die aktuellen Zugskollisionen bzw. Flankenfahrten in Neuhausen, Lenzburg und in Granges-Marnand veranlassten die SBB, das Restrisiko im Zusammenhang mit der Zugbeeinflussung noch detaillierter zu analysieren und zusätzliche Risikoreduktionsstrategien zu prüfen.

In diesem Zusammenhang wurde die Emch+Berger AG Bern und das Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung der TU Braunschweig (als Subakkordant) von den SBB beauftragt, ein externes Gutachten zu den Themen „*risikoorientierte Ausrüstung Zugbeeinflussung*“ und „*internationaler Vergleich Kollision infolge Signalfällen*“ zu verfassen.

2 Begutachtungsgegenstand, Ziele und Vorgehensweise

2.1 Begutachtungsgegenstand und Ziele

Das vorliegende Gutachten untersucht zwei Hauptaspekte:

- Aspekt „*Risikoorientierte Ausrüstung Zugbeeinflussung“*
  Das Gutachten soll die bisherige Zugbeeinflussungsstrategie der SBB unter Berücksichtigung der Aspekte Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und State of the Art kritisch beurteilen. *Dabei soll geprüft werden, ob die strategische Ausrichtung der SBB der Risikosituation entspricht oder ob wichtigen Eigenschaften des Zugbeeinflussungssystems oder Risikofaktoren zu wenig Beachtung geschenkt wurden. Es sollen allfällige Unklarheiten oder Lücken, welche zu einer Neubeurteilung der Strategie führen könnten, aufgezeigt werden.*

sowie

- Aspekt *„Internationaler Vergleich Signalfälle“*
  Dabei soll eine internationale Standortbestimmung der Häufung, Ausmasse und Ursachen von Zugkollisionen nach Signalfällen und der abgeleiteten Konsequenzen unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Rahmenbedingungen beschrieben werden. Es soll beurteilt werden, wo die SBB im internationalen Umfeld bzgl. Häufung von Kollisionen unter Berücksichtigung deren Ausmasse und Ursache liegen.

Schlussendlich sollen die Erkenntnisse aus diesem Gutachten die Position der SBB im Vergleich zu den anderen Bahnen und zum State of the Art belegen und Antworten auf sog. „Schlüsselfragen“ liefern (siehe Kapitel 4) , die die SBB vorgegeben und im Laufe der Auftragsbearbeitung noch erweitert und ergänzt haben.

2.2 Vorgehensweise

Für den Aspekt *„Risikoorientierte Ausrüstung Zugbeeinflussung“* werden in einem ersten Schritt die bisherigen Analysen der SBB ausgewertet und die abgeleiteten Strategien und

eingesetzten Tools geprüft. Es wird analysiert, ob die zugrunde gelegte Methodik die Risikosituation korrekt wiedergibt und die Ergebnisse den aktuellen Randbedingungen entsprechen.

Der Begriff „State of the Art“ wird zunächst als Stand derjenigen Technik definiert, welche eine ausreichende Systemreife erreicht hat und keine Entwicklungsrisiken mehr impliziert. Es werden nicht die Techniken an sich, sondern die Funktionalitäten verglichen. Dabei wird unterschieden nach der systemtechnisch *erreichbaren* und der *tatsächlich realisierten* Funktionalität. Die aktuell im Einsatz befindlichen Zugbeeinflussungstechniken von 15 europäischen Eisenbahnen werden hinsichtlich ihrer Schutzfunktionen (sog. Grundanforderungen) sowie auch ergänzender Parameter verglichen. Die Standortpositionierung der SBB wird anhand der Bewertung der tatsächlich realisierten Qualität der einzelnen Schutzfunktionen gegenüber der jeweiligen Bestmarke vorgenommen. Im Rahmen von Recherchen sowie Workshops wird weiterhin ermittelt, ob die von den SBB vorgesehene Ausrüstungsstrategie und die Projektierungsrichtlinien allenfalls Handlungsbedarf erfordern. In diese Überlegungen wird die geplante netzweite Einführung von ETCS einbezogen.

Für den Aspekt *„Internationaler Vergleich Signalfälle“* erfolgt zuerst eine Auswertung der vorhandenen Ereignisdaten der SBB über deren Signalfälle. Es werden Häufung, Ausmasse und Ursachen von Zugkollisionen nach Signalfällen ermittelt bzw. analysiert. Aus dem Vergleich der Signalfälle der SBB mit denjenigen anderer Bahnen wird beurteilt, wie die SBB im internationalen Umfeld bzgl. der Häufung Kollisionen mit Berücksichtigung derer Ausmasse und Ursache steht.

Basierend auf den Erkenntnissen aus der State of the Art-Bestimmung (Aspekt *„Risikoorientierte Ausrüstung Zugbeeinflussung“*) und dem internationalen Benchmark der Signalfälle (Aspekt „Internationaler Vergleich Signalfälle“) werden die *Schlüsselfragen* beantwortet:

- Wie sind die SBB im Rahmen eines Benchmarks der Zugbeeinflussungssysteme positioniert?
- Haben die SBB die Risikosituation richtig erfasst und daraus die richtige Strategie zur Nachrüstung der Zugbeeinflussungssysteme abgeleitet?
- Haben die SBB diese Strategie richtig implementiert und dabei die massgebenden Prozesstreiber und Einflussfaktoren identifiziert?

2.3 Abgrenzung

Nicht Bestandteil dieser Begutachtung sind:

- Arbeitspsychologische Aspekte, welche im Rahmen des separat ausgeschriebenen Teilprojekts „Arbeitsumfeld Lokführer“ behandelt werden.
- Verifizierung von Beiwerten und Formeln, die die SBB im Rahmen der eingesetzten Rechentools (Bsp.: I-20027) verwenden.
- Kostenkalkulation der geplanten Massnahmen (Beispiel: die im Rahmen der Kosten-Wirksamkeit-Verhältnisse zugrunde gelegte Kostenkalkulation einzelner Signalausrüstungen).

3 Ausgangslage und Feststellungen

3.1 Ausgangslage

Auf dem Schweizer Eisenbahnnetz ereignen sich pro Jahr durchschnittlich 105 Unfälle. Dabei sind im Schnitt 22.3 Todesopfer (ohne Suizide) und 49.3 Schwerverletzte pro Jahr [53] zu beklagen. Von diesen Unfällen sind aber nur rund 30-50% Unfälle der SBB. Dies ist verhältnismässig wenig, da die SBB mit Abstand den grössten Anteil des Eisenbahnverkehrs auf dem Schweizer Eisenbahnnetz abwickeln.
Die häufigsten Unfälle auf dem Schweizer Eisenbahnnetz sind „Personenunfälle wegen Gleisüberquerung oder Aufenthalt im Lichtraumprofil“ (23%), gefolgt von „Zusammenstössen auf Bahnübergängen“ (11%), „Zusammenstössen beim Rangierdienst“ (9.1%) und „Personenunfälle beim Ein- und Aussteigen (9.1%). Unfälle infolge von Signalfällen treten verhältnismässig selten auf und spielen dabei eher eine untergeordnete Rolle. Bei den SBB waren dies 7% der Unfälle im Jahr 2011 und 4% im Jahr 2012. Dies ergibt durchschnittlich zwei Unfällen pro Jahr infolge von SBB-Signalfällen. Im Zeitraum der Erhebungen (2007-2012)[4] kam es bei Unfällen infolge von SBB-Signalfällen zu drei Schwerverletzten und es gab kein Todesopfer. Trotzdem erregen solche Ereignisse in der Regel sehr grosses Medieninteresse. So war der Auslöser für die Beauftragung des vorliegenden Gutachtens denn auch die aktuellen Zugskollisionen bzw. Flankenfahrten infolge von Signalfällen auf dem Netz der SBB in Lenzburg, Neuhausen und neulich in Granges-Marnand.

Der Unfall in Lenzburg ereignete sich am 12.12.2012. Ein Güterzug der SBB-Cargo fuhr an einem Halt zeigenden Ausfahrsignal vorbei und kollidierte dabei seitlich mit einer leeren S-Bahn-Komposition von SBB P. Es entstand erheblicher Sachschaden an der Infrastruktur, Personenschäden waren hingegen keine zu beklagen [47].

Die Zugskollision in Neuhausen fand am 10.01.2013 statt und betraf die S33 (Thurbo) und die S11 (SBB). Das Ausfahrsignal, welches aufgrund der aus der Gegenrichtung ankommenden S11 noch auf Halt stand, wurde von der S33 übersehen, sodass es im Bereich einer Weiche zur Kollision mit der S11 kam. Insgesamt gab es 26 Verletzte, die beiden Lokführer blieben dank rascher Reaktion unverletzt. An den Fahrzeugen und der Infrastruktur (Fahrleitung, Fahrbahn) entstand Sachschaden mit einer geschätzten Schadensumme von mehr als CHF 7 Mio.[43], [47].

Der Unfall bei Granges-Marnand ereignete sich am 29.07.2013, wobei ein SBB Regionalzug (S21) mit einem einfahrenden RegioExpress im Bereich einer Weiche kollidierte. Ein Lokführer starb, daneben gab es 26 Verletzte. Die S21 ist bei Halt zeigendem Ausfahrsignal (Gruppensignal) abgefahren. Das Ausfahrsignal und die Zugbeeinflussung Signum befinden sich nach dem Gefahrenpunkt [48].

Detailliertere Angaben zu diesen Unfällen sind im Anhang B aufgeführt.

Als Folge dieser Unfälle haben die SBB eine Serie von Massnahmen eingeleitet, um die von Signalfällen ausgehenden Risiken rascher als bisher geplant abzubauen. Die entsprechenden Strategien und getroffenen Massnahmen werden nachfolgend beschreiben.

[4] Das Jahr 2013 wird in den statistischen Auswertungen noch nicht berücksichtigt, da noch keine Zahlen für das ganze Jahr vorliegen.

3.2 Bisherige Strategie der risikoorientierten Ausrüstung Zugbeeinflussung

Seit 1935 setzten die SBB das Zugbeeinflussungssystem SIGNU und seit gut 20 Jahren abschnittsweise Geschwindigkeitsüberwachung (ZUB) ein. In den 90er Jahren wurde von Ernst Basler+Partner eine Methodik für die risikoorientierte Ausrüstung erarbeitet [22],[23], [24], nach welcher die Ausrüstung mit ZUB121 geplant wurde. Die dieser Methodik zugrundeliegende Risikoanalyse erfolgte stufenweise in vier Schritten, von einer netzweiten Betrachtung bis zum einzelnen Abschnitt resp. Hauptsignal. Dabei wurde das gewichtete Risiko pro Abschnitt monetarisiert und sogenannte Risikoeinheiten pro Jahr (RE/J) berechnet, wobei eine Risikoeinheit auf tausend Franken festgelegt wurde. Die Hauptkriterien der Risikobeurteilung sind Geschwindigkeit, Durchrutschwege[5], Anzahl Fahrten, Anlagenkonstellation und Signalart.

In Abbildung 3-1 sind die Signale auf dem SBB Netz in Abhängigkeit des Gefährdungspotenzials gemessen in Risikoeinheiten dargestellt. Diese Methodik eignet sich gut zur Identifikation von Signalen mit hohem Gefährdungspotenzial im Bereich von Risikoeinheiten >20. Es war daher folgerichtig, diese Methodik auf alle Abschnitte anzuwenden, um die gefährlichsten Punkte zu erkennen. Diese Risiken aufgrund ungenügend gesicherter Gefahrenpunkte wurden bis ca. 2005 auch entsprechend effizient abgebaut ([4], [45] oder [46]).

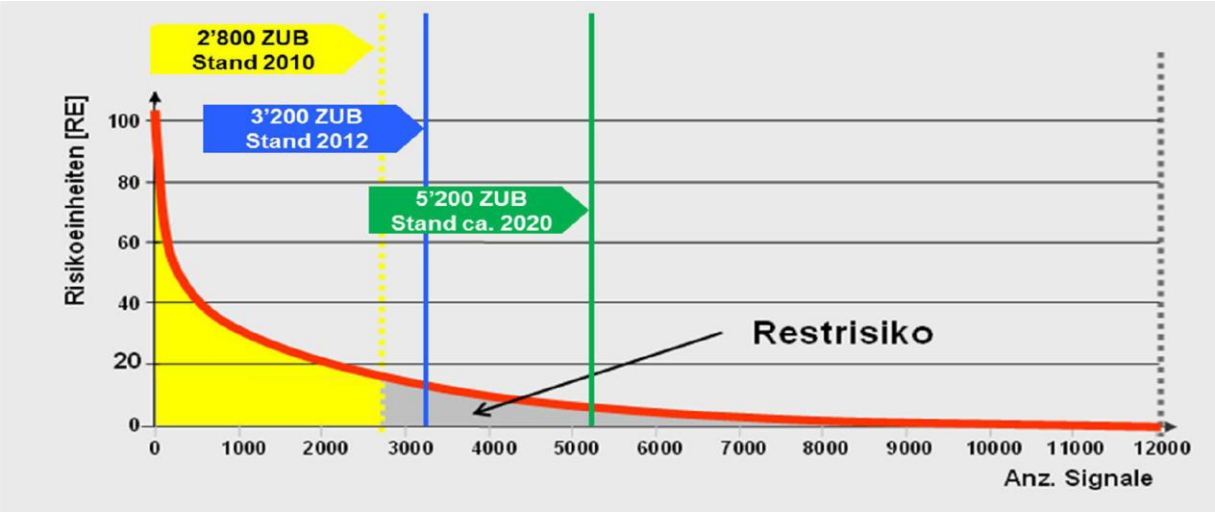


Abbildung 3-1: Signale in Abhängigkeit des Gefährdungspotenzials (ausgedrückt als Risikoeinheit pro Jahr) mit Darstellung der Anzahl ZUB Systeme nach Umsetzung der geplanten Massnahmen (vertikale Linien).Quelle: [45]

Im Bereich von Risikoeinheiten < 20 (flacher Teil der Kurve in Abbildung 3-1) genügten die ursprünglichen Kriterien aufgrund der immer vorhandenen Berechnungsungenauigkeiten nicht mehr, um eine sinnvolle Auswahl weiterer mit ZUB auszurüstender Punkte zu treffen. Von 2005 bis 2009 wurde die Methodik daher zwar noch weiter angewandt, jedoch mit stärkerer Gewichtung von Einspurstrecken und Abfahrverhinderungen.

Danach wurde die Ausrüstungsmethode mehrmals verfeinert, letztmals 2010 mit der Weisung R I-20027 [38], welche die Funktionalität und Ausrüstung der Zugbeeinflussung regelt. In der Weisung ist das Hauptkriterium der vorhandene *Durchrutschweg* in Abhängig-

[5] Als Durchrutschweg wird die Distanz zwischen dem Zugsignal und dem massgebenden Gefahrenpunkt definiert.

keit der Streckengeschwindigkeit. Die *Verkehrsdichte oder die momentane Nutzung* haben in der neuen Methodik nur noch eine *untergeordnete Bedeutung*.

Zudem leiteten die SBB nach einer Serie von 3 Unfällen im Jahr 2010 eine interne Untersuchung ein, um herauszufinden, welches Risiko im Detail durch folgende spezifische Situationen bei Signalen gegeben ist:

1. Signale ohne SIGNUM[6]
2. Geschwindigkeitsschwellen
3. Gruppensignale

   Diese Studie [35] führte zum Projekt 3S, bei dem die Sicherheit von ausgewählten Signalen so rasch wie möglich verbessert werden sollte. Nach dem Unfall in Döttingen (2011) wurde in einer zusätzlichen Studie noch die Gefährdungssituation betreffend Abfahrverhinderung bei

4. Einspurstrecken

auf 244 Bahnhöfen untersucht und das Programm in 4S umbenannt. Aufgrund dieser Studie wurden weitere Standorte mit besonders hohem Risiko ausgewählt, um diese so rasch wie möglich mit Abfahrverhinderungen auszurüsten. Das Projekt 4S beinhaltet ca. 30 Signale. Alle diese Signale wären so oder so im Rahmen der Anwendung der R I-20027 bis 2018 ausgerüstet worden. Die Umsetzung der Ausrüstung bei den meisten dieser 30 Signale ist heute (September 2013) bereits erfolgt.

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass seit den 90er Jahre bis Ende 2012 von rund 11'000 Signalpunkten gut 3’200 Punkte in folgenden Schritten mit einer Geschwindigkeitsüberwachung ausgerüstet wurden [49]:

- 1992 bis 2000: 1‘800 Signale S-Bahn Zürich (80 Mio. CHF)
- Bis 2004: 270 Signale (12 Mio. CHF)
- Bis 2011: Programm 500 A mit 625 ausgerüsteten[7] Signalen (35 Mio. CHF), eine weitergehende Ausrüstung hatte angesichts des bevorstehenden Technologiewechsels ein schlechtes Kosten-Nutzenverhältnis
- Bis 2015: ca.30 Signale (Programm 4S)
- Bis 2017: 1‘700 Signale, Synergienutzung mit ETCS Netz (50 Mio. CHF)
- Im Rahmen der laufenden Stellwerkumbauten und auf neuen Strecken wurden weitere 700 Signale mit ZUB ausgerüstet. Dies entspricht der konsequenten Umsetzung von R I-20027, welche Mitte 2010 in Kraft trat, und bei laufenden Stellwerkumbauten und auf neuen Strecken seit 2010 eingehalten wird. Dies wird so weiter praktiziert. Diese 700 Punkte sind nicht Teil des 1700 Punkte-Programms und werden in Projekten unabhängig vom ETCS Netz Rollout realisiert.

[6] Rund 600 Signale auf dem SBB-Netz [35], die mit Geschwindigkeiten von max. 40 km/h befahren werden.

[7] Bei 500A wurden schon Eurobalisen (P44) verwendet. Die alte Technologie wurde nicht mehr eingesetzt.

Heute sind also knapp 30% der Hauptsignale mit ZUB ausgestattet. Ausgehend von ca. 11‘000 Hauptsignalen bedeutet dies aber auch, dass bei mehr als 7‘000 Hauptsignalen eine Ausrüstung mit ZUB fehlt.

Das 1700 Punkte Programm ergibt sich aus einer konsequenten Anwendung der Weisung R I-20027 [38] während dem Rollout von ETCS Netz. Bei der ursprünglichen Rolloutplanung von ETCS Netz war lediglich ein 1:1 Ersatz von SIGNUM durch EuroSIGNUM und ZUB durch EuroZUB vorgesehen, ohne dabei eine Sicherheitssteigerung zu erzielen. Durch den Beschluss, die Weisung R I-20027 bereits während dem ETCS Netz Rollout anzuwenden, werden nun schätzungsweise 1’700 Signale zusätzlich mit einer Geschwindigkeitsüberwachung ausgerüstet. Rund 500 dieser Signale erhalten dabei eine Abfahrverhinderung.

Nach dem Unfall in Neuhausen wollten die SBB ferner untersuchen, wie viele weitere Gleise es auf dem SBB Netz gibt, auf denen eine „ähnliche Situationen wie in Neuhausen“ herrscht. Die Definition „ähnliche Situation wie in Neuhausen“ war aber zu ungenau, um eine klare Abgrenzung zu machen. Deshalb wurden in einer weiteren Studie gleich alle Signale untersucht, welche nach R I-20027 bis 2018 umgerüstet werden sollten. Für all diese Signale wurde das monetarisierte kollektive Risiko (MKR) nach teilweise angepasstem, detaillierten Risikomodell erneut berechnet. Auf dieser Basis sollen innerhalb der geplanten Lose die Signale - wenn möglich - risikobasiert abgearbeitet werden.
In der Praxis erweist sich diese Reorganisation von bereits geplanten Projekten aber als sehr schwierig. Oftmals kann die risikobasierte Priorisierung innerhalb der Lose daher nur punktuell berücksichtigt werden. Durch die Verzögerung bei der Bewilligung und Budgetierung des 1700-Punkte-Programms (50 Mio.) konnten bei den ersten beiden Losen des ETCS Netz Rollouts die Ausrüstung der zusätzlichen sicherheitssteigernden Punkte nicht vorgenommen werden. Diese wird voraussichtlich am Schluss des ETCS L1-Rollouts (2017/2018) noch nachgeholt.

In der nachfolgenden Abbildung 3-2 ist die Reduktion des kumulierten monetarisierten Restrisikos ausgehend von den getroffenen Massnahmen dargestellt (Berechnungsmethode siehe Anhang A). Als Vergleich dazu zeigt die grüne Linie die Zunahme des Risikos aufgrund des Mehrverkehrs, der dichteren Fahrpläne, der schnelleren Züge und der Zunahme der Signale, falls keine Massnahmen umgesetzt würden. Dabei ist ersichtlich, dass sich das Restrisiko in den nächsten 5 Jahren bei Umsetzung der geplanten Massnahmen signifikant reduziert.

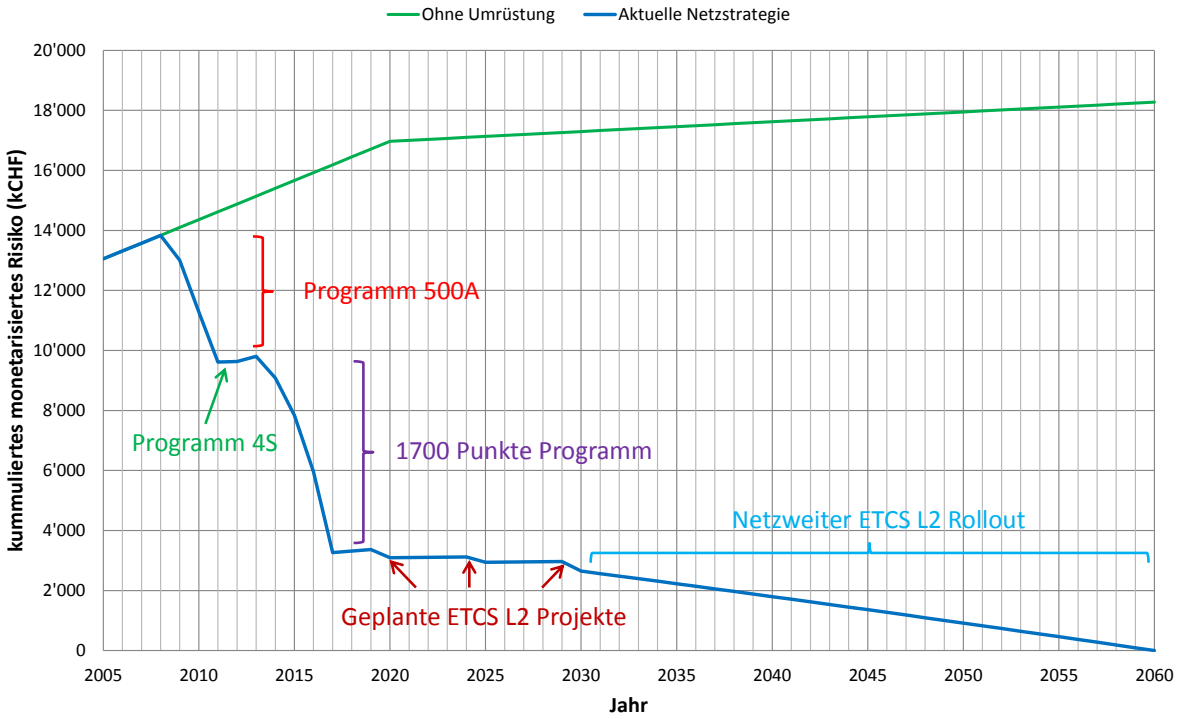


Abbildung 3-2: Verlauf des monetarisierten Restrisikos nach Umsetzung der geplanten Vorhaben und Strategien.

Gemäss Beschluss GL I vom 07.08.13 [48] war in Folge des Unfalls von Granges-Marnand bis Ende August 2013 zu prüfen, ob die im 1700-Punkte-Programm integrierte Sicherheitssteigerung (1‘700 Punkte) vor Ende 2018 umgesetzt werden kann. Gemäss I-AT-ZB sieht die angepasste Strategie nun vor, rund 40 Stellwerkprojekte von ETCS Netz vorzuziehen, welche Ausfahrten in Einspurstrecken beinhalten. Diese Abschnitte decken auch die noch vorhandenen Gruppensignalstandorte ab und betreffen auch einen grossen Teil Strecken mit unbegleitetem Verkehr.

3.3 Anwendung der R I-20027

Die R I-20027 regelt die Funktionalität und Ausrüstung der Zugbeeinflussung für die Sicherung von Abschnitten entsprechend 39.3.c Ziffer 2.2 der AB-EBV unter Berücksichtigung der Ziele der Sicherheitspolitik der SBB. Gemäss Eisenbahnverordnung Art. 5 Abs. 2 kann das BAV in Einzelfällen Abweichungen bewilligen, wenn nachgewiesen werden kann, dass der gleiche Grad an Sicherheit gewährleistet ist. Die Ausnahmefälle, wo auf eine Ausrüstung mit einer kontinuierlichen Geschwindigkeitsüberwachung oder eine Abfahrverhinderung verzichtet werden kann, werden in der R I-20027 risikobasiert hergeleitet und mittels Entscheidungsdiagrammen identifiziert.
Bei der Beurteilung der R I-20027 gilt es daher vor allem zu beachten, in welchen Bereichen Ausnahmen erlaubt sind; insbesondere bei:

- Ausrüstung von Abschnitten mit Geschwindigkeitsüberwachung
- Ausrüstungen mit einer Abfahrverhinderung

Bei der Anwendung der R I-20027 kann gem. Aussagen SBB davon ausgegangen werden, dass bei etwa *1/3 der Fälle, wo eine kontinuierliche Geschindigkeitsüberwachung vorgesehen wird, auch eine Abfahrverhinderung* installiert wird.

Bei Gruppensignalen ist der Abschnitt unmittelbar nach dem Halteort so abzusichern, dass ein Zug mit einem Zugbeeinflussungssystem überwacht wird. Abschnitte vor und nach Gruppensignalen müssen also immer mit einer Abfahrverhinderung bzw. Geschwindigkeitsüberwachung geschützt werden. Das Ansprechen der Halt-Überwachung muss beim Halteort dabei mit der Fahrerlaubnis des entsprechenden Gleises (siehe Abbildung 3-3) übereinstimmen.

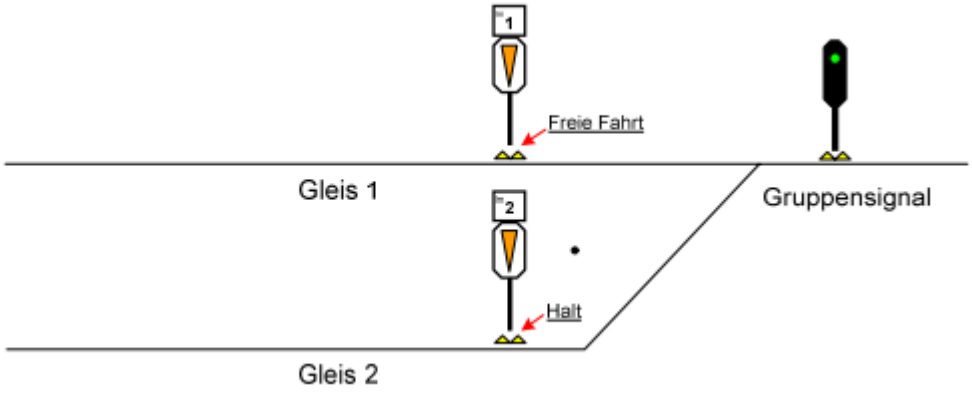


Abbildung 3-3: Halt-Überwachung bei Gruppensignalen (Beispiel aus [38])

3.4 Risikoaspekte einzelner Signaltypen

3.4.1 Einfahrsignale

Das Einfahrsignal sichert die Einfahrten in einen Bahnhof und bildet die Grenze zwischen Strecke und Bahnhof.

Gemäss der Risikoanalyse Zugsicherung von 2001 [26], welche eine vereinfachte Methodik zur Einstufung von Gefahrpunkten beschreibt, können Einfahrsignale relevante Risiken bezüglich Kollision (durchschnittlich 5.9 RE/J pro Abschnitt[8]) aufweisen.

Gemäss dem Regelwerk I-20027 [38] sind die „Merktafeln für fehlendes Vorsignal zum Einfahrsignal“ mit einer Warnung-Überwachung (beispielsweise Signum) auszurüsten.

Bei mit Merktafeln S (Fehlendes Einfahrsignal; in Bremswegentfernung folgt die erste Weiche eines Bahnhofs) ausgerüsteten Bahnhöfen werden Geschwindigkeitseinschränkungen gemäss Kapitel 13 (Überwachung von Strecken-/Bahnhofgeschwindigkeiten) von I-20027 [38] mittels kontinuierlicher Geschwindigkeitsüberwachung überwacht.

[8] Die durchschnittlichen Risiken wurden 2001 anhand von jeweils 17 repräsentativen Abschnitten ermittelt [26]. Unter diesen Abschnitten befinden sich daher auch solche mit vergleichsweise hohen Risiken, welche heute bereits ausgerüstet sind. Daher sind die Durchschnittswerte in RE/J aus heutiger Sicht zu hoch und gelten noch für das Jahr 2001. Der relative Vergleich zwischen den Signaltypen ist aber noch heute aussagekräftig.

3.4.2 Ausfahrsignale/Gleisabschnittssignale

Das Ausfahrsignal sichert die Abfahrten aus einem Bahnhof auf eine Strecke (letztes in Fahrtrichtung stehende Hauptsignal eines Bahnhofs). Gleisabschnittssignale dienen der Unterteilung von Gleisen in mehrere Abschnitte.

Gemäss [26] weisen Abschnitte nach Ausfahrsignal, resp. Gleisabschnittssignal relevante Risiken bezüglich einer Kollision auf (durchschnittlich 22 RE/J pro Abschnitt[8]), da hier nach einem Signalfall häufiger als bei anderen Signalen mit einem andern Zug innerhalb des Bremsweges gerechnet werden muss. Dabei wurde für einen Abschnitt nach einem Ausfahrsignal (resp. nach einem Gleisabschnittssignal) eine Einstufung des Kollisionsrisikos einerseits für durchfahrende Züge und andererseits für haltende Züge berechnet.

3.4.3 Blocksignale

Blocksignale sind Hauptsignale der Strecke, die die Einfahrt in einen Blockabschnitt sichern. Blocksignale stehen mindestens an allen Linienabzweigungen und Spurwechselstellen. Wenn es das Leistungsverhalten der Strecke erfordert, können zur Verkürzung der Mindestzugfolgezeiten weitere Blocksignale angeordnet werden, die nur der Zugfolgeregelung dienen und keine ortsfesten Gefahrpunkte decken.

Für Abschnitte nach einem Blocksignal wurde ebenfalls in [26] eine Einstufung des Kollisionsrisikos (durchschnittlich 8.4 RE/J pro Abschnitt[8]) berechnet. Das Risiko von Blocksignalen ist im Vergleich zu Ausfahr- und Gleisabschnittssignalen vergleichsweise gering, da bei Signalfällen seltener mit einem andern Zug innerhalb des Bremsweges gerechnet werden muss.

3.4.4 Gruppensignale

Ein Gruppensignal kann die Zustimmung zur Fahrt ab mehreren Gleisen anzeigen und findet sich nur in Bahnhöfen. Die meisten Gruppensignale sind mit einer Zusatzsignalisierung ausgerüstet, damit eindeutig erkennbar ist, ab welchem Gleis die Zustimmung zur Fahrt gilt. Es besteht jedoch die Gefährdung, dass ein Lokführer abfährt, obwohl das Fahrbegriff zeigende Gruppensignal nicht für ihn gilt. Bei Bahnhöfen mit Gruppenausfahrsignalen ist daher von einem erhöhten Risiko von Zugskollisionen auszugehen. Vor allem bei Gruppensignalen auf Einspurstrecken wird das Risiko als erhöht betrachtet, da Zugsüberholungen relativ oft vorkommen können und so die Kollisionswahrscheinlichkeit relativ hoch sein kann.

Auf dem Netz der SBB befinden sich ca. 400 Gruppensignale. Diese Gruppensignale werden teilweise nicht mit einer kontinuierlichen Geschwindigkeitsüberwachung (Euro-ZUB) resp. einer Abfahrverhinderung gegen das unerlaubte Überfahren geschützt. Die in [35] dokumentierte Risikoanalyse kommt zum Schluss, dass aus Sicht Kosten/Nutzen kein Handlungsbedarf besteht, um diese Risiken zu minimieren. Das mittlere Risiko an Gruppensignalen wird zwar höher als an den übrigen Signalen eingeschätzt. Dies „kompensiert“ jedoch nicht die höheren Kosten. Um bei einem unerwünschten Risiko den Nutzen einer möglichen Massnahme den Kosten gegenüberstellen zu können, wurde das monetarisierte, kollektive Risiko berechnet. In einem ersten Schritt wurde für alle Gruppensignale auf dem SBB-Netz erfasst [35], ob sie schon durch EuroZUB resp. einer Abfahrverhinderung geschützt sind. In einem zweiten Schritt wurde geprüft, ob eine Absicherung mit EuroZuB resp. einer Abfahrverhinderung technisch und betrieblich möglich ist. Die Gruppensignale,

welche heute nicht gesichert sind und technisch sowie betrieblich gesichert werden können, wurden danach gemäss objektiver und subjektiver Kriterien in drei Risikoklassen (relativ kleines, relativ mittelgrosses und relativ grosses Risiko) eingeteilt. Für die Gruppensignale, welche eine relativ grosse Gefährdung aufweisen, wurden vier Ereignisbäume erstellt und das kumulierte kollektive Risiko (MKR) berechnet. Die Berechnung des gesamten kumulierten, kollektiven Risikos dieser Gruppensignale ergab in etwa alle 5 Jahre einen Unfall und in etwa alle 50 Jahre ein Todesopfer. Für die Ermittlung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses wurden die Ausrüstungskosten, welche die Ausrüstung der Gleise mit einer Abfahrverhinderung beinhalten, bestimmt. Dies ist die einzige Massnahme, welche Unfälle bei Gruppensignalen mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit verhindern kann. Das daraus resultierende Kosten-Nutzen-Verhältnis ist bei allen Gruppensignalen grösser als 1. Es ist jedoch festzuhalten, dass bei der Anwendung der R I-20027 Abschnitte vor und nach Gruppensignalen immer mit einer Geschwindigkeitsüberwachung geschützt werden müssen.

3.5 Technologie der Zugbeeinflussung

3.5.1 Übergeordnete Betrachtung

Die Zugbeeinflussung hat die primäre Aufgabe, beim Nichtbeachten von sicherheitsrelevanten Fahraufträgen das Fahrzeug direkt zu beeinflussen. Es wird generell nach punktförmiger und linienförmiger Zugbeeinflussung unterschieden, wobei bei einigen Bahnen auch eine Kombination aus punkt- und linienförmiger Zugbeeinflussung – letztere zur Übertragung der Signalaufwertung auf das Triebfahrzeug - eingesetzt wird.

Bei den punktförmigen Systemen erfolgt die Informationsübertragung zwischen Fahrzeug und Fahrweg an diskreten Punkten (beispielsweise an Vor- und Hauptsignalen oder an Geschwindigkeitsüberwachungspunkten). Der Hauptzweck der rein punktförmig wirkenden Systeme ist die Verhinderung von Signalfällen. Moderne punktförmige Zugbeeinflussungssysteme können im Bereich vor den Hauptsignalen durch eine linienförmig wirkende Infill-Funktion ergänzt werden, um Signalaufwertungen zur Betriebsbeschleunigung unmittelbar auf das Triebfahrzeug übertragen zu können. Die linienförmige Übertragung ist dabei im Gegensatz zu einer echten linienförmigen Zugbeeinflussung auf wenige hundert Meter begrenzt.

Bei den linienförmigen Zugbeeinflussungssystemen erfolgt der Informationsaustausch kontinuierlich entlang der Strecke. Die im Hochgeschwindigkeitsverkehr benutzten Zugbeeinflussungssysteme arbeiten durchwegs linienförmig. Dabei ist das Prinzip der linienförmigen Zugbeeinflussung stets mit einer Führung des Zuges durch die Führerstandsignalisierung kombiniert, so dass ortsfeste Signale entbehrlich sind.

Es gibt jedoch in Europa auch Bahnen, die linienförmige Zugbeeinflussungssysteme einfacherer Ausführung als Standardsystem im konventionellen Netz verwenden. Punktförmige Zugbeeinflussungsysteme werden bei diesen Bahnen in der Regel überhaupt nicht benutzt.

Diese einfachen linienförmigen Zugbeeinflussungssysteme unterscheiden sich von den im Hochgeschwindigkeitsverkehr üblichen in zwei wesentlichen Punkten:

a) Die Führerstandsignalisierung ist vereinfacht und bietet keinen vollständigen Ersatz der ortsfesten Signalisierung. Eine Ankündigung Halt zeigender Signale ist immer vorhan-

den, es sind aber meist nicht alle Geschwindigkeitsstufen des ortsfesten Signalsystems darstellbar.

b) Die Überwachungskurven beschränken sich meist auf die Überwachung einer festen Geschwindigkeit in einem Abschnitt zwischen zwei Signalen. Unterhalb bestimmter Geschwindigkeiten werden oft überhaupt keine Zwangsbremsungen mehr ausgelöst, auch nicht bei Signalfällen.

Die Sicherheitsphilosophie dieser Anlagen unterscheidet sich grundlegend von den punktförmigen Systemen, ist aber letztlich in ihrer Wirkung nicht weniger erfolgreich. Das entscheidende Element ist nicht die Überwachung und das Auslösen von Zwangsbremsungen, sondern die Führerstandsignalisierung. Während die Sicherheitsstrategie der punktförmigen Systeme darauf zielt, den *Triebfahrzeugführer im Hintergrund zu überwachen und bei Fehlern durch Zwangsbremsungen einzugreifen*, verfolgen die einfachen linienförmigen Systeme das Ziel, *Fehler des Triebfahrzeugführers, die zu Signalfällen führen, von vornherein zu vermeiden.*

Häufige Fehler, die zu Signalfällen führen, sind:

- Übersehen des Signalbegriffs „Warnung“
- Signalverwechselungen bei parallelen Gleisen.

Beide Fehler werden durch die Führerstandsignalisierung vermieden, so dass der Sicherheitsgewinn trotz der eingeschränkten Überwachungsfunktionen sehr hoch ist. Diese Sicherheitsphilosophie ist vor allem in Osteuropa durch die frühere Orientierung am Vorbild der ehemaligen sowjetischen Eisenbahnen verbreitet. Aber auch einige westeuropäische Bahnen folgen diesem Prinzip.

Es gibt somit in Europa auf konventionellen Strecken *zwei sehr unterschiedliche Sicherheitsphilosophien bei der Funktionalität der Zugbeeinflussung*, die aber in ihrem praktischen Sicherheitsnutzen *vergleichbar* sind. Darauf wird im Kapitel 3.8 eingegangen.

3.5.2 Zugbeeinflussung bei den SBB

Auf eine dezidierte Beschreibung der einzelnen Technologien bei den SBB wird verzichtet. Vielmehr wird ein Überblick über die Prinzipien und die Funktionalität der Zugbeeinflussung in Abhängigkeit von der jeweiligen technischen Realisierung gegeben [49].

Im Netz der SBB sind aus der Familie der punktförmigen Zugbeeinflussungstechnik Signum und ZUB121 eingebaut. Im Zuge der ETCS L1-Migrationsstrategie werden streckenseitig EuroSIGNUM P44 bzw. EuroZUB P44 eingesetzt, die zum jeweiligen SIGNUM oder ZUB121 bereits Hardwarekomponenten des ETCS L1 (LEU, Balisen) einschliessen. Dabei sind die SIGNUM bzw. ZUB-spezifischen Informationen in einem länderspezifischen Teil des ETCS-Übertragungstelegramms (Paket 44) enthalten. Diese werden fahrzeugseitig mit einem Eurobalise-Transmission-Module (ETM) für das bestehende SIGNUM bzw. ZUB-Gerät auf dem Fahrzeug umgewandelt. Damit wird sichergestellt, dass Fahrzeuge mit diesen Geräten auf konventionell (SIGNUM/ZUB) wie auch auf ETCS-ausgerüsteten Strecken fahren können.

Die kontinuierliche Zugbeeinflussung ist durch ETCS L2-Technik auf der NBS Mattstetten-Rothrist sowie im Lötschberg Basistunnel realisiert.

Aktuell sind alle Signale auf dem SBB-Netz, welche mit mehr als Tempo 40 km/h befahren werden, mindestens mit dem System SIGNUM ausgerüstet. Ein Drittel dieser Signale sind heute zudem mit ZUB ausgerüstet [45].

Technologie Zugbeeinflussung	Anzahl ausgerüsteter Signalpunkte
SIGNUM	10‘521
SIGNUM bei BÜ und signalmässigem 1-Spurbetrieb	605
ZUB (per Ende 2012)	3‘314
davon mit Abfahrverhinderung	ca. 1/3 von 3‘314
ETCS L2	173

Tabelle 3-1: Mengengerüst Zugbeeinflussungen im Netz der SBB gem. [45]

In punktförmigen Zugbeeinflussungssystemen können folgende *Funktionen* realisiert sein:

- Wachsamkeitsprüfung bei Signalbegriff „Warnung“
- Zwangsbremsung bei Signalfällen (Fahrsperre)
- Geschwindigkeitsüberwachung mit kontinuierlicher Bremskurve im Bremsweg (nicht nur punktuelle Prüfung)
- Schutz vor Anfahrt gegen Halt zeigendes Signal

Darüber hinaus bieten viele punktförmige Systeme - unabhängig von Hauptsignalen - auch die Möglichkeit einer punktförmigen Überwachung von Geschwindigkeitsschwellen.

Die im Netz der SBB eingesetzten punktförmigen Zugbeeinflussungssysteme decken folgende Funktionen ab:

Funktion:	Sichergestellt durch:
Überwachung Halt/Warnung	SIGNUM/EuroSIGNUM; ETCS L1 LS
Geschwindigkeitsüberprüfung mit kontinuierlicher Bremskurve	ZUB121/EuroZUB ETCS L1 LS (mit Loop)
Wirksamer Schutz bei Anfahrt gegen Halt zeigendes Signal	ZUB121 *mit Abfahrverhinderung* ETCS L1 LS *Abfahrverhinderung*

Tabelle 3-2: Zugbeeinflussungssysteme und deren Funktionen

Im SBB-Netz werden also unterschiedliche Konfigurationen von Zugbeeinflussungen eingebaut, so z.B. SIGNUM, EuroSIGNUM P44, EuroZUB P44 *mit oder ohne* Abfahrverhinderung. Darauf wird im Kontext der Bewertung und des Vergleichs mit anderen Bahnen im Kapitel 3.8.2 eingegangen.

3.6 Migrationsstrategie ETCS

Die Zugbeeinflussungstechnologie bei den SBB steht im direkten Zusammenhang mit der übergeordneten Strategie der Sicherungsanlagen und damit mit dem europäischen Zugssteuerungs- und Zugsicherungssystem ETCS.

Hier wird nicht auf die technischen Eigenheiten der ETCS-Technologie eingegangen – vielmehr werden die Auswirkungen der ETCS-Migrationsstrategie auf die eingebaute Zugbeinflussungstechnologie der SBB aufgeführt.

Da ETCS der zukünftige Standard einer Europäischen Zugsteuerungs- und –sicherungstechnik werden soll, werden Entscheide für den Einbau insbesondere auf Verkehrskorridoren durch die Schweiz mit internationaler Bedeutung sowie Systementscheide übergeordnet durch das BAV vorgegeben. Die Umsetzung dieser Stossrichtungsvorgaben obliegt den SBB, die hierfür eine geeignete Strategie ausarbeiten und umsetzen.

Folgende Entscheide seitens BAV und SBB wurden seit dem Jahr 2000 gefällt (detailliertere Angaben dazu im Anhang C):

- Januar 2000, BAV, „Migration der Zugsicherung von SIGNUM, ZUB zu ETCS“
- Mai 2002: GL der SBB, Strategie Infrastruktur; neue Technologien
- November 2005; GL der SBB, Projekt Weiterentwicklung Zugsicherung unter dem Aspekt der Sicherheit
- März 2006: Gl der SBB, Konzept zur weiteren Umsetzung des European Train Control Systems ETCS auf dem Normalspurnetz der Schweiz
- April 2008, GL der SBB „Konzept zur weiteren Umsetzung des European Train Control Systems Anpassung der Umsetzungsschritte
- Juni 2009, Informationsvorlage an den CEO der SBB, Migration zum European Train Control System (ETCS) – Stand der Umsetzung des Programms ETCS Netz
- Mai 2012, BAV, Richtlinie: Zugbeeinflussung im schweizerischen Normalspur-Eisenbahnnetz Migration von SIGNUM / ZUB zu ETCS L1 LS

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass von Anfang an die wichtigsten Treiber für die ETCS-Strategie wie folgt festgelegt wurden:

- Der Substanzerhalt: ZUB und SIGNUM stehen am Ende ihrer Lebensdauer, weisen immer schlechtere Verfügbarkeit auf und wurden teilweise vom Systemlieferanten abgekündigt.
- vereinfachter Netzzugang (insb. auch für inländische Bahnen)
- Interoperabilität mit Fokus auf dem grenzüberschreitenden Verkehr

Höhere Kapazität spielt als Treiber erst ab 2025 eine Rolle. Der Zuwachs an Sicherheit wird dagegen im Rahmen des sog. 500A-Programms und des neuen Sicherheitssteigerungsprogramms 1‘700 Punkte als Argument herangeführt. Bei der Gesamtstrategie und den – wenigen - Kursanpassungen ist hervorzuheben, dass der Aspekt der Fahrzeugausrüstung mit einem einheitlichen Zugsicherungssystem als ein entscheidender Erfolgsfaktor für die Zugbeeinflussungsstrategie immer und gesamthaft mitberücksichtigt worden ist.

Es ist - im Zusammenhang mit der ETCS-Strategie im generellen sowie mit der Zugsbeeinflussung - auf einige Begleitentwicklungen und –aspekte sowie angestossene Aktivitäten hinzuweisen, die das ETCS-Umfeld bei den SBB massgeblich mitgeprägt haben:

- Elektronische Plattform für die Zugbeeinflussung (DAZU) zur Abbildung des Inventars:
  - Diese Datenbank dient als Basis für die elektronische Erfassung eingebauter Technik und Funktionalität der Zugbeeinflussung
- Periodische und ganzheitliche Auseinandersetzung mit den Faktoren, die für den dauerhaften Erfolg eines ETCS-Einsatzes entscheidend sind:
  - Eingangs zur ETCS-Strategie wurden die relevanten Erfolgsfaktoren identifiziert, die für die Implementierung von ETCS L2 wichtig sind.
  - So wurden im Jahre 2006 folgende Faktoren identifiziert:
    - Systemreife und Stabilisierung der ERTMS Spezifikation
    - Kostenreduktion bei der Systembeschaffung und Implementierung
    - Koordinierte Umsetzungsplanung in Europa mit Fokus Güterverkehr
    - Finanzielle Förderung während der Migrationsphase
    - Klare Rollenverteilung der Interessensvertreter
- Beauftragung der Lieferindustrie aus den NIP-Verträgen (NIP=Neue Industriepartnerschaft) zum netzweiten Rollout ETCS L1 LS (inkl. EuroSIGNUM-P44 und EuroZUB-P44)) im September 2011.
  - Der Rollout umfasst rund 11'000 Zugbeeinflussungsstandorte.
  - Weitere ca. 1'000 Standorte werden bei den SBB zusätzlich im Rahmen von Stellwerksersatzprojekten ausgerüstet.
- Ab 2012 wird der Perimeter im Tessin auf ETCS L1 LS sowie EuroSIGNUM-P44 und EuroZUB-P44 umgerüstet. Auf Basis dieses ersten Streckenabschnittes werden mit sogenannten „Schattenfahrten“ im 2013 durch die SBB als ETCS-Systemführer letzte Verifikationen zum funktionalen Verhalten zusammen mit ETCS-Fahrzeugausrüstungen vorgenommen.

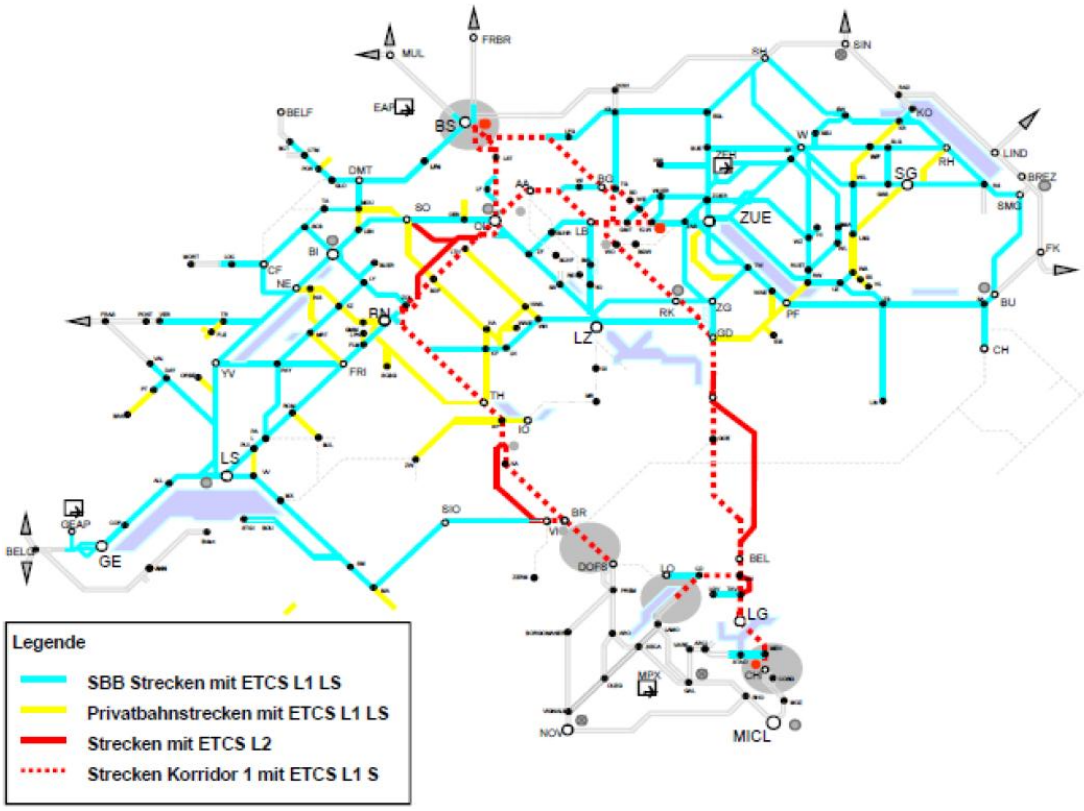


Abbildung 3-4: Nord-Süd-Güterverkehrskorridore durch die Schweiz [5]

3.7 Vergleich Signalfall- und Unfallhäufigkeit mit anderen Bahnen in der Schweiz

Ein wichtiger Indikator für die Bahnsicherheit sind die Unfälle (Zugskollisionen und Flankenfahrten), welche sich aufgrund von Signalfällen ereignen können.

3.7.1 Situation SBB

Auf dem SBB-Netz ereignen sich pro Jahr durchschnittlich rund 110 Signalfälle. Im Zeitraum zwischen 2003 und 2012 blieb diese Anzahl trotz einer deutlichen Verkehrszunahmen auf dem SBB-Netz relativ konstant, so dass weder eine signifikante Abnahme noch Zunahme beobachtet werden kann (vgl. Abbildung 3-5). Dies gilt bis jetzt auch für das Jahr 2013. Es gab damit statistisch gesehen weder ein Häufung von Signalfällen noch von Unfällen infolge von Signalfällen (siehe Anhang A.2).

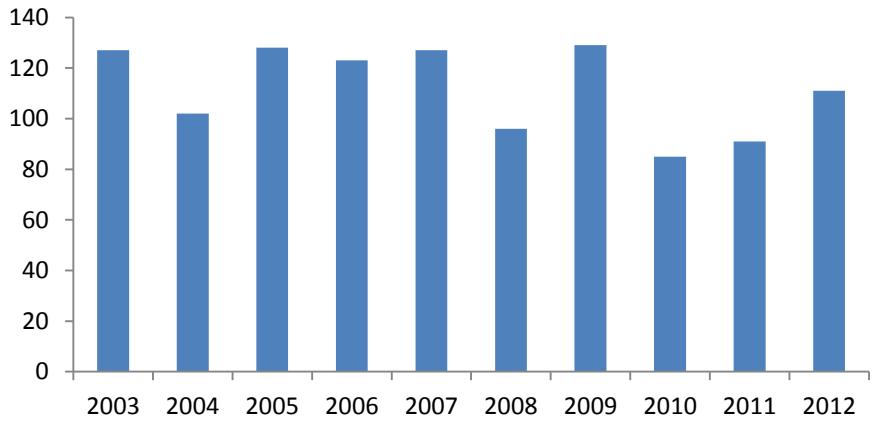


Abbildung 3-5: Entwicklung der Signalfälle auf dem SBB-Netz

Die Hauptursachen dieser Signalfälle sind „nicht Beachten des Signals“ und „verspätetes Beachten des Signals“ (vgl. Abbildung 3-6).

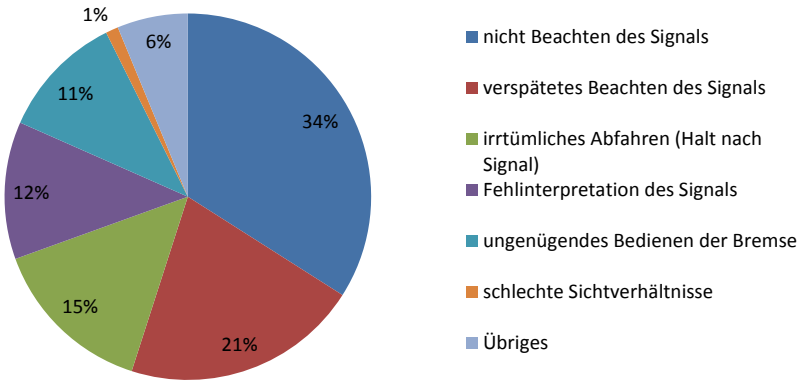


Abbildung 3-6: Ursachen für Signalfälle auf dem SBB-Netz

Absolut gesehen treten Signalfälle am häufigsten bei Ein- und Ausfahrsignalen auf, Signalfälle bei Gleisabschnitt- und Blocksignalen sind weniger häufig (vgl. Abbildung 3-7).

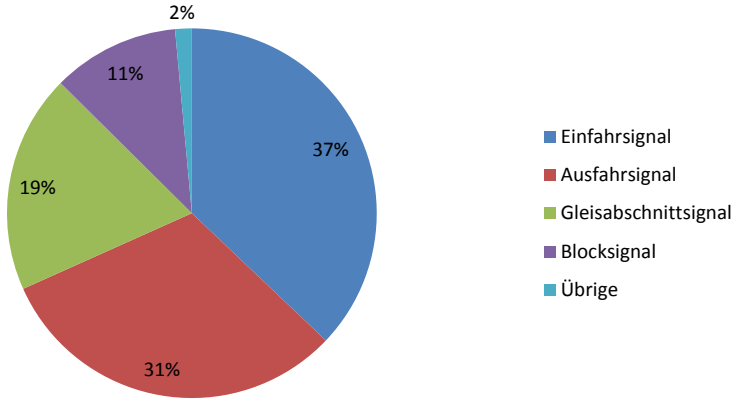


Abbildung 3-7: Signalfälle auf dem SBB-Netz nach Signaltyp

Allerdings sind Ein- und Ausfahrsignale auch die häufigsten Abschnittstypen im SBB-Netz: Wird das Mengengerüst der verschiedenen Abschnittstypen (Tabelle 3-1) bei der Analyse berücksichtigt, so fällt auf, dass Signalfälle bei Gleisabschnittsignalen deutlich häufiger auftreten als bei den übrigen Abschnittstypen (Abbildung 3-8).

Tabelle 3-1: Anzahl der nicht abgesicherten Abschnitte und deren mittlere Anzahl Signalfälle / Jahr

Abschnittstyp	Nicht gesicherte Abschnitte [28]	Anzahl Signalfälle / Jahr	Anzahl Unfälle / Jahr	Signalfälle/ Signal und Jahr
Gleisabschnittsignal	400	22.1	0.381	0.05525
Einfahrsignal	2150	42	0.095	0.01953
Ausfahrsignal	2400	35.6	1.523	0.01483
Blocksignal	1550	12	0	0.00774
Total	**6500**	**112**	**2**	

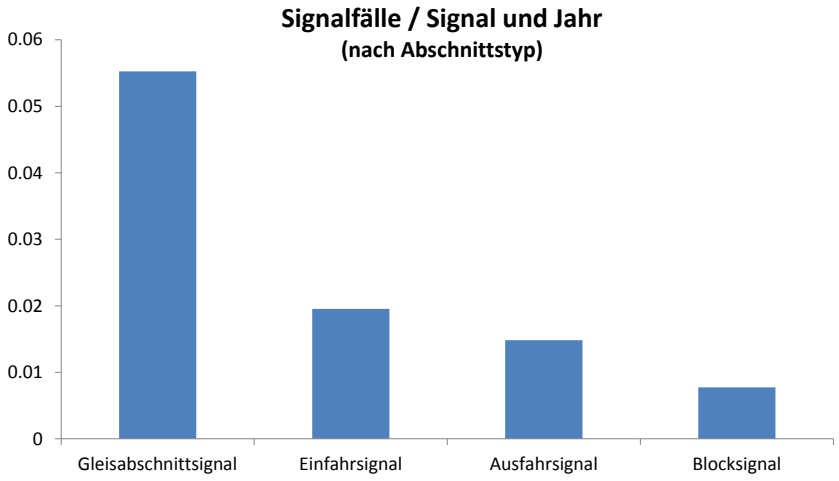


Abbildung 3-8: Signalfälle / Signal und Jahr nach Abschnittstyp

Pro Jahr ereignen sich auf dem SBB-Netz im Durchschnitt knapp 2 Unfälle infolge von Signalfällen, dies entspricht rund 1.5 Unfällen pro 100 Mio. Zugskilometern (vgl. Abbildung 3-9).

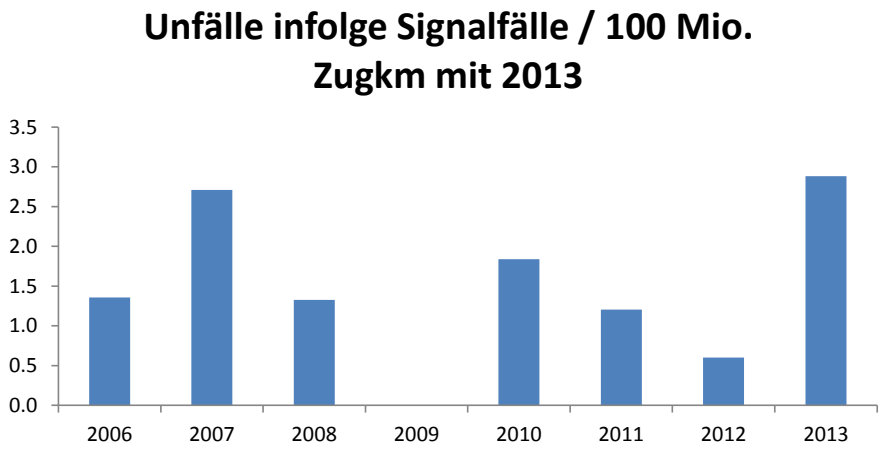


Abbildung 3-9: Unfälle in Folge von Signalfällen auf dem SBB-Netz

Unfälle nach Signalfällen sind zufallsbedingt und ihre Zahl ist daher Schwankungen unterworfen. Für den Anstieg im Jahre 2013 sind keine besonderen Umstände erkennbar. Zwischen 2003 und 2013 gab es 21 Unfälle, davon 15 Kollisionen und 14 Entgleisungen, d.h. durchschnittlich 1 Unfall auf 55 Signalfälle, 1 Kollision auf 77 Signalfälle, 1 Entgleisung auf 82 Signalfälle. 11 der Unfälle wurden durch den Güterverkehr, 8 durch Personenverkehr, und 2 durch SBB Infrastruktur verursacht.
16 Unfälle ereigneten sich bei Überfahren eines Ausfahrsignals, 4 bei Gleisabschnittsignalen und 1 bei einem Einfahrsignal. Obschon es bei Ausfahrsignalen verhältnismässig wenig Signalfälle gibt (vgl. Abbildung 3-8), treten bei missachteten Ausfahrsignalen viel häufiger Unfälle auf als bei den anderen Signaltypen (4.3% der Signalfälle bei Ausfahrsignalen führen zu einem Unfall).
Bezüglich Gruppenausfahrsignalen lasst sich folgendes festhalten. Laut Signalstatistik der SBB [35] gibt es durchschnittlich nur 3 Signalfälle pro Jahr bei Gruppenausfahrsignalen und in 8 Jahren gab es 2 Unfälle (ohne Unfall in Granges-Marnand, welcher ohnehin nicht den Gruppensignal-Signalfällen zugewiesen werden kann). Das sind 2/(3*8)= 0.0833 (8.33%) Unfälle pro Signalfall, was im Vergleich zu anderen Signalen hoch ist. (z.B. Ausfahrsignale 4.3%, Gleisabschnittsignale 1.7%, Einfahrsignale 0.23%).
Ausfahrsignale (inkl. Gruppenausfahrsignale) und Gleisabschnittsignale sind daher statistisch betrachtet gefährlicher. Hier hat eine Risikominimierungsstrategie anzusetzen.

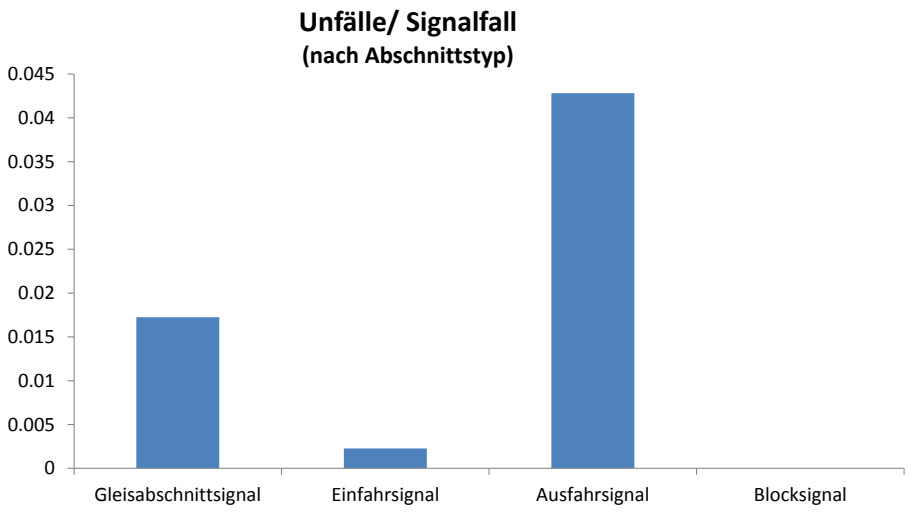


Abbildung 3-10: Unfälle pro Signalfall (nach Abschnittstyp)

Gefährlicher als Ausfahrsignale sind im Prinzip noch die Gleisabschnittsignale. Es gibt zwar nur verhältnismässig wenige davon (Tabelle 3-1), aber diese Signale werden am häufigsten missachtet (Abbildung 3-8) und die Unfallrate pro Signal ist im Vergleich zu den anderen Abschnittstypen durchschnittlich am höchsten (Abbildung 3-11).

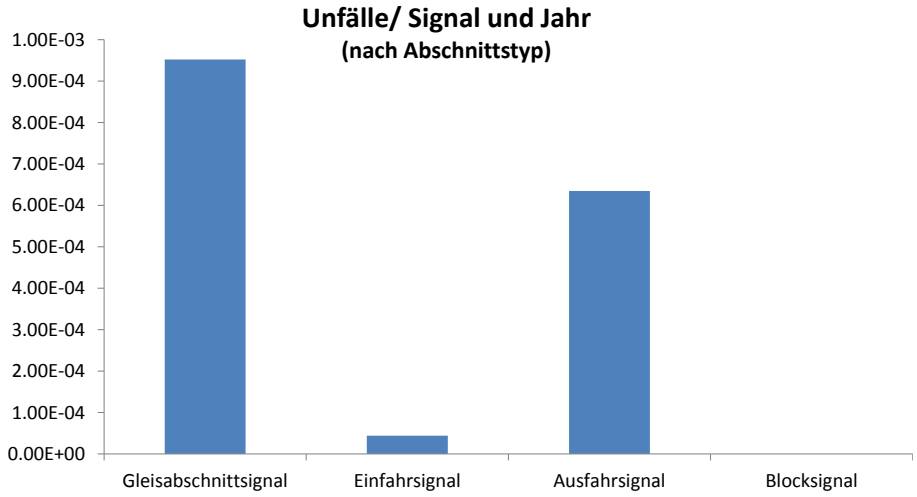


Abbildung 3-11: Unfälle pro Signal zw. 2003-2013 (nach Abschnittstyp)

Zusammenfassend kann folgendes festgehalten werden:
Die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls bei einem Signalfall beträgt insgesamt ca. 1.8%. Von den im Durchschnitt resultierenden 2 Unfällen pro Jahr treten 95% bei Ausfahr- oder Gleisabschnittssignalen auf; nämlich 76% bei Ausfahrsignalen und 19% bei Gleisabschnittsignalen. Bei Einfahrsignalen gibt es dagegen verhältnismässig viele Signalfälle, aber es kommt nur selten zu Unfällen, da in der Regel der Durchrutschweg genügend lang ist. Am anfälligsten auf Signalfälle sind die Gleisabschnittsignale (vgl. Abbildung 3-8). Da der Durchrutschweg bei Gleisabschnittsignalen meistens sehr kurz ist, kommt es verhältnismässig auch zu relativ vielen Unfällen pro Signalfall. Bei Ausfahrsignalen sind Signalfälle zwar etwas seltener als bei Gleisabschnittsignalen, die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls bei einem Signalfall ist mit rund 4% aber sehr gross. Dies ist einerseits auf die teilweise kurzen Durchrutschwege zurückzuführen, andererseits auf die Tatsache, dass es insbesondere

bei Einspurstrecken an Bahnhöfen oft zu Zugskreuzungen kommt, so dass bei einer frühzeitigen Abfahrt die Wahrscheinlichkeit gross ist, dass ein kreuzender Zug entgegen kommt oder ein anderer Zug gleichzeitig ausfährt.
Als unproblematisch können die Blockabschnittsignale eingestuft werden. Bei diesen Signalen kommt es nur sehr selten zu Signalfällen, weil sie in der Regel grün zeigen (grüne Welle). Wenn es trotzdem zu einem Signalfall kommt dann bleibt dies aufgrund der langen Durchrutschwege meistens ohne Folgen.

3.7.2 BLS

Bei der BLS sind per Ende 2013 von Total 1‘337 Signalen 736 mit Geschwindigkeitsüberwachung ausgerüstet (705 Euro-ZUB, 31 ZUB-121). 125 von den 705 Euro-ZUB sind bereits mit ETCS L1 LS Funktionalitäten in Betrieb. Auf der Lötschberg-Basisstrecke gibt es noch 172 Balisenpaare mit ETCS L2.

Die Ausrüstungsstrategie sieht vor, dass per Ende 2016 von 1‘337 Signalen 1‘291 mit Geschwindigkeitsüberwachung ausgerüstet sind, was einem Ausrüstungstand von rund 97% entspricht. Die Ausrüstung bis 2016 erfolgt dabei nicht risikoorientiert, sondern flächendeckend bzw. „der Reihe nach“. Dabei ist zu beachten, dass die BLS in ihrem Netz einen relativ hohen Anteil an Einspurstrecken aufweist.

Es gibt auch rund 200 Gruppensignale, jedoch besteht bei den Gruppensignalen bei Kreuzungspunkten keine Gefährdung, da bei diesen Gruppensignalen eine Abfahrverhinderung installiert ist. Dennoch ist die BLS bestrebt, die Anzahl Gruppensignale zu reduzieren.

Generell wird eine Abfahrverhinderung bei der BLS überall dort installiert, wo mit 40km/h der Durchrutschweg ungenügend ist.

Von der BLS liegen für dieses Gutachten bezüglich Signalfälle nur Zahlen für die Jahre 2009/2010 vor. Ein Vergleich der Signalfälle resp. Kollisionen zwischen SBB und BLS liefert aufgrund der beschränkten Datenlage keine statistisch signifikanten Unterschiede (vgl. Abbildung 3-12). Die Mittelwerte der BLS liegen allerdings unter denjenigen der SBB.

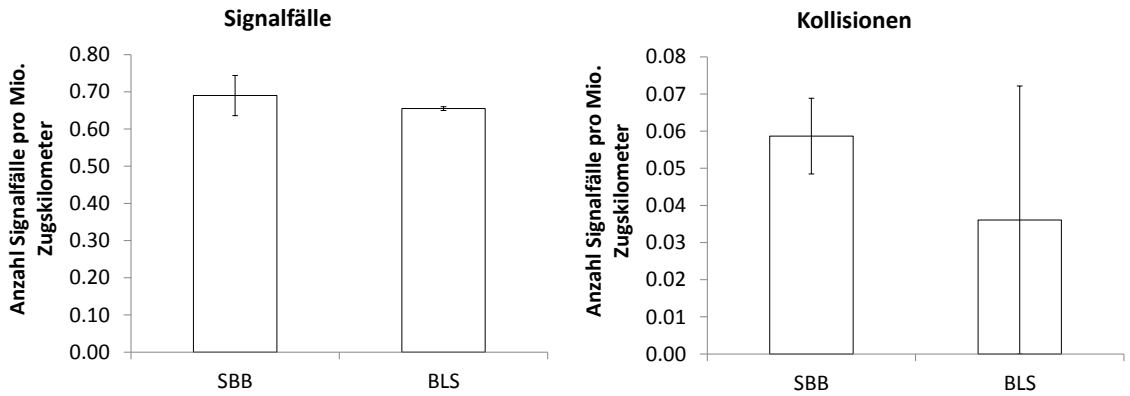


Abbildung 3-12: Vergleich SBB / BLS: Signalfälle (links) resp. Kollisionen (rechts) pro Mio. Zugskilometer. Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwerts über die betrachteten Jahre an.

3.7.3 SOB

Bei der SOB sind von 315 Signalen aktuell 78% mit EuroZUB ausgerüstet. Bis Ende Jahr soll ein Ausrüstungsgrad von 89% erreicht werden. Die Ausrüstung erfolgt nicht risikobasiert wie bei den SBB, sondern flächendeckend. Das SOB-Netz von 118 km Länge besteht hauptsächlich aus Einspursstrecken. Bei den Ausfahrsignalen werden konsequent Abfahrverhinderungen eingebaut, wenn der Durchrutschweg kleiner ist als der Bremsweg.
ETCS L1 LS soll bis 2017 flächendeckend eingeführt werden. Auf dem SOB-Netz fahren auch SBB-Züge, daher die Abhängigkeit von der ETCSL1-LS Strategie der SBB.
An 5 Bahnhöfen der SOB gibt es noch insgesamt 10 Gruppenausfahrsignale. Bei allen Gruppensignalen sind die Magnete vor dem Gefahrpunkt. Zudem sind bis auf zwei alle Gruppensignale mit ZUB ausgerüstet. Die SOB hatte 1997 letztmals einen nennenswerten Unfall in Folge eines Signalfalls auf ihrem Streckennetz zu verzeichnen. Pro Zugskilometer gerechnet hatte die SOB in den letzten vier Jahren aber vergleichbar viele Signalfälle wie die SBB (vgl. Abbildung unten).

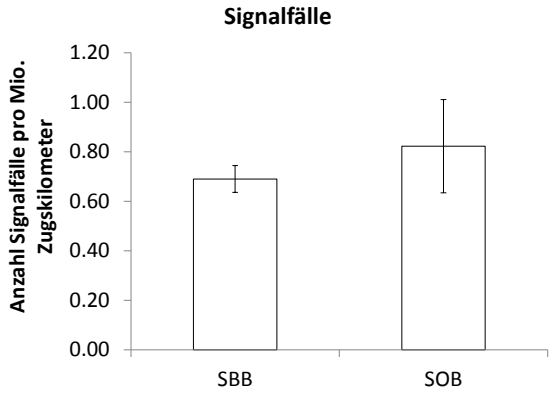


Abbildung 3-13: Vergleich SBB / SOB: Signalfälle pro Mio. Zugskilometer. Die Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwerts über die betrachteten Jahre an.

3.8 Umsetzung Zugsicherung bei den europäischen Bahnen

3.8.1 Zugbeeinflussung bei ausgewählten ausländischen Bahnen

Aufgrund der ausserordentlichen Vielfalt der bei europäischen Bahnen eingesetzten Zugbeeinflussungssysteme wurde eine sinnvolle Auswahl der zu betrachtenden Systeme getroffen. Dabei umfassen die ausgewählten Bahnen einen wesentlichen Teil des europäischen Eisenbahnnetzes und bilden einen repräsentativen Querschnitt der eingesetzten Systeme ab. Die Auswahl erfolgt dazu noch unter der Prämisse eines gewissen Bezugs zur Schweiz.
Die Wahl fiel daher auf die Bahnen des deutschsprachigen Raumes (Deutschland, Schweiz, Österreich), ihre Nachbarbahnen sowie ergänzend Grossbritannien (s. Bild 1):

Abbildung 3-14: Untersuchungsraum der Zugbeeinflussungsarten in Europa (grau)

Traditionell war die Funktionalität der Zugbeeinflussung auf die Überwachung des Bremsvorganges gegen ein Halt zeigendes Signal ausgelegt. Eine *relativ neue Entwicklung* ist die Erweiterung der Funktionalität um einen Schutz vor dem *unzulässigen Anfahren gegen ein Halt zeigendes Signal.* Bei irrtümlicher Anfahrt gegen ein Halt zeigendes Signal besteht, da die Einfahrstrasse nach dem Halt des Zuges in der Regel bereits aufgelöst ist, kein gesicherter Durchrutschweg mehr.

Zum Schutz vor dem Anfahren gegen ein Halt zeigendes Signal haben sich *zwei Methoden etabliert*, deren Anwendung stark von den technischen Möglichkeiten abhängt, diese in die bestehenden Systeme zu integrieren:

- Begrenzung der Anfahrgeschwindigkeit gegen ein Halt zeigendes Signal (Prinzip der *restriktiven Überwachung*: hierbei wird die Abfahrt zunächst nicht verhindert, aber auf eine Geschwindigkeit begrenzt, aus der der Zug bei Zwangsbremsung am Hauptsignal innerhalb einer sehr kurzen Distanz zum Halten gebracht werden kann. Beispiele sind die deutsche PZB 90 aber auch das Prinzip der Release Speed im ETCS):
    - Negative Auswirkung auf die betriebliche Leistungsfähigkeit: die restriktive Überwachung wirkt nach einem Halt auch nach Signalaufwertung, d.h., wenn das Signal auf Fahrt gegangen ist. Das Prinzip der restriktiven Überwachung wird *nur im Fahrzeuggerät realisiert und erfordert keine zusätzlichen Installationen am Gleis. Es wirkt daher immer an jedem Signal*.
- Abfahrverhinderung vor einem Halt zeigenden Signal:
    - hat den Vorteil, dass der Zug früher, oft noch vor dem Signal, zum Stehen kommt, und die Überwachung nur wirkt, wenn das Signal auf Halt steht. Diese sicherheitstechnischen und betrieblichen Vorteile werden jedoch dadurch relativiert, dass die Abfahrverhinderung *zusätzliche Installationen* am Fahrweg erfordert und damit *nur dort wirkt, wo sie auch eingebaut* worden ist: Der *tatsächliche*

Sicherheitsgewinn hängt daher stark *vom Grad der Ausrüstung der Signale mit Abfahrverhinderung* ab

Die länderspezifischen Untersuchungen der eingesetzten Zugbeeinflussungssysteme sind im Anhang D aufgelistet.

3.8.2 Vergleichende Gegenüberstellung der Zugbeeinflussungssysteme der betrachteten Bahnen

Die Zugbeeinflussungssysteme werden beschrieben anhand

- deren *Schutzfunktionen* (sog. Grundfunktionen), das heisst:
  - Überwachung Warnung/Halt/Geschwindigkeit
  - Schutz vor Anfahrt gegen Halt zeigendes Signal
- Sowie *ergänzende Parameter*, die über die reinen Schutzfunktionen hinausgehen, jedoch zur Beurteilung der Qualität eines Zugbeeinflussungssystems durchaus auch relevant sind, das heisst:
  - Führerstandsignalisierung
  - Signaltechnische Sicherheit
  - Umfang der Einführung im jeweiligen Netz (nur Hauptstrecken, flächendeckend)

Der Vergleich der verschiedenen Systeme erfolgt je Schutzfunktion und ergänzenden Parameter in zwei Tabellen *qualitativ durch die Gegenüberstellung des Niveaus, auf welchem die jeweilige Schutzfunktion oder ergänzende Parameter* pro Bahn aktuell *realisiert* worden ist. Ein Minuszeichen bedeutet, dass die betreffende Funktion nicht vorhanden ist, durch ein oder zwei Pluszeichen wird ausgedrückt, dass die Funktion auf geringem oder hohem Niveau realisiert ist.

<u>Schutzfunktionen (Tabelle 1):</u>

Überwachung Warnung

+ Wachsamkeitskontrolle an Signalen ohne Bezug zum Signalbegriff

++ Überwachung der Aufnahme des Signalbegriffs Warnung

Überwachung Halt

+ Zwangsbremsung bei Signalfällen nur bei Überschreiten einer bestimmten Mindestgeschwindigkeit

++ Zwangsbremsung bei jedem Signalfall

Geschwindigkeitsüberwachung

+ punktförmige Prüfung oder Überwachung fester Geschwindigkeitsstufen

++ Überwachung kontinuierlicher Bremskurven

Schutz vor Anfahrt gegen Halt zeigendes Signal

+ Begrenzung der Anfahrgeschwindigkeit (Prinzip der restriktiven Überwachung)

++ Abfahrverhinderung durch zusätzliche Beeinflussungspunkte vor dem Hauptsignal (optional)

<u>Ergänzende Parameter (Tabelle 2):</u>

Führerstandsignalisierung

+ vereinfacht, nur Ergänzung zum ortsfesten Signalsystem

++ Führung des Zuges unter Verzicht auf ortsfeste Signale

Signaltechnische Sicherheit
+ einige Überwachungsfunktionen signaltechnisch sicher
++ alle Überwachungsfunktionen signaltechnisch sicher

Ausrüstungsgrad
+ nur Hauptstrecken
++ weitgehend flächendeckend

Tabelle 3-2: Vergleich der Schutzfunktionen mit Auslösung von Zwangsbremsungen

Parameter Land		Überwachung Warnung	Überwachung Halt	Geschwindigkeitsüberwachung	Schutz vor Anfahrt gegen Halt zeigendes Signal
Deutschland	PZB 90	++	++	++	+
Österreich	PZB 60	++	++	+	-
	PZB 90	++	++	++	+
Slowenien	I 60	++	++	+	-
	PZB 90	++	++	++	+
Ungarn	EVM	-	+	+	-
Tschechien	LS	++	+	+	-
Slowakei	LS	++	+	+	-
Polen	SHP	+	-	-	-
Frankreich	Crocodile	++	-	-	-
	KVB	++	++	++	++
Luxemburg	ETCS L1,LS	++	++	++	++
Belgien	Memor	++	-	-	-
	TBL 1	++	++	-	-
	TBL 1+	++	++	+	-
Niederlande	ATB-EG	-	+	+	-
	ATB-Vv	-	+	++	+
	ATB-NG	++	++	++	++
Dänemark	ZUB 123	++	++	++	++
Italien	SCMT	-	++	++	++
Grossbritannien	TPWS	++	++	+	-
Schweiz	Signum	++	++	-	-
	Signum+ZUB	++	++	++	++

Tabelle 3-3: Vergleich ergänzender Parameter

Parameter Land		Führer-stands-signali-sierung	Signal-technische Sicherheit	Ausrüs-tungsgrad
Deutschland	PZB 90	-	+	++
Österreich	PZB 60	-	-	++
	PZB 90	-	+	+
Slowenien	I 60	-	-	+
	PZB 90	-	+	+
Ungarn	EVM	+	+	+
Tschechien	LS	+	+	+
Slowakei	LS	+	+	+
Polen	SHP	-	-	++
Frankreich	Crocodile	-	-	++
	KVB	-	++	+
Luxemburg	ETCS L1,LS	+	++	++
Belgien	Memor	-	-	++
	TBL 1	-	-	+
	TBL 1+	-	-	
Niederlande	ATB-EG	+	++	++
	ATB-Vv	+	++	+
	ATB-NG	+	++	+
Dänemark	ZUB 123	+	++	++
Italien	SCMT	+	++	++
Grossbri-tannien	TPWS	-	-	++
Schweiz	Signum	-	-	++
	Signum+ZUB	-	+	+

Hinweise zur Interpretation: da die einzelnen Parameter nicht ohne Weiteres als gleichwertig angesehen werden können, kann ein Ranking durch einfache Addition der positiven Bewertungen nur einen *ersten Anhaltspunkt* liefern, es taugt jedoch *nicht für einen seriösen Vergleich*. Bei einem solchen Ranking würde das System *Signum+ZUB im oberen Drittel landen* und wird nur vom ETCS L1 (Luxemburg) und den wenigen sehr modernen, in ihrer Funktionalität bereits sehr ETCS-ähnlichen Systemen wie ZUB 123 (Dänemark) und KVB (Frankreich) übertroffen. Die meisten europäischen Systeme bleiben hinter Signum+ZUB deutlich zurück, einige sogar extrem. Völlig anders sieht es bei einer *alleinigen Betrachtung des Systems Signum* aus. Ohne die Ergänzung durch ZUB bewegt sich die *nur mit Signum realisierte Funktionalität eher am unteren Ende* der Skala.

Wenn man nur die in Tabelle 1 enthaltenden Schutzfunktionen betrachtet, ist ein guter Vergleich möglich, der dann aber auch nur die rein funktionale Ebene betrachtet und die ande-

ren Parameter ausser Acht lässt. Bei dieser Betrachtung erreicht das System *Signum+ZUB die höchste Bewertung und steht damit auf dem gleichen Level wie die modernsten derzeit in Europa eingesetzten Systeme*. Dabei ist allerdings zu beachten, dass es sich um einen reinen Vergleich der mit den Zugbeeinflussungssystemen *realisierbaren* Schutzfunktionen handelt, unabhängig davon, ob an einem konkreten Einbauort diese Funktionen tatsächlich alle *realisiert* sind. Das betrifft vor allem die *Abfahrverhinderung*, die durch Anordnung zusätzlicher Beeinflussungspunkte besonders projektiert werden muss. Zudem ist auch hier anzumerken, dass die hohe Bewertung nur durch die *Kombination von Signum und ZUB* zustande kommt, und sich das Bild bei *alleiniger Betrachtung von Signum umkehrt*.

3.9 Internationaler Vergleich von Signalfällen und Zusammenstössen

Aus dem Vergleich der Signalfälle der SBB mit denjenigen anderer Bahnen wird beurteilt, wie die SBB im internationalen Umfeld bzgl. der Häufung Kollisionen mit Berücksichtigung deren Ausmasse und Ursache steht. Allfällige Rückschlüsse auf die Strategie werden aufgezeigt.

Die International Union of Railways (UIC) führt eine Datenbank (Safety Database), worin die jährlichen sicherheitsrelevanten Ereignisse[9] von 21 Europäischen Bahnunternehmen erfasst werden.

In zwei Studien[10] wurde versucht, basierend auf dieser Datenbank die Sicherheit der einzelnen Bahnunternehmen miteinander zu vergleichen. Dazu werden die Werte auf „Ereignis pro Zugsstrecke“[10] normiert. Aufgrund dieser beiden Studien eine belastbare Aussage über die Sicherheit der einzelnen Bahnunternehmen zu machen, ist generell schwierig. Zu viele Aspekte und Abhängigkeiten werden dabei nicht berücksichtigt. So ist beispielsweise bereits die Normierung auf Ereignis pro Zugsstrecke ungeeignet, wenn man die Signalfälle untersuchen will. Einfache Netz-Topologien mit wenigen Gefahrpunkten pro Kilometer werden dabei „bevorzugt“ im Vergleich zu komplexeren Netzen mit höheren Gefahrpunktdichten. Viel aussagekräftiger wäre hier z.B. eine Normierung auf Ereignis pro Zugsdurchfahrt und Gefahrenpunkt. Bei einer Analyse der Signalfälle kommt erschwerend hinzu, dass nicht alle Bahnunternehmen diese gleich erfassen, so dass ein Vergleich dieser Werte an sich schon wenig aussagekräftig ist. Idealerweise müsste die Vergleichbarkeit mittels Normierung der Randbedingungen (wie Zugsicherungstechnik, Betriebsprozesse, Netztopologie, Verkehrsdichte) erfolgen.

Trotz den genannten Vorbehalten kann ein Vergleich der sicherheitsrelevanten Ereignisse Hinweise darauf geben, in welchem Bereich eine Bahnunternehmung die Sicherheitsvorkehrungen detaillierter analysieren sollte. Wenn man z.B. die Resultate des Full Activity Reports 2012 zusammenfasst, liegt die SBB bezüglich Sicherheit auf Rang 7 von 21 (vgl. Tabelle 3-4). Auf dem SBB-Netz gibt es vergleichsweise wenig Bahnübergangsunfälle und Todesopfer (Rang 2-3), aber verhältnismässig viele Signalfälle und Zusammenstösse (Rang 14).

[9] Dazu gehören unter anderem Unfälle, Zusammenstösse, Entgleisungen, BUe-Unfälle, Todesopfer, Verletzte und Signalfälle.

[10] Im Full Activity Report 2012 wird auf Ereignis pro Mia. Zugskilometer normiert und in der IRSN-Studie auf Ereignis pro Mio. Zugskilometer.

Tabelle 3-4: SBB im internationalen Vergleich: Zusammenfassung der Resultate aus dem Full Activity Report 2012 der UIC Safety Database (2006-2011). Die Zahlenwerte pro Spalte geben den Rang des Bahnunternehmens in der entsprechenden Kategorie an. Rang 1 bedeutet am sichersten, Rang 21 am wenigsten sicher.

Rang	Land	Bahnunternehmen	Unfälle	Zusammenstösse	Entgleisungen	BUe -Unfälle be	Todesopfer	Verletzte	Signalfälle
1	FR-GB	Eurotunnel	1	1	1	1	1	1	1
2	Luxemburg	CFL	2	1	1	5	2	13	18
3	Spanien	ADIF	5	3	4	7	13	2	11
4	Grossbritannien	Network Rail	4	7	12	3	6	3	15
5	Italien	RFI	10	5	11	4	10	8	3
6	Niederlande	PRORAIL	3	7	7	10	5	4	16
7	**Schweiz**	**SBB**	**6**	**14**	**10**	**2**	**3**	**9**	**14**
8	Schweden	Trafikverket	8	4	17	8	7	7	
9	Frankreich	RFF / SNCF	7	9	14	11	9	5	9
10	Deutschland	DB	9	12	12	9	8	10	10
11	Kroatien	HZ	14	14	1	13	15	12	5
12	Ungarn	MAV	16	6	5	16	16	16	6
13	Norwegen	JVB	11	20	20	6	4	6	19
14	Österreich	ÖBB	12	17	19	14	12	11	7
15	Belgien	Infrabel	13	16	8	12	14	14	17
16	Tschechien	SZDC	15	10	15	18	11	15	13
17	Slowakei	ZSR	19	13	6	15	19	18	12
18	Slowenien	SZ	17	19	9	21	17	20	1
19	Polen	PKP	20	10	18	19	20	19	4
20	Portugal	REFER	18	18	21	16	18	17	8
21	Rumänien	CFR	21	21	16	20	21	21	20

Wenn man die Statistik der Signalfälle und Zusammenstösse detaillierter betrachtet, stellt man fest, dass die Verteilung relativ flach ist, was den 14. Rang in diesen beiden Kategorien stark relativiert.

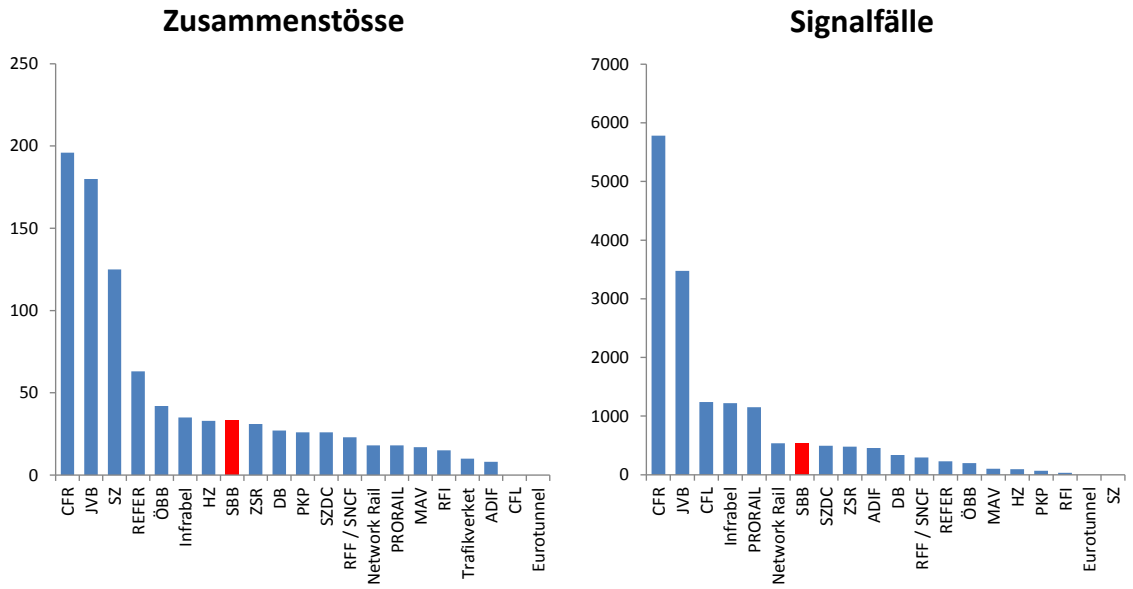


Abbildung 3-15: SBB im internationalen Vergleich: Anzahl Zusammenstösse (links) resp. Signalfälle (rechts) pro Mia. Zugskilometer und Bahnunternehmung

Signalfälle, Unfälle (Zusammenstösse, Entgleisungen, BUe-Unfälle) und Schadensausmasse (Todesopfer, Verletzte) sind nicht unabhängig voneinander. Insbesondre die Anzahl Zusammenstösse korreliert stark mit der Anzahl Signalfälle (vgl. Tabelle 3-5). Das heisst einerseits, dass es sich bei Unfällen in Folge von Signalfällen oft um Zusammenstösse handelt. Andererseits bedeutet diese Korrelation, dass es statistisch gesehen zu mehr Zugskollisionen kommt, je mehr Signalfälle verzeichnet werden.

Tabelle 3-5: Korrelationskoeffizienten zwischen den einzelnen Ereignis-Kategorien aus der UIC Safety-Database

	Unfälle	Zusammenstösse	Entgleisungen	BUe-Unfälle	Todesopfer	Verletzte	Signalfälle
Unfälle	1						
Zusammenstösse	0.59	1					
Entgleisungen	0.31	0.51	1				
BUe-Unfälle	0.84	0.62	0.16	1			
Todesopfer	0.98	0.49	0.25	0.77	1		
Verletzte	0.95	0.61	0.18	0.92	0.90	1	
Signalfälle	0.51	0.78	0.32	0.35	0.43	0.54	1

3.9.1 Verhältnis Zugskollisionen zu Signalfällen

Die europäischen Nachbarländer der Schweiz haben historisch gewachsen noch sehr unterschiedliche Zugbeeinflussungssysteme. Dabei muss zwischen Hochgeschwindigkeitsverkehr und konventionellem Verkehr unterschieden werden.
Die im europäischen Hochgeschwindigkeitsverkehr benutzten Zugbeeinflussungssysteme arbeiten durchweg linienförmig (z.B. ETCS L2), d.h. es können keine Signalfälle auftreten.
Für die Analyse der Signalfälle sind daher nur diejenigen Zugskilometer von Interesse, welche auf dem konventionellen Netz gefahren werden, denn nur da kommt es zu Signalfällen. Diese Angabe ist aber nicht erhältlich. Dazu kommt noch der Umstand, dass in einigen Ländern Hochgeschwindigkeitsstrecken parallel zur linienförmigen Zugbeeinflussung auch mit einem ortsfesten Signalsystem ausgerüstet sind, so dass es auf solchen Strecken zu einem Mischverkehr kommt zwischen Zügen, die durch die Führerstandssignalisierung geführt und durch linienförmige Zugbeeinflussung gesichert werden, und solchen, die durch ortsfeste Signale geführt und durch punktförmige Zugbeeinflussung gesichert werden.
Die Wirksamkeit der Zugbeeinflussung der einzelnen Länder lässt sich aber teilweise aus dem Verhältnis Zugskollisionen/Signalfall ableiten, sofern diese einheitlich erfasst wurden. Für einige Länder sind die beiden Parameter (Zugskollisionen und Signalfälle) in der UIC-Datenbank für das Jahr 2011 zugänglich. Zwar sind beide Parameter auf Zugskilometer normiert, beim Bilden des Verhältnisses entfällt aber diese Normierung:

$$\frac{\frac{Zugskollisionen}{Strecke}}{\frac{Signalfälle}{Strecke}} = \frac{Zugskollisionen}{Signalfälle}$$

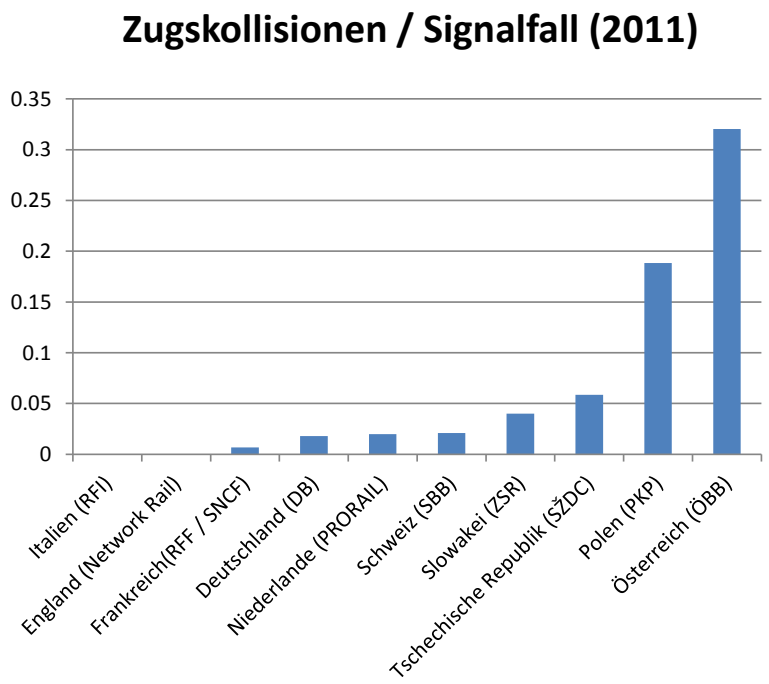


Abbildung 3-16: Zugskollisionen[11] / Signalfall im Jahr 2011. Quelle UIC [15]

[11] Als Zugskollisionen wurde der „benchmarking indicator 1.1a (Collisions between trains) aus der UIC-Studie [15] verwendet.

Bei diesem Vergleich schneiden Polen und Östereich verhältnismässig schlecht ab. Dies ist aber zu erwarten, da Polen ein relativ einfaches Zugbeeinflussungssystem hat. Österreich seinerseits verwendet zwar ein ähnliches System wie Deutschland, jedoch mit deutlich geringerer Schutzwirkung (PZB60) – siehe Kap. 4.

3.10 Anwendung von Gruppenausfahrsignalen bei europäischen Bahnen

Gruppenausfahrsignale sind im internationalen Massstab eher eine Randerscheinung. Sie sind auch bei Bahnen ausserhalb des deutschsprachigen Raumes bekannt, insbesondere bei osteuropäischen Bahnen. Mit der Einführung der OSŽD-Lichtsignale in den 1950er Jahren wurde die Haltung dieser Bahnen zu Gruppenausfahrsignalen etwas ambivalent, da es im OSŽD-Signalsystem (OSŽD ist die Organisation der osteuropäischen Eisenbahnen) keine saubere Analogie zu den bei deutschen Gruppenausfahrsignalen erforderlichen Sperrsignalen gibt. Einige OSŽD-Bahnen, darunter auch die Deutsche Reichsbahn auf dem Gebiet der ehemaligen DDR, haben daraufhin in Anlagen mit Lichtsignalen keine Gruppenausfahrsignale mehr zugelassen. Wenn bei diesen Bahnen die Anordnung normaler Hauptsignale aus Platzgründen nicht möglich ist, werden an den einzelnen Ausfahrgleisen Minihauptsignale aufgestellt. Es gibt allerdings auch OSŽD-Bahnen, die Gruppenausfahrsignale als Lichtsignale kennen. Dabei wurde das deutsche Prinzip in der Weise modifiziert, dass keine Sperrsignale aufgestellt werden, dafür aber am Gruppenausfahrsignal ein Zusatzanzeiger angebracht ist, der als leuchtende Ziffer die Gleisnummer anzeigt. Damit wird dem Lokführer beim Erkennen der Fahrtstellung des Gruppenausfahrsignals neben dem Fahrtbegriff auch deutlich angezeigt, auf welches Ausfahrgleis sich der Fahrtbegriff bezieht. Von den hier betrachteten Bahnen wird eine solche Signalisierung in Tschechien und der Slowakei benutzt, bekannt sind aber auch Anwendungen aus Bulgarien, Russland und den Bahnen der GUS-Staaten.

Auch in Frankreich gibt es Gruppenausfahrsignale, auch in Neuanlagen. Ihre Anwendung ist auf Hauptbahnen jedoch auf sog. *Dienstgleise* beschränkt. Dienstgleise liegen in ihrer Wertigkeit *unterhalb der Hauptgleise, aber noch oberhalb* der Nebengleise. Im Unterschied zu einem reinen Nebengleis dürfen auf Dienstgleisen neben Rangierbewegungen auch Züge vorsichtig (V_{max} 30 km/h) ein- und ausfahren. Die Einfahrt in ein Dienstgleis wird dem Lokführer durch eine Signaltafel (weisses G auf schwarzem Grund für „Garage“) angezeigt. Züge, die *Reisende befördern, dürfen auf Dienstgleisen nicht verkehren*. Bei einem Gruppenausfahrsignal wird der gewöhnliche Halteplatz in den Dienstgleisen durch eine Signaltafel (schwarzer, nach oben weisender Winkel auf weissem Grund) gekennzeichnet.

Es gibt in Frankreich auch Gruppenausfahrsignale an Hauptgleisen, allerdings *nur auf Nebenbahnen mit vereinfachter Signalisierung*. Das sind Bahnhöfe, bei denen anstelle eines Einfahrsignals die sog. Disque verwendet wird. Das ist ein im Bremswegabstand vor der ersten Weiche aufgestelltes Signal, das in Haltstellung die Weiterfahrt bis zur Einfahrweiche auf Sicht erlaubt. Die eigentliche Einfahrt in den Bahnhof wird nicht durch ein Signal gesichert, sondern örtlich geregelt. In diesen Fällen darf auch die Ausfahrt in vereinfachter Form durch ein Gruppenausfahrsignal signalisiert werden. Eine typische Anwendung sind Kreuzungsbahnhöfe auf eingleisigen Nebenbahnen, wo normalerweise ohnehin immer nur ein Zug je Richtung verkehrt. Bei ungehinderter Durchfahrt wird dem Lokführer durch den Fahrtbegriff an der Disque angezeigt, dass eine Durchfahrt zugelassen ist, so dass sich der Lokführer darauf verlassen kann, dass das Gruppenausfahrsignal für sein Gleis auf Fahrt steht.

Bei einigen westeuropäischen Bahnen gibt es Signalanordnungen, die bei flüchtiger Betrachtung einem *Gruppenausfahrsignal ähneln*, bei denen es sich jedoch nicht um Gruppenausfahrsignale handelt. Das hängt mit der von den Bahnen des deutschsprachigen Raumes abweichenden Abgrenzung zwischen Stations- und Streckenbereichen und abweichender Blocktechnik zusammen. Bei diesen Bahnen wird die Ausfahrt aus einem Stationsgleis in vielen Fällen durch zwei aufeinander folgende Ausfahrsignale signalisiert. Dabei steht *ein Signal vor und eines hinter dem Weichenbereich* des Bahnhofskopfes. Es gibt sozusagen ein *inneres und ein äusseres Ausfahrsignal*. Grund ist, dass bei diesen Bahnen die Schnittstelle zwischen Fahrstrasse und Block immer an einem Signal liegt, und die im deutschsprachigen Raum übliche Überlagerung von Ausfahrstrasse und Block nicht verwendet wird. In der Terminologie dieser Bahnen wird oft nur das äussere Signal als Ausfahrsignal bezeichnet. Da dieses Signal nach dem Zusammenlauf der Fahrwege steht, wirkt es bei flüchtiger Betrachtung wie ein Gruppenausfahrsignal, was es jedoch nicht ist, da auch an den einzelnen Stationsgleisen Hauptsignale angeordnet sind.

Beispiele für eine solche Signalisierung aus dem Kreis der hier untersuchten Bahnen sind *Frankreich und Dänemark*. Auch in Grossbritannien ist diese Signalisierung in Altanlagen mit örtlich besetzten Stellwerken verbreitet, wurde jedoch in der modernen Technik (Relaisstellwerke und ESTW) verlassen.

In Dänemark besteht die in Europa einmalige Besonderheit, dass dort *früher alle Ausfahrsignale Gruppenausfahrsignale waren*. An den einzelnen Stationsgleisen standen nur sog. Fahrwegsignale, die keinen Haltbegriff zeigen konnten, sondern nur mit einem gelben oder grünen Licht anzeigten, ob an diesem Gleis eine Ausfahrstrasse eingestellt ist. Allerdings war am Standort des Fahrwegsignals fast *immer auch ein Zwergsignal angeordnet, dessen Haltbegriff wie in der Schweiz auch für Züge gilt* (auch das Signalbild entspricht dem Schweizer Zwergsignal). Später wurden die Fahrwegsignale durch sog. Bahnsteigausfahrsignale ersetzt, die eine Kombination aus Hauptsignal und Rangiersignal darstellen. Das zusätzliche Zwergsignal entfiel, da wie in Deutschland und Österreich der Haltbegriff des Hauptsignals auch für Rangierbewegungen gilt, und die Zustimmung zur Rangierfahrt im Hauptsignalschirm angezeigt wird. Eine Besonderheit der dänischen Bahnsteigausfahrsignale besteht jedoch darin, dass das rote Licht nur erscheint, wenn das Signal als Ziel einer Zugfahrt bedient wird oder einer anderen Fahrt Flankenschutz bietet. Solange das Signal nicht durch eine Zugfahrt beansprucht wird, wird im Hauptsignalschirm der Haltbegriff eines Zwergsignals gezeigt. Allerdings stellen beide Signalbilder einen für Züge und Rangierbewegungen gültigen Absoluthaltbegriff dar.

Die dänische Signalisierung wurde flächendeckend auf dieses Signalisierungsprinzip umgestellt, so dass heute keine Gruppenausfahrsignale mehr vorhanden sind.

In Deutschland ist die Anwendung von Gruppenausfahrsignalen nach wie vor zulässig, *auch in Neuanlagen*. Es gelten jedoch *strenge Restriktionen*, die die Anwendung auf wenige Fälle beschränken. Auf die Regeln zur Anwendung von Gruppenausfahrsignalen in Deutschland wird im Anhang E eingegangen.

3.11 Weitere sicherheitsrelevante Aspekte

In einer gesamtheitlichen Risikobetrachtung ist ferner auf weitere sicherheitsrelevante Aspekte hinzuweisen, die rein definitionsgemäss ausserhalb des beauftragten Mandats zu positionieren sind, nachfolgend aber der Vollständigkeit halber aufgeführt werden.

3.11.1 Betrachtung im Kontext der Gesamtrisikolandschaft

3.11.2 Rangierfahren

Rangierfahrten werden heute nicht mit den für Zugfahrten üblichen technischen Massnahmen der Zugsicherung überwacht. Insbesondere im Schnittbereich von Zug- und Rangierfahrstrassen kann von einer erhöhten Gefährdung für Kollisionen ausgegangen werden. Hauptsächlich verursacht wurden die entsprechenden Unfälle durch einen Missachtung von Zwerg- oder Rangiersignalen.

In einer Analyse von Ernst Basler+Partner [25] werden 18 Ereignisse in 11 Jahren (1990 bis 2000) ausgewiesen. Bei 11 der 18 Unfallereignisse war der Gefahrenpunkt mit einem Zwergsignal abgesichert, in einem Fall mit einem Rangiersignal. Die übrigen Fälle betrafen Gefahrenpunkte, welche nicht mit einem Signal abgesichert waren.

Die Analyse [25] kommt zum Schluss, dass die Risiken im Allgemeinen deutlich unter 10 RE/J liegen, insbesondere aufgrund der unterdurchschnittlichen Zahl von Zug- und Rangierfahrten. Bei mit Zwergsignalen abgesicherten Fahrwegen beträgt das Risiko eines Gefahrenpunktes sogar lediglich rund 2 RE/J. Bei ungünstigen Bedingungen können vereinzelt aber auch Werte von über 20 RE/J auftreten.

Bei Gefahrenpunkten, die mit Signalen abgesichert sind, wurde gemäss [25] kein Handlungsbedarf festgestellt.[12] Für nicht abgesicherte Gefahrenpunkte wurde jedoch aufgezeigt, dass durch eine stellwerkseitig angesteuerte Signalisation die Risiken um ca. einen Faktor 40 gesenkt werden können. Eine Ausrüstung dieser Gefahrenpunkte mit Signalen ist daher zu prüfen. Dazu sollten die gut 200 verbleibenden Gefahrenpunkte ohne Absicherung auf das von ihnen ausgehende Risiko hin im Rahmen des ETCS Rollout überprüft und bewertet werden. Gefahrenpunkte, bei denen sich aufgrund von Kosten- Nutzenüberlegungen eine Absicherung lohnt, sollten mit einem Signal ausgestattet werden.
Mit der Einführung von Zugsicherungsfunktionalitäten auf der Basis von ETCS L2 wird es dann grundsätzlich möglich sein, Zugfahrstrassen mit technischen Massnahmen gegenüber Rangierfahrten abzusichern.

3.11.3 Lokführer

Bei den allermeisten Unfällen spielt der Faktor Mensch eine entscheidende Rolle. Bei den Signalfällen ist es sogar weitgehend immer der Lokführer (Lf), welcher die Verantwortung trägt. Insbesondere in der Presse wurde die Frage der Ausbildungsqualität mehrfach gestellt.

[12] 1995 waren von den netzweiten 1‘367 Gefahrenpunkten 1‘150 mit Zwerg- oder Rangiersignalen ausgerüstet (Hochrechnung aus Analyse einzelner Bahnhöfe, vgl. [25]).

Bei der Ausbildung der Lokführer (Lf) besteht bei den schweizerischen Bahnen ein einheitlicher Standard. Die Verordnung über die Zulassung zum Führen von Triebfahrzeugen (VTE) regelt u.a. die Zulassung. Die Fähigkeitsprüfungen werden durch, vom BAV ernannten Prüfungsexperten und -expertinnen vorgenommen. Das BAV erlässt auch die Richtlinien über die Fähigkeitsprüfungen. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Ausbildungsqualität bei den schweizerischen Bahnen mehrheitlich identisch ist. Bestätigt wird dies auch dadurch, dass häufig Lf fremder Bahnen angestellt werden und Lf die SBB zu anderen Bahnen verlassen.

Im Zug der Automatisierung wurde die Aufgaben für die Lf reduziert und die Lf teilweise auf Strecken oder Fahrzeugtypen spezialisiert. Kritisch kann dabei das Durchbrechen der Routine sein, wenn beispielsweise der Fahrplan kurzfristig ändert. Bei tendenzieller Überforderung nimmt die Fehlerrate zu.

Diese Aspekte werden in einem separaten Gutachten analysiert.

3.11.4 Begleitpersonal inkl. Fahrdienstpersonal (4-Augenprinzip)

Im Regionalverkehr treten aufgrund der häufigen Halte und der im Vergleich zum Fernverkehr grösseren Anzahl Gefahrenpunkte auch häufiger Signalfälle auf. Einen Einfluss auf diese Häufung der Signalfälle wird in der Wahrnehmung auch dem unbegleiteten Verkehr zugewiesen, wo der Lf selber die Verantwortung für die Abfertigung des Zuges zu übernehmen hat. Die Selbstabfertigung ist anspruchsvoller als die Abfertigung durch das Zugspersonal, welche ein 4-Augenprinzip beinhaltet.

Deshalb wurde als Sofortmassnahme am 30.8.2013 als Reaktion auf den Unfall in Granges-Marnand beschlossen, an 7 Bahnhöfen mit Gruppensignalen, welche noch durch Personal besetzt sind, wieder das 4-Augenprinzip einzuführen (vgl. auch Kapitel 4.5.2).

4 Ergebnis der Begutachtung

In diesem Kapitel werden die vorgängigen Analysen und Feststellungen entlang der folgenden Schlüsselfragen bewertet:

- Wie wird die bisherige Strategie der risikoorientierte Ausrüstung Zugbeeinflussung bei den SBB beurteilt, insbesondere
    - Haben die SBB bei der Ausrüstung das Richtige zum richtigen Zeitpunkt unternommen?
    - Kennen die SBB die Risikosituation und reagieren sie darauf richtig?
    - Haben die SBB nichts verpasst; besteht Nachholbedarf?
- Wie wird die von den SBB gewählte Strategie ETCS Migration (ETCS Netz) unter Berücksichtigung der relevanten BAV-/SBB-Beschlüsse im Kontext der Ausrüstung der Zugbeeinflussung beurteilt?
- Welches ist der Stand der SBB -Technologie der Zugbeeinflussung im Vergleich zum „State of the Art“ und im internationalen Vergleich.
- Wie stehen die SBB im internationalen Vergleich bezüglich Häufung, Ausmass und Ursachen von Zugkollisionen nach Signalfällen da?

Des Weiteren werden Vergleiche mit anderen Normalspurbahnen in der Schweiz sowie eine Beurteilung der Gruppenausfahrsignale vorgenommen.

4.1 Risikoorientierte Ausrüstung Zugbeeinflussung

Das Risiko auf dem Schienennetz der SBB wurde seit Anfang der 90er Jahre laufend analysiert. Dabei wurden zwei Arten von Analysen durchgeführt:

- *Netzweite Analysen*: mit dem Ziel, die Sicherheit aufgrund von Mehrverkehr zu überprüfen und daraus Mengengerüste für Sicherheitssteigerungsprogramme abzuleiten. Aktuell läuft das Programm zur Ausrüstung zusätzlicher rund 1’700 Signale mit einer Geschwindigkeitsüberwachung.
- *Punktuelle Analysen*: nach Bedarf, um eine geänderte Bahninfrastruktur oder deren Nutzung (z.B. Fahrplanänderungen, Neu- und Umbauten, Verbesserungsvorschläge durch Lokführer) im Hinblick auf eine eingetretene oder erwartete Risikoveränderung zu überprüfen.

Bei der Beurteilung dieser Ansätze sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:
Die SBB verfügen über ein historisch gewachsenes Netz. Daher haben die SBB grundsätzlich seit den 90er Jahren die Strategie verfolgt, risikobasiert unter Berücksichtigung der Kosten-Nutzen-Verhältnissen von Massnahmen die Sicherheit auf ihrem Netz auszubauen. Die Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Verhältnissen für die Priorisierung der Umsetzung von sicherheitssteigernden Massnahmen in allen Bereichen auf dem SBB-Netz ist daher sinnvoll, weil durch dieses Vorgehen pro investiertem Franken der höchste Nutzen zur netzweiten Reduktion des Gesamtrisikos erreicht werden kann. Dadurch kann auch sichergestellt werden, dass nicht in einem Teilbereich das Restrisiko praktisch eliminiert wird und in anderen Bereichen noch massgebliche Risiken bestehen bleiben.

Bei den SBB beträgt heute der Anteil der auf Signalfälle zurückzuführenden Unfälle auf dem Gesamtnetz ca. 7%. Deshalb ist der gewählte risikobasierte Ansatz der Ausrüstung der Zugbeeinflussung auch unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Verhältnissen richtig. Die gezielte Ausrüstung der Zugbeeinflussung des ganzen Netzes mit einer hohen An-

zahl an noch nicht gesicherten Signalen kann über einen vorgesehenen Zeitraum nur risikoorientiert mit Priorisierung von den hohen zu den tieferen Risiken erfolgen.

Da die gezielte Differenzierung der Risiken einzelner Signale für RE/J<20 mit der ursprünglichen Methodik schwierig wurde, musste mit der Einführung der R I-20027 im Jahr 2010 ein neuer Weg gefunden werden. Die R I-20027 regelt unter anderem, wo Ausnahmen bei der Ausrüstung von Abschnitten mit kontinuierlicher Geschwindigkeitsüberwachung und bei der Ausrüstung mit einer Abfahrverhinderung erlaubt sind. Die Ausnahmen sind basierend auf vereinfachten Risikoanalysen festgelegt worden. Allerdings ist hervorzuheben, dass die R I-20027 eine vertiefte *technisch-betriebliche* Betrachtung zum Inhalt hat und daher *keine* „Softfactors“ wie Sichtbarkeit, Verwechselbarkeit, unklare Standorte etc. berücksichtigt. Bei der Anwendung der R I-20027 auf das gesamte Netz der SBB kann davon ausgegangen werden, dass heutige kumulierte monetarisierte Risiko für Unfälle aufgrund von Signalfällen mehr als halbiert werden kann.

So wird mit R I-20027 sichergestellt, dass bei Stellwerkersatzprojekten im Sinne eines effizienten Mitteleinsatzes nur die Gefahrenpunkte mit erhöhter Gefährdung ausgerüstet werden. Mit der Einführung der R I-20027 rückt *die Effizienzoptimierung* in den Vordergrund. Aus wirtschaftlichen Überlegungen heraus ist die Ausrüstung, die anhand der R I-20027 geplant wird, stark mit dem Ersatz und der Erneuerung der Stellwerke gekoppelt, um auch rasch einen Technologieersatz von SIGNUM und ZUB zu erreichen, welche das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben, bei denen daher häufiger Störungen auftreten und deren Systemgestaltung dabei nicht fail-safe ist. Das 1700-Punkte-Programm kann nicht mehr als vollständig risikoorientierte Vorgehensweise betrachtet werden, weil das Restrisiko auf der Zeitachse nicht konsequent von höchster RE/J zu niedrigster RE/J abgebaut wird. Dadurch dass im Rahmen des ETCS-Rollouts aber alle Signale der entsprechenden Lose mit Hilfe der R I-20027 überprüft werden, wird ein effizienter Risikoabbau durch die grosse Anzahl der zusätzlich mit einer Zugsicherung ausgerüsteten Signale bis Ende 2017/Anfang 2018 erreicht.

Durch die vorgesehene risikobasierte Umpriorisierungen innerhalb des 1700-Punkte-Programms kann noch eine gewisse weitere Optimierung vorgenommen werden. Allerdings sind die SBB auf die eigenen sowie auf die Ressourcen der Industrie angewiesen – aktuell sind die abschliessenden Erkenntnisse über die Machbarkeit der Massnahmen inkl. deren Umpriorisierungen noch in der Abklärung, die Ergebnisse werden bis Ende 2013 erwartet. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Gefahr bei den Umpriorisierungen darin besteht, dass das ursprünglich aufgestellte Programm nicht mehr termingerecht umgesetzt wird und dadurch punktuelle Optimierungen auf Kosten der Termineinhaltung vorgenommen würden, was insgesamt zu einer schlechteren Risikoreduktion führt (siehe Kapitel 4.5.1) .

Die Anwendung der R I-20027 wird auch dazu führen, dass die in der Schweiz generell kurzen Durchrutschwege zukünftig im fahrplanmässigen Regelbetrieb grundsätzlich mit einer Geschwindigkeitsüberwachung abgesichert sein werden und dass das Sicherheitsniveau gesamthaft trotz Mehrverkehr *stetig verbessert* wird.

Die R I-20027 wird laufend überprüft und angepasst. Die Richtlinie wurde auch zwecks Kalibrierung nachträglich an Signalpunkten angewandt, an welchen sich ein Unfall ereignet hat. Der Ausrüstungsbedarf konnte stets rechnerisch belegt werden, was die fachliche „Richtigkeit“ des Tools unterstreicht.

Nebst der Ausrüstung mit Geschwindigkeitsüberwachung regelt die R I-20027 auch, welche Geleisabschnitte *zusätzlich mit einer Abfahrverhinderung* abzusichern sind. Die Ausnahmen, bei welchen auf eine Abfahrverhinderung zu verzichten ist, wurden so risikobasiert definiert, dass Gleisabschnitte bei einem Kosten-Nutzen Verhältnis kleiner 1 abgesichert werden. Das führt dazu, dass der Kostenkalkulation einer Massnahme eine entscheidende Bedeutung zukommt. Eine Höher-/Minderbewertung der Kosten entscheidet darüber, ob die Massnahme durchgeführt werden soll oder nicht. In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass die Direktaufträge an die beiden NIP[13]-Lieferanten naturgemäss *keine weit reichenden Skaleneffekte* bezüglich der erreichbaren Preise bieten. Die NIP-Verträge berücksichtigen lediglich zwei Lieferanten (Siemens und Thales). Dadurch kann das *Marktentfaltungspotenzial im* Sinne konsequenter Kostenoptimierung nur ansatzweise ausgenutzt werden. Auch bergen die NIP-Verträge die Gefahr, bei Spezialfragen für Leistungen ausserhalb des NIP-Vertragsgegenstands, die insbesondere aus den eingeschränkten Ressourcen der SBB heraus resultieren, seitens der Vertragspartner zwecks Erzielen höherer Preise ausgenutzt zu werden. Allerdings bieten die NIP-Verträge *aus Sicherheitssicht Vorteile einer schnellen Reaktion sowie auch die Vorteile einer durchgängigen technologischen Plattform, zudem kennen die beiden Lieferanten die SBB-Anlagen und Qualitätsanforderungen sehr gut.*

Als Folge der konsequenten Umrüstungen nach der zunächst risikobasierten Vorgehensweise und der anschliessenden Anwendung der R I-20227 ist ferner festzuhalten, dass das Kosten-Nutzen-Verhältnis mit zunehmender Ausrüstung immer schlechter wird, da immer mehr Risikopunkte mit kleinen Risikoeinheiten (RE/J) verbleiben.

Zudem ist zu berücksichtigen, dass die modernen Regionaltriebzüge nebst klar besserem Beschleunigungsverhalten auch über das deutlich bessere Bremsverhalten als älteres Rollmaterial verfügen. Dieses Bremsverhalten kompensiert den negativen Effekt der guten Beschleunigung. Der Bremsweg ist also beim neuen und besser beschleunigenden Fahrzeug nicht länger als beim alten Fahrzeug, wenn dieses bei einer nicht korrekten Abfahrt erst beim Halt zeigenden Signal durch SIGNUM zwangsgebremst wird.

Da aus Ressourcensicht - Manpower, Finanzen, Industrie - nicht alle Abschnitte rasch und flächendeckend mit einer Zugsicherung ausgerüstet werden können, verbleiben zwangsläufig nicht ausgerüstete Signalpunkte im Netz, die zwar ein geringeres Risikopotenzial aufweisen, an welchen sich Unfälle - wie aktuell aufgetreten – aber doch ereignen können. Solange *nicht flächendeckend eine Abfahrverhinderung* eingebaut wird, können Unfälle auch bei kleinem Restrisikopotenzial eines Signalstandortes passieren (Restrisiko).

Grundsätzlich kann also festgehalten werden, dass aus technologischer, betrieblicher, finanzieller sowie aus risikoorientierter Sicht:

- die bisherige Vorgehensweise durch die *konsequente Anwendung zeitgemässer Instrumente* dazu beigetragen hat, dass die *wesentlichen* Sicherheitsrisiken erkannt und abgetragen wurden.
- die richtigen Tools und Vorgehensweisen zum richtigen Zeitpunkt aufgestellt wurden. So deckt die R I-20027 die wesentlichen risikorelevanten Aspekte ab.
- die wesentlichen Stossrichtungen zum Ansetzen bei den relevanten Risiken identifiziert wurden.

[13] NIP=Neue Industriepartnerschaft

4.2 Technologie der Zugbeeinflussung

Grundsätzlich kann der Begriff State of the Art vielfältig ausgelegt werden, eine konkrete Betrachtung bedarf jedoch des Bezugs zum konkreten Anwendungsfall. Daher ist eine Begriffsdefinition erforderlich, um die Bewertung in einem vordefinierten Rahmen vorzunehmen.

4.2.1 Definition“State of the Art“

Streng genommen bedeutet State of the Art „*the highest level of development, as of a device, technique, or scientific field, achieved at a particular time*”. Die blosse Anwendung dieser Definition würde jedoch realitätsfremd ausfallen, da darin

- die erreichte Systemreife,
- der erreichte Implementierungsstand und somit
- die Frage, ob das System bereits zum “Standard” geworden ist

nicht berücksichtigt sind[14].

Für die Zwecke der vorliegenden Studie wird daher als State of the Art folgende Definition zugrunde gelegt:

State of the Art sind Systeme,

- die im Sinne der Erfüllung der aktuellen Anforderungen an die Funktionen am weitesten entwickelten Systeme,
- die ihre Funktionalität im täglichen Bahnbetrieb unter Beweis gestellt haben sowie
- einen nennenswerten Umsetzungsgrad erreicht haben.

Weiterhin ist es wichtig zu unterscheiden zwischen dem *State of the Art der Funktionalität* eines Systems und der *tatsächlichen Verfügbarkeit dieser Funktionen* an einem bestimmten Einbauort.

Das Reflektieren jedes Systems gegenüber dieser Definition impliziert also, dass als erstes ein Set der *Systemanforderungen* (hier in der Form von Schutzfunktionen und ergänzenden Qualitätsparametern) sowie Klarheit über die Systemreife und den Umsetzungsgrad vorliegen müssen.

4.2.2 Beurteilung SBB im Kontext des State of the Art

Die in der Schweiz durch Kombination der Systeme Signum und ZUB realisierbaren Schutzfunktionen der Zugbeeinflussung ermöglichen ein Sicherheitsniveau, das mit den modernsten europäischen Systemen vergleichbar ist. In der Ursprungsausführung basiert die Informationsübertragung im System Signum zwar auf einer veralteten Technik, dies hat jedoch auf die damit realisierten Funktionen (Überwachung Halt/Warnung) keinen Einfluss. Mit dem Übergang zu EURO-Signum/EURO-ZUB wird auch die Übertragungstechnik durch

[14] Hinweis: auf Basis der o.a. Definition wäre alleine ETCS L2 als State of the Art zu betrachten. Die Aspekte, dass L2 noch nicht die erforderlichen Nachweise einer Systemreife für Knoten sowie im Rangierbereich geliefert hat, würden dadurch unberücksichtigt bleiben.

eine moderne, zukunftssichere Lösung ersetzt, durch die der Übergang auf das ETCS-Level 1 erleichtert wird.

Dabei ist jedoch zu beachten, dass die im System Signum+ZUB *mögliche* Funktion der Abfahrverhinderung nur dort zur Verfügung steht, wo sie mit den dafür erforderlichen zusätzlichen Beeinflussungspunkten *örtlich projektiert* worden ist.

Strecken, die *nur mit dem System Signum* ausgerüstet sind, erfüllen nur noch die *Grundanforderungen* an ein Zugbeeinflussungssystem. Hier bewegen sich die Schutzfunktionen im europäischen Vergleich eher im *hinteren Drittel* der Skala.

Fazit:
Die Kombination:
- *Signum+ZUB+Abfahrverhinderung* entspricht dem State of the Art. Bei den so ausgerüsteten Signalpunkten zählen die SBB zur Spitze in Europa zusammen mit den Bahnen in Luxemburg (ETCS L1 LS), Dänemark (ZUB123), Italien (SCMT), Frankreich (KVB) und Holland (ATB-NG).
- *Signum+ZUB ohne Abfahrverhinderung* liegt im europäischen Vergleich *eher im Mittelfeld*.
- Alleinige Ausrüstung nur mit Signum dort, wo der Durchrutschweg *kürzer* als der Bremsweg ist, entspricht nicht mehr den heutigen Anforderungen.

Für die Standortbestimmung spielen nicht nur vorhandene Funktionalitäten eine Rolle. Es ist auch der Anteil der damit ausgerüsteten Signale auf dem Netz zu berücksichtigen.
Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass diese Klassifikation nicht automatisch zum Schluss führen darf, dass Standorte, die nicht nach dem State of the Art ausgerüstet sind, per Definition ein nennenswertes Restrisikopotenzial ausweisen. Es gibt schlicht Standorte, an welchen kein State of the Art nötig ist, da die Grundfunktionen Warnung/Halt ausreichend sind, um Kollisionen zu vermeiden. Beispielhaft sind sehr selten befahrene Abschnitte zu benennen, die noch ein akzeptables Risikopotenzial haben, obwohl sie nicht nach dem State of the Art ausgerüstet sind. Die richtige Anwendung der R I-20027 wird dazu führen, dass nicht State of the Art-Abschnitte nur noch an Standorten verbleiben dürfen, die vom Risiko her „akzeptabel“ sind. Auch bei kleinem Risiko ist allerdings jeweils auch noch der Imageschaden von Unfällen bei Signalen, die nicht nach dem State of the Art ausgerüstet sind, zu beachten.

4.3 Beurteilung der Strategie ETCS Migration

Die Beurteilung wird vorgenommen im Kontext
- der Beschlüsse des Verwaltungsrates SBB 2002, 2006, 2008 (=aktuell geltende Strategie, nach welcher bis Ende 2017 ETCS L1 LS flächendeckend einzuführen ist)
- der Entscheide BAV und BAV-Richtlinie Zugbeeinflussung im schweizerischen Normalspur-Eisenbahnnetz vom 01.05.2012
- der aktuell umgesetzten Strategie
- des internationalen Umfeldes

Kernstück der aktuellen ETCS-Strategie ist der Einsatz von ETCS-Komponenten ab 2003 (SIGNUM-P44 und EuroZUB-P44 zur Übertragung der schweizspezifischen SIGNUM- und

ZUB-Informationen mit Hilfe des ETCS-Telegrammpakets 44). Dadurch wurden bzw. werden *vorteilhafte* Voraussetzungen für das bevorstehende Umstellen auf ETCS L1 LS geschafft. Auch wird der weitere Betrieb/Verbreitung von *nicht ETCS-kompatiblen* Komponenten weitestgehend gestoppt.

Diese Migration erfolgt dabei so, dass die nur mit SIGNUM und ZUB ausgerüsteten Fahrzeuge weiterhin verkehren können - Fahrzeuge ohne ETCS-Ausrüstung können mittels ETM ZUB&Signum Informationen aus den Eurobalisen/Loop lesen. Fahrzeuge mit ETM bzw. ZUB262ct-Ausrüstung können auf dem Normalspurnetz der SBB verkehren. Nach Abschluss der Migration im 2017 wird es möglich sein, dass neue Fahrzeuge nur noch mit einem ETCS Fahrzeuggerät ausgerüstet werden müssen.

Bei der Konzernstrategie aus dem Jahre 2002 (s. Anhang C) namens „Neue Technologien - neue Stellwerks-/Fernsteuerungstechnik, ETCS und GSM-R“ wurde für den ETCS-L2-Einsatz ein sehr hoher Finanzierungsbedarf kalkuliert, welcher vor allem durch den für ETCS L2 erforderlichen Einsatz von elektronischen Stellwerken (anstelle Relaisstellwerke) entstehen würde. Die SBB haben einen FPGA-Ansatz in Erwägung gezogen, um diesem erhöhten Finanzierungsbedarf entgegenzuwirken. FPGA steht für «Field Programmable Gate Array» und ist ein Pilotprojekt für einen elektronischen Schaltkreis, auf dem eine logische Schaltung programmiert werden kann. Mit der Technologie werden die unzähligen analogen Schaltungen der Relaisstellwerke – die beispielsweise für jede Weichenstellung und jede Signalschaltung erforderlich sind – in digitale Signale umgewandelt und ohne Verzögerung übermittelt. Damit wird eine günstige Lösung für ein ECTS L2-Overlay geschaffen. Ein weiterer Vorteil ist, dass ein mit FPGA-Modul auszurüstendes Relaisstellwerk nichts an der Grundfunktionalität des Stellwerkes ändert, auch kann die bestehende Substanz (Domino 67) voraussichtlich weiter genutzt werden. Die SBB erproben diesen Ansatz in einem Pilotprojekt zusammen mit den ÖBB und der DB. Die Prüfung einer FPGA-Aufrüstung ist geboten, da es viele Strecken mit sehr einfachen Betriebsbildern gibt, wo die Funktionalität eines Relaisstellwerks völlig ausreichend ist.

Durch den frühzeitigen und richtungsweisenden Entscheid, NBS ETCS L2 einzuführen und Erfahrungen zu sammeln, zählten die SBB zu den ersten Bahnen mit verwertbarer Betriebserfahrung mit ETCS L2. Diesem Umstand sind viele positive Impulse für Industrie sowie für andere Bahnen zur Weiterentwicklung von ETCS L2 entsprungen (inkl. Weiterentwicklung Subsets und Baselines, Einbindung Industrie etc.).

Allerdings haben die SBB nicht vollumfänglich die Chance genutzt, aus der erfolgreichen Implementierung ETCS L2 (NBS, LBT) weiterreichende Impulse für eine anschliessende netzweite Einführung L2 abzuleiten und der eigenen SA-Strategie zugrunde zu legen. Folgende Gründe können hierfür u.a. hervorgehoben werden:

- Die enormen Anstrengungen um die Einführung dieser Technologie haben zu "Verschleisseffekten" geführt, die von den positiven Dimensionen einer flächendeckenden Einführung abgelenkt haben. Ausschlaggebend dafür sind Probleme technischer Art (Anschliessen der Relaisstellwerke) gewesen sowie der relativ lange Zeitraum, bevor das neue System zu funktionieren angefangen hat (seit Ende der 90er Jahre bis 2005/2006). Daraus resultieren u.a. die Fokussierung zunächst auf ETCS L1 LS sowie der fehlende Anstoss und Druck, den Lieferantenmarkt im Sinne einer Kosten-/Effizienzsteigerung langfristig proaktiv zu beeinflussen.
- Der zu dieser Zeit – wie aber auch aktuell - immer noch fehlende Nachweis, dass ETCS L2 effizient und ohne nennenswerte Komplikationen insbesondere in grossen

Bahnhöfen und auch bei Rangiertätigkeiten einsetzbar ist. Zu dieser Zeit hat die Industrie schlicht noch keine überzeugenden bzw. gar keine Lösungen im Portfolio gehabt.

Der ETCS-Rollout bis 2017 ist primär durch die Treiber Substanzerhalt, Netzzugang und "Interoperabilität" (Europa) geprägt - Zusatzsicherheit wird darin nicht explizit gefordert. Dieser Rollout umfasst hardwaremässig die Ablösung der streckenseitigen SIGNUM- und ZUB-Komponenten durch ETCS-Komponenten, welche funktionsmässig weiterhin die SIGNUM- und ZUB-Informationen via Telegrammpaket 44 und neu zusätzlich ETCS L1 LS Informationen zu übertragen haben. Die darin implizierte Ersatzstrategie griff bezüglich Sicherheitssteigerung zunächst zu *kurz*:

- Erst durch die Einführung der R I-20027 wird der – an vielen Stellen auch als 1:1-Ersatz genannte – Rollout dahingehend aufgewertet, als dadurch der Einbau zusätzlicher Funktionalität/Sicherheit durch Geschwindigkeitsüberwachung und Abfahrverhinderung auch an ausgewiesenen Punkten gefordert wird, wo diese Sicherheit vorher nicht realisiert gewesen ist. Auch im Rahmen dieses Rollouts von ETCS L1 LS trägt - wie auch bisher mit SIGNUM und ZUB - der *Lokführer* die Sicherheitsverantwortung. Er wird lediglich durch die Zugbeeinflussung im Hintergrund *überwacht*.
- Auch deckt diese ETCS-Strategie nicht primär die Bedürfnisse einer zunehmenden Verkehrsdichte sowie des unbegleiteten Personenverkehrs ab. Durch Umlagerung von Regionalverkehrsvolumina, durch Anpassung der Fahrpläne und Verschiebung von Kreuzungspunkten entstehen neue Situationen, die risikomässig neu zu kalkulieren sind und zu einer Anpassung der Sicherheitsmassnahmen führen können.
- In Bezug auf die einzubauenden LEU's ist festzuhalten, dass die Mini-LEU[15] – bei allen Vorteilen einer aufwandsoptimierten Solarstrom-Versorgung – aktuell aufgrund des Mehrstrombedarfs auf Geschwindigkeitsüberwachung nicht aufwertbar sind. Dies würde bei einer anschliessenden Umrüstung auf ZUB spürbaren Finanzierungsbedarf generieren. Siemens ist zwar daran, eine technische Lösung herbeizuführen, es fehlt jedoch eine verlässliche Aussage über die Machbarkeit und den Zeithorizont.

Die *Umsetzbarkeit* der BAV-Richtlinie „Zugbeeinflussung im schweizerischen Normalspur-Eisenbahnnetz: Migration von SIGNUM / ZUB zu ETCS L1 LS“ wird aufgrund folgender Eckpunkte und identifizierter Herausforderungen im vorgegebenen Zeitraum (bis Ende 2017) als eher schwierig realisierbar beurteilt:

- in dieser Zeit sind *neu verlangte Funktionalitäten* umzusetzen bezüglich automatischer Erfassung der Fehleroffenbarung durch die Fahrzeuge und die Weiterleitung der Meldungen an eine Zentrastelle zur einheitlichen Behandlung. Dadurch soll u.a auch eine einheitliche Projektierung ermöglicht werden.
- Zwecks eines angestrebten einheitlichen Systemverhaltens sollen Betriebsvorschriften und Projektierungsregeln bis Ende 2013 und nach Auswertung der Schattenfahrten im Tessin aktualisiert werden.
- Ebenfalls sind begleitende Risikobewertungen und ein sich daraus ergebendes Einsatzkonzept (wo genügt eine punktuelle Überwachung, wo wird eine kontinuierliche Überwachung benötigt) bis Ende 2013 zur Prüfung vorzulegen.
- Für die Realisierung der Migration ist eine *PGV*-mässige Umsetzung erforderlich, welche umfangreiche Ressourcen (Zeit, Spezialisten-Knowhow, Begleitung der Industrie etc.) benötigt.

Die obengenannten Anforderungen können erst ab Anfang 2014 umgesetzt werden, was die Strategieumsetzung im verbliebenen Zeitraum *fraglich* erscheinen lässt.

[15] Landside Electronic Unit

4.4 Beurteilung Gruppenausfahrsignale

Gruppenausfahrsignale sind heute nicht mehr State of the Art und weisen zusätzliche Risiken insbesondere von Flankenfahrten aus. Der Gefahrenpunkt liegt dabei vor der Überwachung.
Die Gruppenausfahrsignale sind gesondert und unabhängig vom ETCS-Rollout bezüglich erhöhten Risiken zu analysieren. Eine konsequente Ausrüstung mit einer Abfahrverhinderung für Gruppenausfahrsignale, über die besetzte Reisezüge verkehren, ist zu prüfen.

4.5 Abbau der Restrisiken

4.5.1 Umrüstungsprogramme – bisherige Planungen, Sensitivitätsbetrachtung

Unabhängig von der gewählten Ausrüstungsmethode verbleibt beim Betrieb eines Mobilitätssystems ein gewisses Restrisiko. Da das Restrisiko auch abhängig ist von der Anzahl verkehrender Züge und den zu transportierenden Passagieren, steigt das Risiko bei der heute stetig erhöhten Nutzung des Netzes grundsätzlich an. Dies wird bei den Analysen der SBB berücksichtigt (Abbildung 4-1). Diesem steigenden Trend haben die SBB durch Realisierung von zusätzlichen Signalpunkten mit Zugbeeinflussung entgegengewirkt. Dabei ist ersichtlich, dass das steigende Risiko nicht nur kompensiert, sondern bis 2018 signifikant reduziert werden kann. Eine weitere Reduktion des Restrisikos nach 2018 (Eliminierung des letzten Risikodrittels) ist durch den netzweiten Einsatz von ETCS L2 in Planung, ein verbindliches Zieldatum ist allerdings nicht festgelegt.

Ausgehend von getroffenen und geplanten Massnahmen lässt sich der Verlauf des monetarisierten Restrisikos gemäss Abbildung 4-1 darstellen. Dabei ist ersichtlich, dass sich das Restrisiko in den nächsten 5 Jahren signifikant minimiert und langfristig gegen Null zustrebt (blaue Linie). Im Vergleich dazu zeigt die grüne Linie die Zunahme des Restrisikos aufgrund der stetig steigenden Nutzung des Bahnnetzes, falls keine Massnahmen umgesetzt würden.

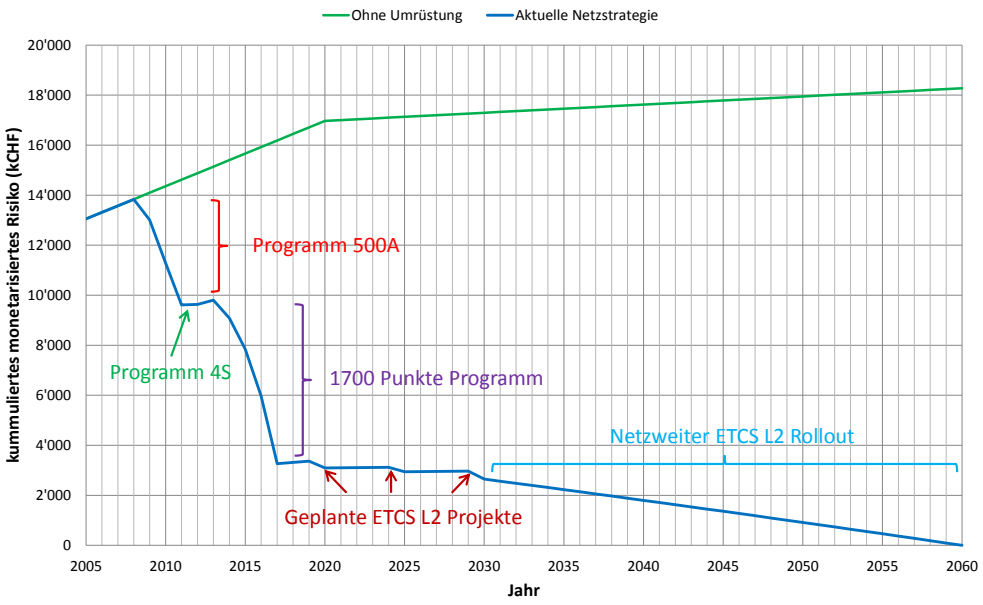


Abbildung 4-1: Verlauf des monetarisierten Restrisikos nach Umsetzung der geplanten Vorhaben und Strategien.

Durch die forcierte Anwendung des Regelwerkes R I-20027 auch bei jenen Anlagen, bei denen kein Neubau oder Anpassung geplant ist, wird bei rund 1‘700 Zugbeeinflussungspunkten (insbesondere bei Ausfahr- und Gleisabschnittssignalen) eine Geschwindigkeitsüberwachung nachgerüstet. Damit verbessert sich das Sicherheitsniveau, gemessen am Restrisiko, gegenüber dem heutigen Stand um mehr als einen Faktor 2.

Durch Verzögerungen bei der Genehmigung des 1700-Punkte-Programms konnten bei den ersten zwei ETCS-Netz Lose (2 & 3 gemäss Abbildung 4-2) die Aufrüstungen noch nicht vorgenommen werden.

Diese Lose wurden also vorerst nur als 1:1 Technologieersatz umgesetzt. Die Punkte, welche mit Signum ausgerüstet waren, sind zu EuroSIGNUM und die Punkte mit Signum/Zub zu EuroSIGNUM/EuroZUB umgebaut worden, *ohne* die Sicherheit zu steigern.

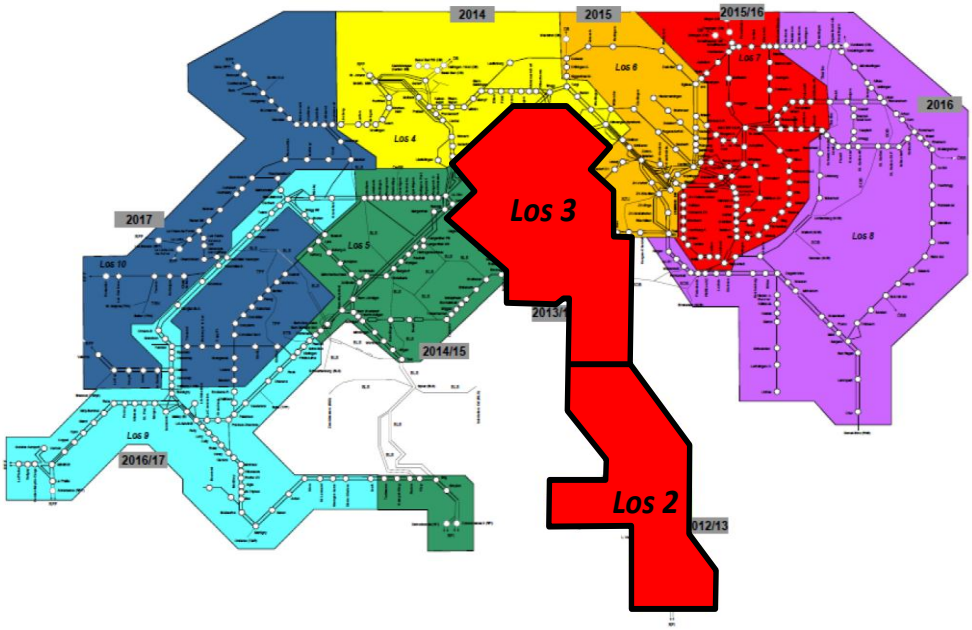


Abbildung 4-2: Vorgesehene Realisierung der Lose im Rahmen des ETCS-Rollouts

Aktuell ist geplant, die vom 1700-Punkte-Programm betroffenen Signale aus den beiden Losen 2 & 3 erst am Schluss des ETCS Netz Rollouts, also Ende 2017/Anfang 2018 aufzurüsten. Würde man diese Ausrüstung dringlich behandeln und bereits im Jahr 2014 abschliessen, könnte dadurch das Restrisiko früher abgesenkt werden, was zu einem Risikounterschied (monetarisierter Nutzen) im Vergleich zum aktuellen Szenario von ca. 4 Mio. CHF führen würde (siehe Abbildung 4-3).

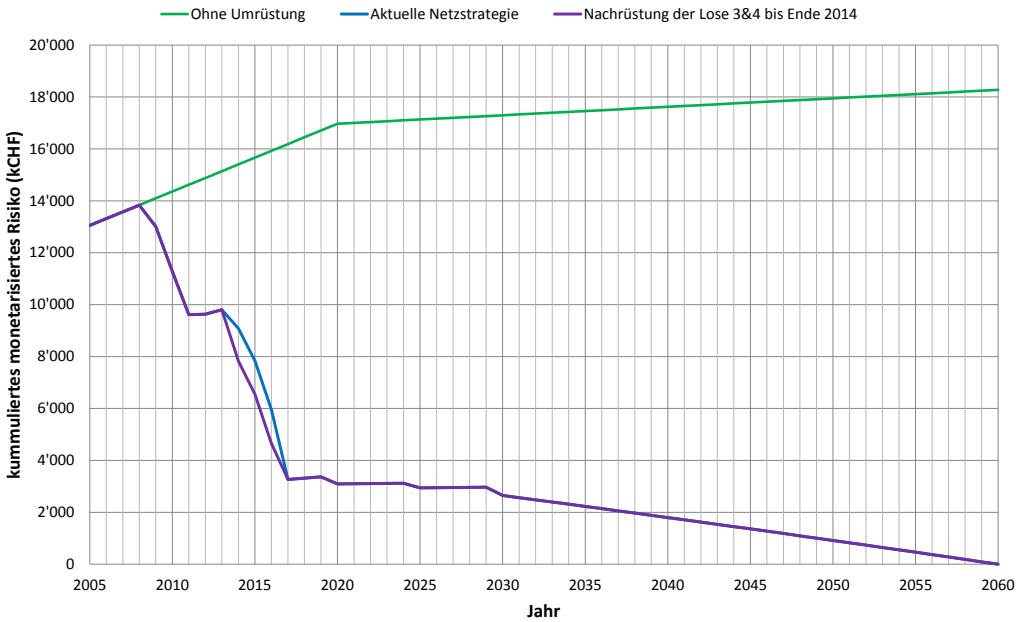


Abbildung 4-3: Verlauf des monetariserten Risikos bei einer vorgezogenen Umrüstung der von R I-20027 betroffenen Anlagen aus den ETCS Netz Losen 2 & 3

Weiter denkbar wäre ein Szenario, bei dem die Reihenfolge der Lose 6 – 10 neu z.B. der Losgrösse nach sortiert wird, d.h. zuerst die grossen und dann die kleinen Lose. Dies würde beispielsweise zu folgender Reihenfolge führen: Los 9 → Los 7 → Los 8 → Los 10 → Los 6. Man kann davon ausgehen, dass die Reihenfolge der Lose 2-5 nicht verändert werden kann, da der Nord-Süd Korridor bis Ende 2015 fertig gestellt sein muss.
Es zeigt sich aber (vgl. Abbildung 4-4), dass eine solche Reorganisation nur eine vergleichsweise geringe Risikoreduktion nach sich zieht.

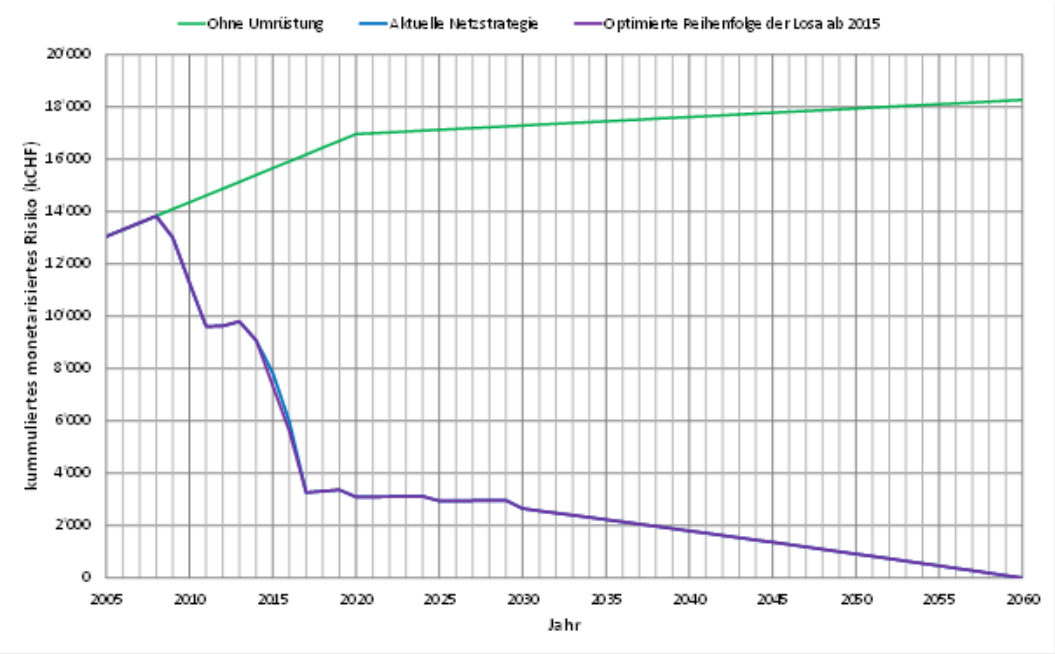


Abbildung 4-4: Verlauf des monetariserten Risikos bei einer Repriorisierung der ETCS-Netz Lose ab Los 6.

Eine risikobasierte Repriorisierung innerhalb der Lose bringt auch insgesamt eher einen geringen Nutzen. Der Nutzen ist kaum quantifizierbar, da der Zeitgewinn pro priorisierter Anlage in der Regel nur ca. einem Jahr entspricht.

Ein beschleunigter flächendeckender Einbau von ETCS L2 würde zum restlosen Abbau des verbliebenden, allerdings schon geringen Risikopotenzials bereits zu einem früheren Zeitpunkt führen (s. nächste Abbildung):

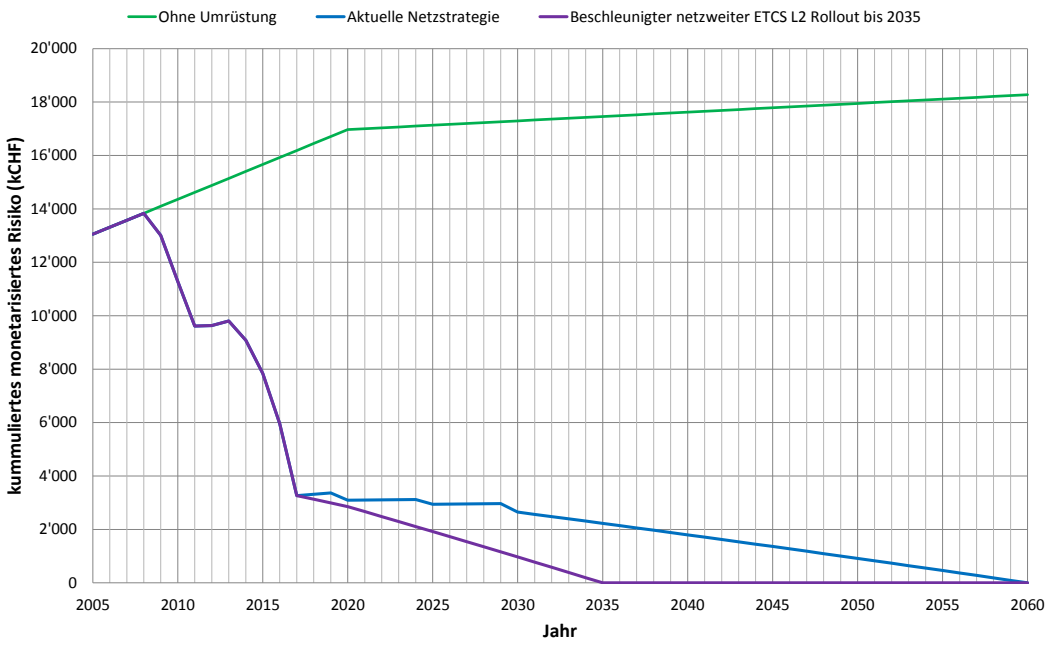


Abbildung 4-5: Verlauf des monetarisierten Risikos bei einem beschleunigten netzweiten ETCS L2 Rollout ab 2017 bis 3035

Eine derartige Beschleunigung hätte natürlich einen massgebenden Einfluss auf den Verlauf des monetarisierten Risikos. Total könnte damit ein Risikounterschied (Nutzen) im Vergleich zum aktuellen Szenario von rund 50 Mio. CHF erzielt werden.

Die Umsetzung des 1700-Punkte-Programms wurde bereits beschleunigt und es ist neu geplant, alle Lose bis Anfang 2018 fertigzustellen. Eine *weitere Beschleunigung scheint unrealistisch*. Entscheidend für die Risikoreduktion ist, dass dieses Programm ohne weitere Verzögerungen bis Ende 2017/Anfang 2018 umgesetzt werden kann.

4.5.2 Weitere sicherheitssteigernde Massnahmen

Der geplante Einbezug von fahrdienstlichen Massnahmen bei Abfahrten auf Einspurstrecken (sog. 4-Augen-Prinzip) bei unbegleitetem Betrieb ist - auch als Überbrückungsmassnahme - äusserst *positiv* zu bewerten. Wo Personal vorhanden ist, kann es sofort eingesetzt werden (7 Bahnhöfe).

Alle betroffenen 7 Bahnhöfe grenzen an Einspurstrecken, haben mindestens 14 abfahrende unbegleitete Personenzüge pro Tag und weisen ein Verhältnis Beschleunigungsweg / Durchrutschweg ≥ 50 auf[16]. Durchsucht man das SBB-Netz[16] nach vergleichbaren Bahnhöfen, so findet man weitere 37 Signale, welche die oben genannten drei Kriterien erfüllen. Vergleicht man die berechneten Risiken[16] der gewählten 7 Bahnhöfe mit den vergleichbaren 37 Signalen, so fällt auf, dass nicht immer diejenigen Bahnhöfe mit den höchsten Risiken gewählt wurden (vgl. Abbildung 4-6). Allerdings ist festzuhalten, dass die Risikoberechnung in Abbildung 4-6 ohne Berücksichtigung von Softfactors wie Sichtbarkeit der Signale erfolgte.

[16]Daten stammen aus dem Excel-File „Analyse ganzes Netz Zusammenfassung_X03.xlsm“ der SBB

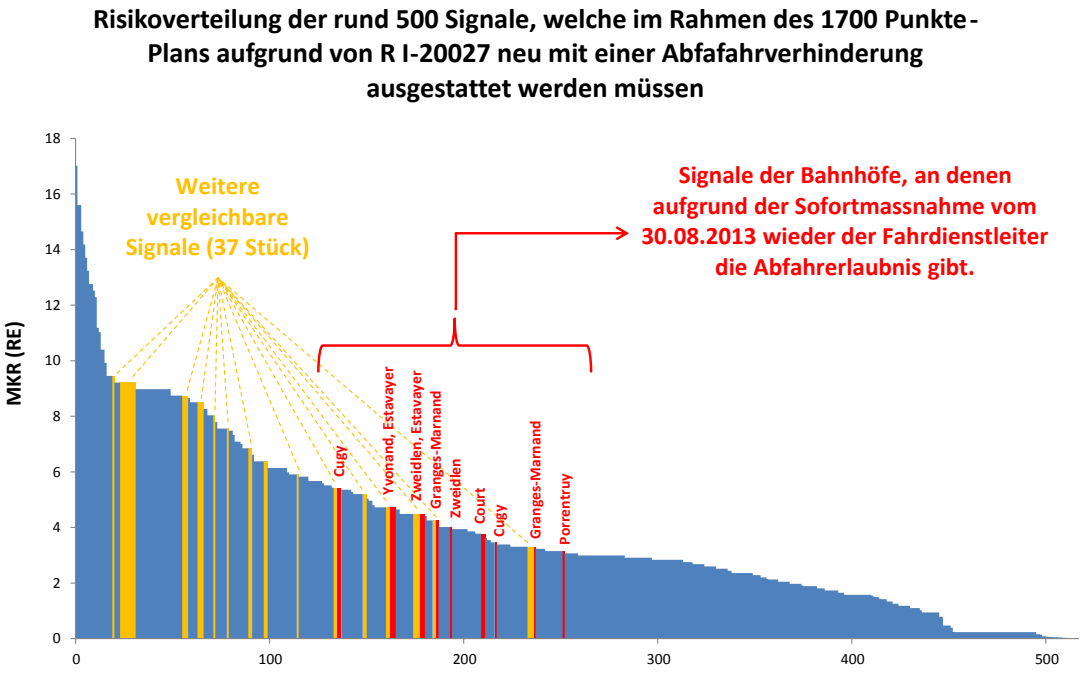


Abbildung 4-6: Einordnung der Risikoreduktion aufgrund der Sofortmassnahmen vom 30.08.2013.

Gestützt auf dieser Gegenüberstellung wird im Kap. 4.8 eine Empfehlung zur Ausweitung des 4-Augen-Prinzips ausgesprochen.

4.6 Vergleiche mit anderen Normalspur-Bahnen in der Schweiz

Beim Vergleich innerhalb der Schweiz stellen sich die folgenden Fragen:

- Vergleich mit der Ausrüstung/Strategie der Geschwindigkeitsüberwachung der anderen schweizerischen Normalspurbahnen (BLS und SOB als wichtigste Normalspurbahnen neben der SBB).
- Ist das Sicherheitsniveau bezüglich Zugbeeinflussung dieser Bahnen mit demjenigen der SBB vergleichbar?

4.6.1 Vergleich mit BLS

Im Vergleich zur BLS ist bei den SBB ein deutlich geringerer Prozentsatz der Signale mit ZUB/ Geschwindigkeitsüberwachung ausgerüstet. Im Unterschied zur SBB rüstet die BLS flächendeckend mit Geschwindigkeitsüberwachung aus. Infolgedessen wird ein vergleichsweise höherer Sicherheitsstandard erreicht. Der höhere Sicherheitsstandard begründet sich darin, dass aktuell ca. 55% der Signale mit Geschwindigkeitsüberwachung und Abfahrverhinderung ausgerüstet sind. Nach BLS-eigenen Angaben werden 2017 ca. 97% aller Signale mit diesen Funktionalitäten (Geschwindigkeitsüberwachung) ausgestattet sein.

Die R I-20027 ist bei der BLS bekannt, erscheint jedoch insbesondere aufgrund der – nach Auffassung der BLS - aufwendigen Anwendung mit vielen Ausnahmefällen schwerfällig. Daher wurde die flächendeckende Ausrüstung mit Geschwindigkeitsüberwachung und Ab-

fahrverhinderung, wo der Durchrutsch-Weg nicht ausreichend ist, eingeführt. Die Ausgangslage ist allerdings bei der BLS unterschiedlich wegen des hohen Anteils elektronischer Stellwerke und der dichteren Stromversorgung (die Geschwindigkeitsüberwachung benötigt eine Stromversorgung). Ausserdem agiert die BLS aus der "komfortablen" Position eines flächenmässig viel kleineren Bahnbetreibers.
Zu den im Vergleich zu den SBB günstigeren Rahmenbedingungen ist allerdings insbesondere auch auf die Finanzierung der Massnahmen zur Reduktion des Restrisiken hinzuweisen – seitens BAV werden für die beiden Bahnen BLS und SOB Finanzmittel zur Eliminierung der Unfallrisiken an Ausfahr- und Gruppensignalen durch Einbau von Geschwindigkeitsüberwachung und Abfahrverhinderung zur Verfügung gestellt. Insgesamt wäre in diesem Zusammenhang ein risikobasierter Einsatz der vorhandenen Finanzmittel über alle Bahnen zu prüfen.
Das Risiko bei den Gruppenausfahrtsignalen ist bei der BLS durch die Abfahrverhinderung weitestgehend eliminiert.

4.6.2 Vergleich mit SOB

Auch die SOB verzeichnet einen viel höheren Prozentsatz mit Geschwindigkeitsüberwachung und Abfahrtsverhinderung ausgerüsteter Signale. Aktuell sind 78% aller ca. 315 Signale mit euroZUB ausgerüstet, bis Ende Jahr werden es 89% sein. Grundsätzlich wird kein risikobasierter Ansatz wie bei den SBB verfolgt. In der Regel wird auch Signum zu EuroZUB umgebaut, nur bei Barriere-Deckungssignalen wird ein Signum zu EuroSignum umgebaut. Abfahrverhinderungen werden entweder mit Infill-Balise oder mit Loop installiert.

Seit 2011 wird die Abfahrtsituation netzweit überprüft. Kriterien für den Einbau einer Abfahrverhinderung sind vor allem die Aufstartposition des Zuges, die Beschleunigung bis zum Signal und der Gefahrenpunkt, die sehr pragmatisch angewandt werden: überall dort, wo der Durchrutschweg kürzer als der Bremsweg ist, wird eine Infill-Balise oder ein Loop installiert.

Aktuell sind 10 Gruppenausfahrsignale auf 5 Bahnhöfen installiert. Allerdings sind bei allen Ausfahrsignalen die Magnete vor dem Signal installiert. Generell werden keine neuen Gruppenausfahrsignale eingebaut (einzige Ausnahme aus Platzgründen) mit Ausnahme von nicht von fahrplanmässigen Zügen befahrenen Gleisen (Nebengleisen).

4.7 Internationaler Vergleich

Der Sinn dieses Kapitels besteht in der Gegenüberstellung von statistischen Auswertungen bezüglich Ausrüstungsstand pro angefragte Bahn. Diese Bahnen sind per Ende Juni seitens SBB angefragt worden, relevante Statistik auf Basis eines strukturierten Fragebogens an die SBB zurückzusenden, um den internationalen Vergleich abzustützen.

Per Ende September haben allerdings nur fünf ausländische Bahnverwaltungen auf diese Umfrage reagiert. Auch ist festzuhalten, dass aus deren Antworten nicht immer abgeleitet werden kann, wie viel Abfahrverhinderungen bei den einzelnen Signalen jeweils implementiert sind.

Diese und andere entdeckte Inkonsistenzen machen einen nachvollziehbaren Vergleich auf dieser Basis vorerst schwierig. Die entsprechenden Ergebnisse können erst nach Vorliegen aller Daten ausgearbeitet werden.

4.8 Empfehlungen

Aufgrund der Ergebnisse der durchgeführten Analyse, der als nicht vollständig ausgenutzten identifizierten Potenziale und der vergleichenden Gegenüberstellung mit anderen Bahnen in der Schweiz sowie Europas werden nachfolgend Empfehlungen aufgeführt.

a. Die planerisch vorbereiteten und teilweise angelaufenen Massnahmen zur Sicherheitssteigerung im Rahmen des 1700-Punkte-Programms, welches bis Ende 2017/Anfangs 2018 zu einer Halbierung des monetarisierten kumulierten Risikos führt, sind unter vollem Mobilisieren *aller Ressourcen* termingerecht umzusetzen. Falls machbar und aus Kosten-/Nutzen-Sicht sinnvoll, ist über eine geschickte Repriorisierung eine vorgezogene Umrüstung der gefährlichsten Punkte zu empfehlen.
   Angesichts der umfangreichen *Abhängigkeiten und Verzahnung* mit parallel laufenden Projekten (Stw-/Block-Anpassungen/- Ersatz etc.) und der Industrie, der sehr *knappen* Ressourcen und dem *ambitionierten Zeitplan* sind risikobasierte Optimierungen in der zeitlichen Reihenfolge der Ausrüstung jedoch nur soweit vorzunehmen, als keine terminlichen Verzögerungen bei der Umsetzung des gesamten Programmes zu erwarten sind. Andernfalls wären gesamthaft betrachtet die Restrisiken Ende 2017 in diesem Fall grösser als ursprünglich geplant.
   Allenfalls ist jedoch eine *vorgezogene, rasche Ausrüstung* der vom 1700-Punkte-Programm betroffenen Signale in den bereits realisierten Lose 2 und 3 des ETCS Netz Rollouts zu prüfen, welche aktuell erst Ende 2017 vorgesehen ist[17]. Die Massnahme ist nur umzusetzen, soweit die Umsetzung des übrigen Programms nicht negativ beeinflusst wird.

b. Bezüglich einer Repriorisierung ist die vorgezogene Umrüstung von Abfahrverhinderung auf Einspurstrecken im unbegleiteten Betrieb insbesondere von Gruppenausfahrsignalen anzugehen:

   - Um Ressourcen zu sparen, ist auch eine Anpassung oder ein *pragmatischer* Einsatz der Ausrüstungsmethode R I-20027 *ohne Berücksichtigung* der entsprechenden Ausnahmefälle (bei Ausfahr- und Gleisabschnittsignalen) ab 2018 zu überprüfen. Wie bei anderen Normalspurbahnen in der Schweiz (BLS, SOB) könnte eine nutzungsunabhängige Anwendung für den unbegleiteten Personenverkehr auf Einspur-Strecken herangezogen werden. Nach Vollendung der Programme würden Abfahrverhinderungen an allen Perronkanten in den empfohlenen Gleiskategorien eingebaut sein.
   - Für diese Massnahmen sollen *zusätzliche* Finanzmittel zur Verfügung gestellt werden.

c. Zügige Vorbereitung einer *flächendeckenden ETCS-L2* Strategie für die Zeit nach 2017 mit dem Ziel einer *forcierten* Einführung zu einem *vorgezogenen Zieldatum der Inbetriebnahme, welches nicht später als 2030/35 liegen dürfte*:

[17] Bei den Losen 2 und 3 sind zwar keine Priorität-1-Punkte vorhanden, aber das Optimierungspotenzial dieser Massnahmen resultiert aus der Vielzahl Signalpunkte.

- Als Basis sollten die Fortschritte von ETCS L2-Projekten bei anderen Bahnen (Holland, Belgien, Dänemark) aber insbesondere bei den SBB-Projekten auf der Gotthard-Basislinie, LBT und der NBS zugrunde gelegt werden. Insbesondere geht es dabei darum, die *Erfolgsfaktoren* für eine netzweite Implementierung von ETCS L2 in deren ganzheitlichen Tragweite und unter den Randbedingungen der SBB zu erkennen und entsprechende Massnahmen im Rahmen einer Langfriststrategie zu verabschieden.
- Entscheidend wird allerdings der bei diesen Bahnen erhoffte praktische *Nachweis der Systemreife* sein (Anwendung in Knoten sowie beim Rangieren) – die aktuellen und erwartenden Fortschritte der ETCS L2-Technologie lassen jedoch in einem best-case-Szenario wenig Zweifel an diesem praktischen Nachweis aufkommen.
- Um diese Strategie zu lancieren ist eine „State of the Art"-Gegenüberstellung mit der in den nächsten 8-10 Jahren zu erwartenden Entwicklung der SA-Landschaft in Europa aufzusetzen (*dynamischer Vergleich*). Ein *statischer* Vergleich, wie der vorliegende, zur Ist-Situation greift zu kurz, da die aktuelle Entwicklung der Zugbeeinflussung bei den meisten (betrachteten) Bahnen dadurch geprägt ist, dass in der Erwartung der Weiterentwicklung (=Zunahme der Systemreife) von ETCS L2 als Standard in Europa heutzutage jede dieser Bahnen von Weiterentwicklungen ihrer Zugbeeinflussungen *absieht*. Dadurch sind die „statisch" ermittelten Gaps (zur Situation heute) möglicherweise nicht ausreichend gross, um zu grossflächigen Vorwärtsstrategien zu animieren bzw. dies zu rechtfertigen.
- Der Zeitrahmen 2030/35 erscheint aufgrund des seit 2009 und bis 2022 laufenden Mandats des Gutachters beim aktuell weltweit ambitiösesten flächendeckenden ETCS L2-Projekt der Dänischen Eisenbahnen (BDK) durchaus realistisch – Grundlage dafür ist die Definition eines stichhaltigen Business Case zur Plausibilisierung der Investitionen, welcher sorgfältig auszuarbeiten und mit Politik und allen Stakeholders abzustimmen ist.

d. Steigerung der Betriebssicherheit durch Ausweitung der Aktivitäten auf andere Bereiche/Aspekte mit Fokus auf *Personalmassnahmen:*

- Durch konsequente Nutzung der Potenziale des 4-Augen-Prinzips mittels Einbezug von Fahrdienstleitern bei Bahnhöfen mit Gruppensignalen kann eine spürbare Senkung des Risikopotenzials in *kurzer Zeit* erzielt werden.
- Diese Massnahmen sollen nicht nur als Überbrückungsmassnahmen und nicht nur auf Strecken mit aktuell eingesetzten Fahrdienstleitern geprüft werden. Die Zusatzkosten für die konsequente Ausweitung dieser Massnahmen auf alle Einspurstrecken mit Gruppensignalen und möglichst auch darüber hinaus im unbegleiteten Betrieb sollen durch zusätzlich zu beantragende und umzusetzende Mittel finanziert werden.
- In der *Kombination aus technischen und personalbezogenen* Massnahmen wird eine *sofortige und grosse Hebelwirkung* gesehen – hierzu sind

auch die Massnahmen aus dem parallel laufenden Mandat „Einflussfaktoren aus dem Arbeitsumfeld des Lokführers“ zügig umzusetzen.

e. Ergänzend zur R I-20027, welche die topologische und betriebliche Situation zur Ausrüstung von Signalpunkten bei der Ausrüstung von Signalpunkten zur effizienten Sicherheitssteigerung berücksichtigt, sollten auch Softfactor-Erkenntnisse aus dem Bereich Mensch/Lokführer umgesetzt werden. Bei Signalpunkten, bei denen sich Signalfälle häufen oder bei Signalen, die von den Lokführern als schlecht sichtbar bezeichnet werden, ist eine zusätzliche Ausrüstung mit ZUB zu prüfen.

f. Weitere Massnahmen aus dem Bereich „Stellwerke“, die ausserhalb der eigentlichen Signalfälle-Untersuchung liegen jedoch in einem gesamtheitlich risikomindernden Zusammenhang als wichtig anzusehen sind:

- Dem – im Vergleich zu den Signalfällen - grösseren Gefahrenpotenzial für Unfälle aus dem Bereich Rangieren ist im Hinblick auf einen optimierten Einsatz der beschränkten finanziellen Mittel gebührende Achtung zu schenken. Für nicht mit Zwerg- oder Rangiersignalen abgesicherte Gefahrenpunkte wurde aufgezeigt, dass durch eine stellwerkseitig angesteuerte Signalisation die Risiken um ca. einen Faktor 40 gesenkt werden können. Bei der Anpassung der Stellwerke im Rahmen des ETCS Rollout sind diese Aspekte in die Analysen einzubeziehen und eine Ausrüstung mit Zwergsignalen zu prüfen. Um den hochindustrialisierten Rollout-Prozess nicht zu stören, sollten diese Überprüfungen ausserhalb des Rollouts erfolgen. Der Mehraufwand ist aus den zusätzlichen Finanzierungspaketen zu finanzieren.
- Bereich Statistik: es wird empfohlen, bei den statistischen Auswertungen und Kommunikation intern und extern nicht mehr pauschal von ZUB121-Ausrüstungen oder von Geschwindigkeitsüberwachungen zu reden. Da daraus nicht entnommen werden kann, wann und wo auch eine Abfahrverhinderung eingebaut wird, kann daraus *kein Indiz* auf die tatsächlich realisierte Steigerung der Sicherheit abgeleitet werden. Daher ist explizit zu unterscheiden zwischen „ZUB121 mit Geschwindigkeitsüberwachung aber *ohne Abfahrverhinderung“* und „ZUB121 mit Geschwindigkeitsüberwachung *und* Abfahrverhinderung“. Bei Bedarf soll in diesem Zusammenhang auch die Datenbank DAZU um die entsprechenden Merkmale erweitert und optimiert werden.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die SBB die Risikosituation um die Signalfälle erkannt und Massnahmen eingeleitet haben, die sich als zukunftsorientiert und ganzheitlich konzipiert charakterisieren lassen können. Obwohl die Unfälle durch Signalfälle im Vergleich zu anderen Unfällen (Rangieren, Arbeiten am Gleis, Bahnübergängen u.a., siehe Kapitel 3.1) statistisch gesehen eher gering ausfallen, ziehen sie eine vergleichsweise sehr hohe mediale Aufmerksamkeit auf sich, da hier – im Unterschied zu anderen Unfallarten – der Verursacher „Bahn“ und nicht ein unaufmerksamer Autofahrer oder Suizid oder „höhere Gewalt von aussen“ – als Verursacher angegeben werden kann und wird.

Die SBB hatten rechtzeitig, noch Ende der 90er Jahre, ETCS als den zukünftigen Europäischen Standard erkannt und als eine der ersten Bahnen Massnahmen für die langfristige Vorbereitung auf eine netzweite Implementierung eingeleitet. Besonders positiv ist in diesem Zusammenhang die umsichtige und strategisch durchdachte Vorbereitung von Infrastruktur- und Fahrzeugmassnahmen mit einem bisher stabilen Zeithorizont hervorzuheben. Weiterhin ist den SBB zu attestieren, dass sie unter der Massgabe der jeweils geltenden übergeordneten Strategie der Sicherungsanlagen *zunächst risikoorientierte*, anschliessend immer mehr *effizienzorientierte* Massnahmen für die Sicherheitssteigerung (Ausrüstung von Signalpunkten mit Zugbeeinflussung) in die Wege geleitet haben. Hierzu wurden Methodik und Tools zur risikoorientierten Ausrüstung mit ZUB bereits seit Mitte der 90er Jahre entwickelt und einer ständigen Anpassung an die Risikosituation unterworfen. Dies hat dazu geführt, dass in einem umfassenden und ganzheitlichen Ansatz seit der Mitte der 90er Jahre die Restrisiken durch Unfälle aufgrund von Signalfällen im Netz der SBB stark reduziert werden konnten.

Ausgehend von den ursprünglichen sehr günstigen Ausgangspositionen hinsichtlich ETCS L2 – hier zählen die SBB zu den ersten Bahnen mit Real-Life-Erfahrung aus hochkomplizierten Betriebsbildern europaweit – waren die SBB allerdings nicht in der Lage, diesen Abstand gegenüber den anderen europäischen Bahnen auszubauen oder gar zu vergrössern. Die sehr lange, aufwendige wie auch „rückschlagsintensive“ Zeit bis zur Implementierung der ersten ETCS L2-Strecken, aber auch die zu damaliger Zeit noch fehlenden reifen Produkte der Systemlieferanten, haben dazu geführt, dass sich die SBB nach der Inbetriebnahme des LBT nicht mehr prioritär auf die flächendeckende Einführung von L2 konzentrierten.

Die in den letzten Jahren geschehenen Unfälle sind auf vielfältige Entwicklungen und Umstände zurückzuführen. Dazu gehören eine höhere Netzbelastung und dichtere Fahrpläne, Abzug von Personal aus der Fläche, unbegleiteter Betrieb aber auch die nur teilweise vorhandene Geschwindigkeitsüberwachung und Abfahrverhinderung bei Signalpunkten, Monotonie des Arbeitsumfeldes der Lokführer, immer geringere Zeitreserven, gestiegener Leistungsdruck und ähnliches – alles Umstände, die in der Kombination mit vergleichsweise zu kurzen Durchrutschwegen eine erhöhte Gefahr für Unfälle aufgrund von Signalfällen insbesondere bei Abfahr- und Abschnittsignalen darstellen. Bei dem aufgrund dieser Unfälle beschlossen 1700-Punkte-Programm zur Sicherheitssteigerung sind die Massnahmen mit dem Ziel Einbau einer Geschwindigkeitsüberwachung und gegebenenfalls Abfahrverhinderung mit einer Reihe anderer Massnahmen wie Stellwerksersatz und ETCS-Migration verzahnt. Durch die anspruchsvolle Umsetzung dieses Programmes bis Anfang 2018 kann das heutige Restrisiko und die damit verbundene Unfallhäufigkeit aufgrund von Signalfällen um einen Faktor 2 reduziert werden.

Hinsichtlich der Funktionalität der eingebauten Zugbeeinflussung wurde ein mehrstufiger Vergleich mit den „State of the Art"- Systemen vorgenommen. Als „State of the Art" wurden diejenigen Funktionalitäten postuliert, die gleichzeitig dem besten verfügbaren System entsprechen, und welche gleichzeitig eine praktisch erwiesene Systemreife und gebührende Verbreitung erreicht haben. Die im Netz der SBB vorzufindenden Konstellationen:

- Nur Signum (im überwiegenden Teil des Netzes)
- Signum mit ZUB (inkl. Geschwindigkeitsüberwachung)
- ZUB mit Geschwindigkeitsüberwachung und Abfahrverhinderung

werden im internationalen Vergleich wie folgt positioniert:

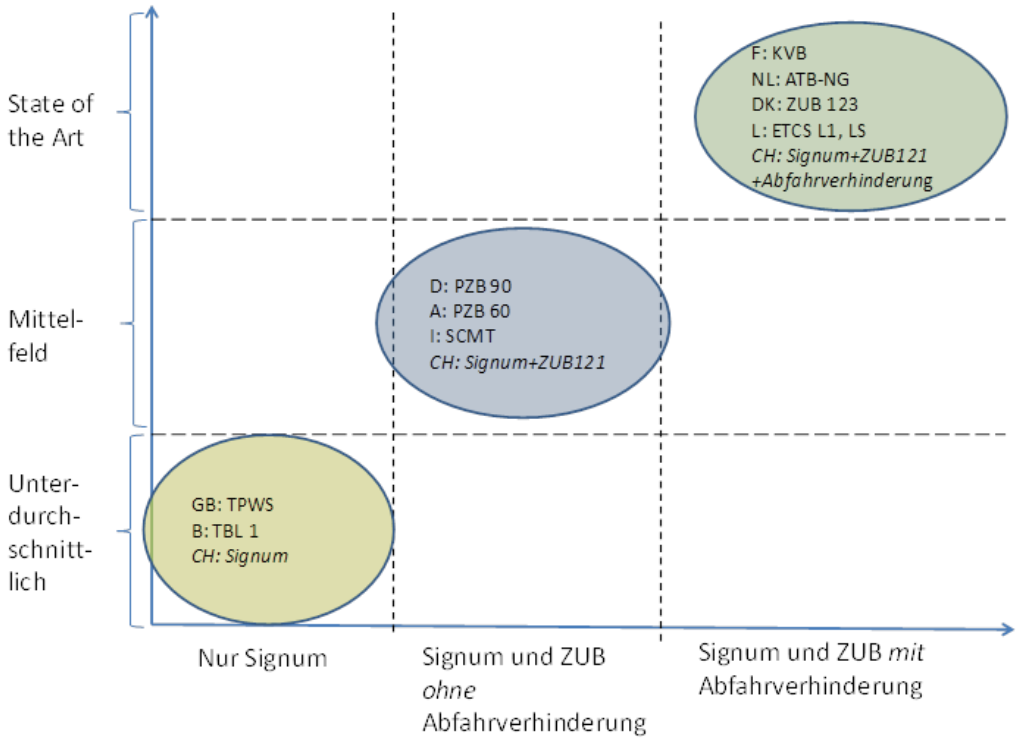


Abbildung 5-1: Zugbeeinflussungstechniken und -funktionen bei den SBB im Vergleich zu den Anforderungen an moderne Zugbeeinflussungssysteme – Gegenüberstellung mit anderen Bahnen und „State of the Art"

Diesem Vergleich nach belegen die SBB bei den Funktionalitäten „Signum+ZUB121 mit Abfahrverhinderung" einen mit den besten Bahnen vergleichbaren Stand gemäss State of the Art. Dabei ist jedoch festzuhalten, dass lediglich ca. 1/3 aller mit ZUB ausgerüsteten Signale bei den SBB auch noch mit einer Abfahrverhinderung ausgerüstet sind.

Der überwiegende Teil des Netzes, also ca. zwei Drittel der Signalpunkte, welches nur mit Signum ausgerüstet ist, liegt im internationalen Vergleich im hinteren Drittel. Allerdings ist hier zu unterstreichen, dass die Grundfunktionen einer Zugbeeinflussung hinsichtlich Halt/Warnung auch nur mit Signum signalpunktspezifisch *ausreichend* sicher erfüllt werden können. Ein Drittel des Netzes, welches mit Signum und ZUB ohne Abfahrverhinderung

ausgerüstet ist, erreicht hingegen einen Rang im guten Mittelfeld. Hier sei allerdings unterstrichen, dass an Signalstandorten mit ausreichendem Durchrutschweg auch die Kombination Signum und ZUB ohne Abfahrverhinderung als State of the Art bezeichnet werden kann.

Die Frage nach der Position der SBB im internationalen Vergleich soll allerdings zwingend auch aus einer anderen Position, die die *Erwartung und Wahrnehmung* der Systemnutzer widerspiegelt, betrachtet werden: seitens der Reisenden und der Bevölkerung in der Schweiz besteht einer Bahn wie den SBB gegenüber eine berechtigte Erwartungshaltung, die einen „State of the Art“ insbesondere bei der Zugbeeinflussung erwartet:

- Die SBB geniessen einen hohen Vertrauensbonus und ein hohes Image, die sie nicht aufs Spiel setzen dürfen. Nach den Unfällen in den letzten Jahren haben die SBB beispielsweise viele Massnahmen in die richtige Richtung eingeleitet.
- In Folge dessen haben die SBB aktuell den „Gang“ zur Sicherheitssteigerung beschleunigt, stossen allerdings auf Engpässe aus Ressourcensicht.

Der Stellenwert der Bahnen in der Schweiz ist unvergleichbar hoch – Unfälle bei „meiner Bahn“, so die Wahrnehmung der Reisenden, erschüttern vergleichsweise viel stärker und werden schlicht nicht hingenommen. Die SBB haben eine sehr hohe Reputation zu verteidigen – weitergehende als rein technisch und risikoorientierte Massnahmen sind zwingend gefordert und der Erwartungshaltung folgend.

Abschliessend muss festgehalten werden, dass es – sei es aufgrund eines schlechten Kosten-Wirksamkeitsverhältnisses oder mangelnder Ressourcen und solange kein ETCS L2 flächendeckend eingeführt ist – immer (Ausfahr-) Signalpunkte geben wird, die nicht mit Geschwindigkeitsüberwachung oder Abfahrverhinderung ausgerüstet sind. Unabhängig von deren Restrisikopotenzial kann es an diesen Punkten jederzeit zu einem Unfall kommen. Dies ist eine Folge des risikobasierten Ansatzes. Daher ist es angezeigt und erforderlich, einen pragmatischen Mix aus technischen und auch „soft-factor“ bezogenen Massnahmen (siehe Empfehlungen) zu implementieren, um diese potenziellen Unfälle wirksam zu reduzieren. Angesprochen sind hiermit Massnahmen aus dem Komplex des „4-Augen-Prinzips“ unter der Mitwirkung der Fahrdienstleiter oder aber der gezielten Ausrüstung mit Abfahrverhinderung an Ausfahrten insbesondere bei Gruppensignalen an Einspurstrecken mit unbegleitetem Personenverkehr. Die hierfür allenfalls noch erforderliche Zusatzfinanzierung sollte als dringend angesehen werden.

Im Hinblick auf einen weiteren Abbau der verbleibenden Restrisiken sollte das Grundprinzip der zukünftigen ETCS-Strategie auf jeden Fall die zügige Vorbereitung einer *flächendeckenden ETCS-L2* Strategie mit dem Ziel einer *forcierten* Einführung und flächendeckender Vollendung möglichst vor 2030/35 sein.

6 Grundlagen und betrachtete Dokumente

[1] 2012: pave Muster HS-Fälle Konzern, Schweizerische Bundesbahnen SBB,

[2] 2013: Auszählungen ZBP, welche über V-Ü und W/H Funktion Verfügen, S. 1, Schweizerische Bundesbahnen SBB,

[3] 2013: Trassenkilometer, Schweizerische Bundesbahnen SBB,

[4] Badran, W. & Sommer, S.: Brief - Bestätigung zur risikoorientierten Ausrüstungsmethode bei der Zugbeeinflussung, vom 03.11. 2012 an Bundesamt für Verkehr BAV; Sektion Zulassungen und Regelwerke.

[5] BAV, 2012: Richtlinie Zugbeeinflussung im schweizerischen Normalspur-Eisenbahnnetz - Migration von SIGNUM / ZUB zu ETCS L1 LS, V 1.00, Bundesamt für Verkehr BAV.

[6] Eder, T.: Brief - Sicherheitsstandards Zugbeeinflussung: Wirtschaftlich optimierte Investition in die Sicherheit im Rahmen vom Programm ETCS Netz, vom 27.08. 2010 an P. Gauderon.

[7] Eder, T. & Zeilstra, P.: Brief - Risikoorientierte Ausrüstungsmethode Zugbeeinflussung, vom 04.02. 2013 an SBB AG; Zugbeeinflussung.

[8] European Railway Agency ERA, 2011, 2012 - Railway Safety Performance in the European Union.

[9] Füglistaler, P. & Eder, T.: Brief - Information zur Weiterentwicklung der ETCS-Strategie, vom 10.08. 2011 an Verschiedene.

[10] Gauderon, P. & Mattenberger, R.: Informationsvorlage - Migration zum European Train Control System (ETCS) - Stand der Umsetzung des Programms ETCS Netz, vom 17.06. 2009 an CEO der Schweizerischen Bundesbahnen SBB.

[11] Gauderon, P. & Schmidt, S.: Brief - Sicherheitsstandards Zugbeeinflussung: Wirtschaftlich optimierte Investition in die Sicherheit im Rahmen vom Programm ETCS Netz, vom 30.06. 2010 an T. Eder.

[12] Geschäftsleitung SBB: Strategie Infrastruktur - Neue Technologien, vom 13.05. 2002 an Verwaltungsrat der SBB.

[13] Geschäftsleitung SBB: Projekt Weiterentwicklung Zugsicherung unter dem Aspekt der Sicherheit PDB-Nr. 905A0067, vom 10.11. 2005 an Verwaltungsrat der SBB.

[14] International Rail Safety Network IRSN, 2011: IRSN - Comparison of Safety Related Events 2005 - 2010 (VERTRAULICH)

[15] International Union of Railways UIC, 2012, Safety Database: Full Activity Report 2012 - Significant Accidents 2011 / General Report and Benchmarking.

[16] König, P., 2012: Bahnland Schweiz vor wichtigen Weichenstellungen (PPT-Präsentation), S. 24, Bundesamt für Verkehr BAV,.

[17] Pachl, J., Kapitel 3.4 Zugbeeinflussung. In Systemtechnik des Schienenverkehrs (9): Vieweg + Teubner / GWV Fachverlage GmbH.

[18] SBB Infrastruktur, 2010: Umsetzungsvarianten ETCS Netz (PPT-Präsentation), S. 15, Schweizerische Bundesbahnen SBB AG,.

[19] SBB Infrastruktur, 2012: Netzzustandsbericht 2011 (inkl. Anhang), Schmidt, S. & Schneider, J

[20] SBB Infrastruktur, 2013: Netzzustandsbericht 2012 (inkl. Anhang), Schneider, J.

[21] Schweizerische Bundesbahnen SBB AG, Dokumentation Risikoberechnung, Schweizerische Bundesbahnen SBB AG.

[22] Schweizerische Bundesbahnen SBB; Baudirektion, 1995: Risikoorientiertes Konzept für den Einsatz der Zugsicherung ZUB auf dem Netz der SBB - Dokumentation (Kapitel II: Methodik), Ernst Basler + Partner AG.

[23] Schweizerische Bundesbahnen SBB; Baudirektion, 1995: Risikoorientiertes Konzept für den Einsatz der Zugsicherung ZUB auf dem Netz der SBB - Schlussbericht vom Dezember 1995, Ernst Basler + Partner AG.

[24] Schweizerische Bundesbahnen SBB; Baudirektion, 1996: Risikoorientiertes Konzept für den Einsatz der Zugsicherung ZUB auf dem Netz der SBB - Ergänzung zum Schlussbericht vom Dezember 1995, Ernst Basler + Partner AG.

[25] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2001: Analyse der Risiken infolge von Zusammenstössen zwischen Rangier- und Zugfahrten - Schlussbericht vom 3. Oktober 2001, Ernst Basler + Partner AG.

[26] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2001: Risikoanalyse Zugsicherung: Vereinfachte Methodik zur Einstufung von Gefahrenpunkten - Schlussbericht vom 3. Oktober 2001, Ernst Basler + Partner AG.

[27] Schweizerische Bundesbahnen SBB; Sicherheit und Qualität, 2005: Risikoanalysen Zugsicherung (2001) - Zusammenfassung, Version 2, Kämpf, T.

[28] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2005: Weiterentwicklung der Zugsicherung auf dem Netz der SBB unter dem Aspekt der Sicherheit - Schlussbericht vom 20. Mai 2005, Ernst Basler + Partner AG.

[29] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2005: Weiterentwicklung der Zugsicherung auf dem Netz der SBB aufgrund veränderter Rahmenbedingungen unter dem Aspekt der Sicherheit - Antrag, Vogt, H. & Hess, H.

[30] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2006: Konzept zur weiteren Umsetzung des European Train Control Systems ETCS auf dem Normalspurnetz der Schweiz, Schweizerische Bundesbahnen SBB; Geschäftsleitung.

[31] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2008: Konzept zur weiteren Umsetzung des European Train Control Systems ETCS - Anpassung der Umsetzungsschritte, Schweizerische Bundesbahnen SBB; Geschäftsleitung.

[32] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2009: Beschlussvorlage - Programm "Weiterentwicklung Zugsicherung unter dem Aspekt der Sicherheit (500 Abschnitte)", Schweizerische Bundesbahnen SBB.

[33] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2009: Risikoorientierte Priorisierung des Einsatzes von Technik für die Sicherheit bei der Infrastruktur - Schlussbericht (inkl. Anhang), Ernst Basler + Partner AG.

[34] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2011: Erklärungen und Begründungen zum Inhalt der Dokumentation R I-20027, Schweizerische Bundesbahnen, Geschäftseinheit I-AT-ZBF SBB, Bern.

[35] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2011: Geschäftseinheit I-ZBF - Sicherheitsbericht: Gruppensignale, Signale ohne SIGNUM und Geschwindigkeitsschwellen, Version V1.1, Mosele, U.

[36] Schweizerische Bundesbahnen SBB AG, 2011: Geschäftseinheit Zugbeeinflussung: ETCS Netz - Prinzipien der Zugbeeinflussung, Version X3.3, SBB; Infrastruktur Zugbeeinflussung.

[37] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2011: Memorandum - Zugbeeinflussung: Zusätzliche Investition beim Programm ETCS Netz / Anlagenstrategie aus Fokus Sicherheit, Sommer, S.

[38] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2011: R I-20027: Einsatz von Zugbeeinflussungssystemen auf optisch signalisierten Strecken, Schweizerische Bundesbahnen, Geschäftseinheit I-AT-ZBF SBB, Bern.

[39] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2012: R I-AT-ZBF Z43: Projektierungsregeln LEU, Eurobalisen und Euroloops für Zugbeeinflussung, Schweizerische Bundesbahnen, Geschäftseinheit I-AT-ZBF SBB, Bern.

[40] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2013: 1. POL Externe Gutachten "Kollision Neuhausen" (PPT-Präsentation), S. 14, Schweizerische Bundesbahnen SBB ,.

[41] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2013: Arbeitsumfeld Lokpersonal mit Einfluss auf Signalfälle (PPT-Präsentation), S. 13, Schweizerische Bundesbahnen SBB ,.

[42] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2013: Ereignisanalyse Kollision in Neuhausen vom 10.01.2013 infolge Signalfall (VERTRAULICH!), Matter, L.

[43] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2013: Ereignisanalyse -Streifkollision Zug 20330 (Thurbo) mit Zug 19126 (SBB P) in Neuhausen am 10.01.13 (VERTRAULICH!), Schweizerische Bundesbahnen SBB; K-SQ.

[44] Schweizerische Bundesbahnen SBB AG, 2013: Hauptsignalfälle, Netz SBB,

[45] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2013: Memorandum - Ausrüstungssituation Zugbeeinflussung / Anlagestrategie ETCS mit Fokus auf den Unfall in Neuhausen und die zurzeit laufenden und geplanten sicherheitssteigernden Massnahmen, Sommer, S.

[46] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2013: Sofortmassnahmen und Repriorisierung der Implementierung von Zugbeeinflussungssystemen, Version V1.0, Mosele, U.

[47] Schweizerische Bundesbahnen SBB, 2013: Zugkollision Neuhausen vom 10.1.2013 - Erste Erkenntnisse und Beurteilungen (VERTRAULICH!), Stoll, H. & Kuhn, P.

[48] Sommer, S., 2013: Gutachten Zugbeeinflussung (PPT-Präsentation), S. 7, Schweizerische Bundesbahnen SBB AG,.

[49] Sommer, S., 2013: Meeting mit SUST nach Unfall Granges-Marnand (PPT-Präsentation), S. 14, Schweizerische Bundesbahnen SBB AG,.

[50] Sommer, S., 2013: Weiterentwicklung Zugbeeinflussung (PPT-Präsentation), S. 19, Schweizerische Bundesbahnen SBB AG,.

[51] Medienmitteilung des Bundes (www.news.admin.ch) vom 15.08.2013 zur Kollision zweier Reisezüge vom 29. Juli 2013 in Granges-Marnand: Abfahrt bei Halt zeigendem Gruppenausfahrsignal

[52] Schweizerische Unfalluntersuchungsstelle SUST, Schlussbericht über Streifkollision vom Mittwoch, 12. Dezember 2012 in Lenzburg. Reg.-Nr.:12121201.

[53] BAV, 2013: Bericht über die Sicherheit im öffentlichen Verkehr 2012

Anhang A Berechnungen

A.1 Risiko

Im Jahr 2005 wurde für die verbleibenden 6500 Abschnitte ohne Geschwindigkeitsüberwachung folgende Verteilung der Risiken berechnet:

$$f(x) = C_J \cdot x_0 e^{(-a \cdot x)}$$

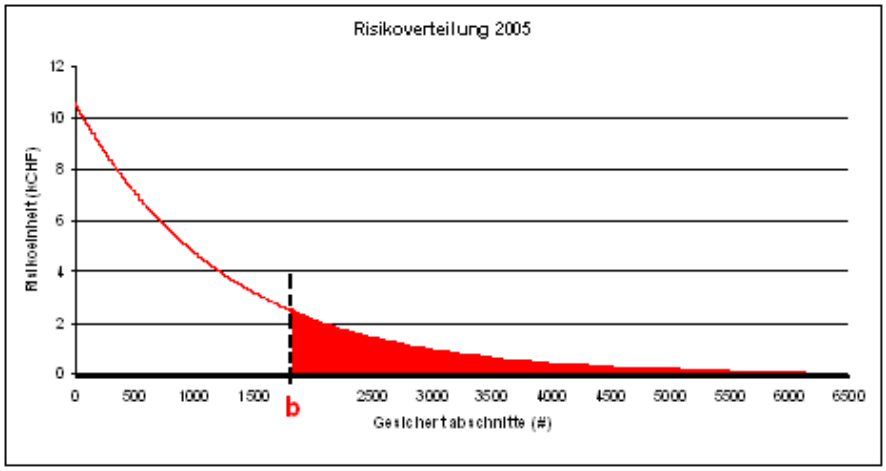


Abbildung 6-1: Risikoverteilung der ungesicherten Abschnitte im Jahr 2005

Der Faktor C_J entspricht der prozentuale Verkehrserhöhung im Jahr J im Vergleich zu 2005. x_0=10.5 und a = 0.0008.

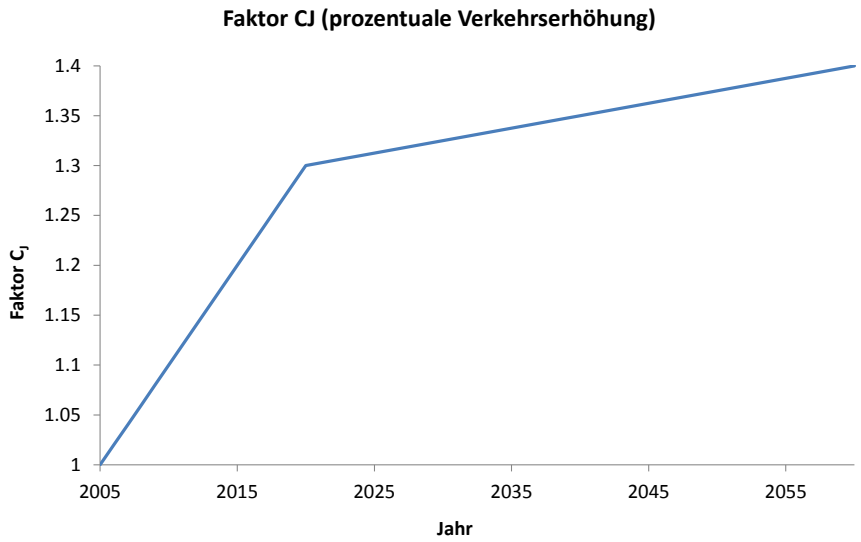


Abbildung 6-2: Korrekturfaktor C_J für die Verkehrszunahme gemäss Bundesamt für Raumentwicklung

Die Berechnung des kumulierten Risikos erfolgt mit der folgenden Integralrechnung (rote Fläche unter der Risikoverteilung (Abbildung 6-1)

$$\int_{b}^{6500} f(x) \cdot dx = R$$

R ist das kumulierte, monetarisierte, kollektive Risiko im Jahr J, wenn „b“ zusätzliche Abschnitte (im Verhältnis zum Zustand von 2005) mit einer Geschwindigkeitsüberwachung gesichert sein würden. Es sind 6500 Abschnitte, die im Jahre 2005 noch nicht mit ZUB gesichert waren. Das monetarisierte, kollektive Restrisiko kann mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$\int_{b}^{6500} C_J \cdot x_0 e^{(-a \cdot x)} \cdot dx = C_J \cdot x_0 \cdot \int_{b}^{6500} e^{(-a \cdot x)} \cdot dx = C_J \cdot x_0 \cdot \left[\frac{e^{(-a \cdot 6500)}}{-a} - \frac{e^{(-a \cdot b)}}{-a} \right]$$

Bis im Jahr 2017 sind im Vergleich zu 2005 ca. 1885 umgerüstete Abschnitte geplant.

Tabelle 6-1: Geplante und durchgeführte Ausrüstungen

Programm	bis	Abschnitte	Signale
500A	2011	500	625
4S	2015	25	30
1700-Punkte-Programm	2017	1360	1700
Total	2017	1885	2355

A.2 Statistische Evidenz der jüngsten Ereignisse

Tabelle 6-2: Signalfälle und Unfälle zwischen 2003 und 2012 aufgeschlüsselt nach Signaltyp.

	Jahr	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total
Signalfälle	$n_{1,J}$: Einfahrsignal	52	37	50	47	45	32	40	38	33	46	420
	$n_{2,J}$: Ausfahrsignal	30	37	37	42	37	29	46	29	32	37	356
	$n_{3,J}$: Gleisabschnittsignal	30	18	25	21	31	22	29	15	14	16	221
Unfälle	$X_{1,J}$: Einfahrsignal	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	$X_{2,J}$: Ausfahrsignal	1	1	1	1	4	1	0	3	1	1	14
	$X_{3,J}$: Gleisabschnittsignal	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	4
	X_J: Anzahl Unfälle	2	1	2	2	4	2	0	3	2	1	19
	$E(X_J)$ gem. Binomialvert.	1.85	1.87	2.03	2.14	2.12	1.61	2.43	1.50	1.59	1.85	19

Annahme: Anzahl $X_{i,J}$ der Unfälle pro Signaltyp (i) und Jahr (J) ist binomialverteilt:

$X_{i,J} \sim Bin(n_{i,J}, p_i)$ mit
$n_{i,J}$ = Anzahl Signalfälle pro Signaltyp i und Jahr J. und
$p_i = \Sigma X_{i,J} / \Sigma n_{i,J}$

Aus obiger Tabelle folgt somit

p_1=0.238%, p_2=3.933%, p_3=1.810%

Die Jährliche Anzahl Unfälle X_J setzt sich aus den Unfällen pro Signaltyp zusammen:
$X_J = X_{1,J}+X_{2,J}+X_{3,J}$

Die Verteilung der Summe der drei binomialverteilten Variablen ist nicht trivial zu bestimmen und wurde daher experimentell ermittelt (vgl. Abbildung 6-3 unten). Demnach liegt die Wahrscheinlichkeit, dass sich in einem Jahr mehr als drei Unfälle ereignen, bei 29.7%. Die Hypothese, dass die drei Unfälle aus dem Jahr 2013 statistisch gesehen signifikant von den letzten Jahren abweichen, kann somit nicht gestützt werden.

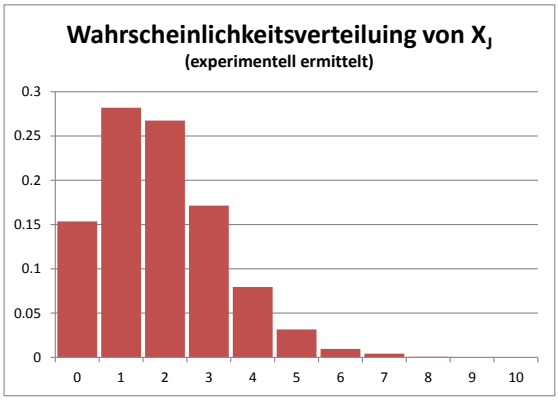


Abbildung 6-3: Experimentell ermittelte Wahrscheinlichkeitsverteilung der Anzahl Unfälle pro Jahr in Folge von Signalfällen. Zufallsexperiment: 1000-mal die Unfälle X_J der Jahren 2003-2012 gemäss oben beschriebener Formel

Anhang B Schwere Unfälle infolge von Signalfällen

B.1 Übersicht der Unfälle auf dem SBB-Netz

Jahr	Beteiligte EVU	Ereignistyp E3	Ereignistyp E4	Ereignisty	Signalart	Ort	Schaden	Leichtverletzte Reisende	Leichtverletzte Dritte	Leichtverletzte Personal	Schwerverletzte Reisende	Schwerverletzte Dritte	Schwerverletzte Personal
2003	Schweizerische Südostbahn	Zusammenstoss/Anprall (ohne Entgleisung)	Zug	mit Zug	Einfahrsig	Pfäffikon SZ	200001	15		1			
2003	SBB Infrastruktur	Zusammenstoss/Anprall (ohne Entgleisung)	Zug	mit abgest	Ausfahrsi	Airolo	149400						
2004	SBB Cargo AG	Zusammenstoss/Anprall (ohne Entgleisung)	Zug	mit Zug	Ausfahrsi	Dietlikon	300000	1					
2005	BLS Personenverkehr	Zusammenstoss/Anprall (mit anschliessender Entgleisung)	Zug	mit Zug	Gleisabsc	Bern	23000						
2005	BLS Cargo AG	Zusammenstoss/Anprall (ohne Entgleisung)	Zug	mit Zug	Ausfahrsi	Basel SBB RB	1						
2006	SBB Cargo AG	Entgleisung (ohne Zusammenstoss/Anprall)	von Zügen		Gleisabsc	Kaiseraugst	170000						
2006	SBB Personenverkehr	Zusammenstoss/Anprall (ohne Entgleisung)	Zug	mit Zug	Ausfahrsi	Olten	2						
2007	SBB Infrastruktur	Zusammenstoss/Anprall (mit anschliessender Entgleisung)	Zug	mit Hinder	Ausfahrsi	Visp	5001						
2007	BLS Cargo AG	Zusammenstoss/Anprall (mit anschliessender Entgleisung)	Zug	mit Zug	Ausfahrsi	Biel/Bienne RB	3000000			1			1
2007	SBB Cargo AG	Entgleisung (ohne Zusammenstoss/Anprall)	von Zügen		Ausfahrsi	Ebikon	5						
2007	SBB Cargo AG	Zusammenstoss/Anprall (ohne Entgleisung)	Zug	mit Zug	Ausfahrsi	Winterthur	350000						
2008	SBB Cargo AG	Zusammenstoss/Anprall (ohne Entgleisung)	Zug	mit Zug	Ausfahrsi	Vevey	20700						
2008	DB Schenker Rail Deutschland	Entgleisung (ohne Zusammenstoss/Anprall)	von Zügen		Gleisabsc	Romanshorn	3						
2010	SBB Personenverkehr	Entgleisung (ohne Zusammenstoss/Anprall)	von Zügen		Ausfahrsi	Turgi	166952						
2010	BLS Cargo AG	Zusammenstoss/Anprall (mit anschliessender Entgleisung)	Zug	mit Zug	Ausfahrsi	Brig RB	500000						
2010	SBB Personenverkehr	Entgleisung (ohne Zusammenstoss/Anprall)	von Zügen		Ausfahrsi	Colombier	23685						
2011	SBB Personenverkehr	Zusammenstoss/Anprall (mit anschliessender Entgleisung)	Zug	mit Zug	Ausfahrsi	Döttingen	1104330	18			1		
2011	SBB Personenverkehr	Zusammenstoss/Anprall (mit anschliessender Entgleisung)	Zug	mit Zug	Gleisabsc	Olten	5041999	1					1
2012	SBB Cargo AG	Zusammenstoss/Anprall (mit anschliessender Entgleisung)	Zug	mit Zug	Ausfahrsi	Lenzburg	626220						
2013	THURBO	Zusammenstoss/Anprall (mit anschliessender Entgleisung)	Zug	mit Zug	Ausfahrsi	Neuhausen	1798647	23		2	1		
2013	SBB Cargo AG	Zusammenstoss/Anprall (mit anschliessender Entgleisung)	Zug	mit Zug	Ausfahrsi	Basel Bad Bahnhof	126257						
2013	SBB Personenverkehr	Zusammenstoss/Anprall (Frontalkollision)	Zug	mit Zug	Ausfahrsi	Granges-Marnand		26					

B.2 Lenzburg, 12.12.2012 (Streifkollision)

Der Unfall in Lenzburg ereignete sich am 12.12.2012. Ein Güterzug der SBB-Cargo fuhr an einem Halt zeigenden Ausfahrsignal vorbei und kollidierte dabei seitlich mit einer leeren S-Bahn-Komposition von SBB P. Als Folge davon entgleiste die S-Bahn vollständig, die Güterzuglok entgleiste mit beiden Drehgestellen. Es entstand erheblicher Sachschaden an der Infrastruktur, Personenschäden waren hingegen keine zu beklagen [47].

Gemäss der von der Schweizerischen Unfalluntersuchungsstelle SUST bisher durchgeführten Untersuchung zur Kollision haben sich unter anderem die folgenden Erkenntnisse ergeben [52]:

- Unfallursache: Wegfahrt des Güterzuges 50002 bei "Halt" zeigendem Ausfahrsignal C44 infolge Verwechslung der beiden Signale C44 (für Güterzug 50002 "Halt" zeigend) und C45 (für Regionalzug 7002 "Fahrt" zeigend)
- Der Güterzug hat ausser Fahrplan zwecks Überholung durch einen Schnellzug in Lenzburg einen Halt einlegen müssen. Aus diesem Grund wurde er dort auf das Gleis 4/44 geleitet. Der Schnellzug überholte ihn über Gleis 3/43. Dies entspricht einem normalen betrieblichen Vorgang
- Der Lokführer des Güterzuges 50002 konzentrierte sich auf die angesagte Überholung durch den Schnellzug. Als dieser (rechter Hand) vorbeigefahren war und ein Signal auf "Fahrt" wechselte, fuhr der er los, in der Meinung dieses gelte für ihn. Er hat dabei nicht beachtet, dass dieses Signal für das Gleis links von ihm (Gleis 45) galt und nicht für das Gleis 44.
- Der Lokführer des Regionalzuges 7002 hatte bei der Kollision eine Geschwindigkeit von ca. 49 km/h. Er realisierte nicht, dass der im Nebengleis stehende Güterzug sich bewegte. Dies weil er einerseits er seine Signale und seinen Fahrweg be-

obachten musste und andererseits der Güterzug lediglich eine Distanz vom Halteort bis zur Kollision von ca. 40 m zurücklegte. Zudem war es dunkel.

B.3 Neuhausen, 10.01.2013 (Streifkollision)

Die Zugskollision in Neuhausen fand am 10.01.2013 statt und betraf die S33 (Thurbo) und die S11 (SBB). Das Ausfahrsignal, welches aufgrund der aus der Gegenrichtung ankommenden S11 noch auf Halt stand, wurde von der S33 übersehen, sodass es im Bereich einer Weiche zur Kollision mit der S11 kam. Bei der Streifkollision wurden die Lok und der erste Wagen der S11 beschädigt und entgleisten. Die beiden Güterwagen der S33 wurden stark beschädigt und durch den Aufprall ca. 20 Meter im Gleis zurückgeschoben, wobei sie nicht entgleisten. Insgesamt gab es 26 Verletzte, die beiden Lokführer blieben dank rascher Reaktion unverletzt. An den Fahrzeugen und der Infrastruktur (Fahrleitung, Fahrbahn) entstand Sachschaden mit einer geschätzten Schadensumme von mehr als CHF 7 Mio.[43], [47].
Die Ergebnisse und Erkenntnisse aufgrund der Unfallanalyse [43] haben unter anderem ergeben, dass

- Der Lokführer der S33 in Neuhausen im Gleis 3 die von Thurbo vorgeschriebenen Halte- und Abfahrtsprozesse nicht eingehalten hat (Fahrrichtungs- und Geschwindigkeitsregler wurden beide nicht auf Null gesetzt).
- Der Lokführer der S33 sich nicht erinnern konnte, wo seine Gedanken nach der Abfahrt waren. Im Gegensatz zu den SBB führt Thurbo keine Ausbildung zur Förderung der „Situation Awareness“ bei den Lokführern durch.
- Das betroffene Ausfahrsignal ist mit einer Zugbeeinflussung-Halt-Überwachung (Signum), aber nicht mit einer Geschwindigkeitsüberwachung (ZUB Abfahrverhinderung) gesichert.
- Dank der raschen Beleuchtung des Warnsignals an der Spitze der S33 konnten sich die Lokführer rechtzeitig auf die sichere Seite des Führerstands begeben.

B.4 Granges-Marnand, 29.07.2013 (Frontalkollision)

Der Unfall bei Granges-Marnand ereignete sich am 29. Juli 2013, wobei ein SBB Regionalzug (S21) mit einem einfahrenden RegioExpress im Bereich einer Weiche kollidierte. Ein Lokführer starb, daneben gab es 26 Verletzte. Nach bisherigen Erkenntnissen ist die S21 bei Halt zeigendem Ausfahrsignal (Gruppensignal) abgefahren. Das Ausfahrsignal und die Zugbeeinflussung Signum befinden sich nach dem Gefahrenpunkt [48].
Gemäss der von der Schweizerischen Unfalluntersuchungsstelle SUST bisher durchgeführten Untersuchung zur Kollision haben sich unter anderem die folgenden Erkenntnisse ergeben [51]:

- Die Sicherungsanlagen befanden sich in einem ordnungsgemässen Zustand
- Die Einspurstrecke Moudon – Lucens – Granges-Marnand ist mit einem automatischen Streckenblock ausgerüstet. Im Bahnhof Granges-Marnand war der Fahrweg für den RegioExpress mit Durchfahrt ohne Halt über das Gleis 2 eingestellt. Für die S21 aus Gleis 1 war kein Fahrweg auf die Strecke eingestellt. Die Ausfahrt für die S21 war nach der Durchfahrt des RegioExpress vorgesehen.
- Der Kollisionspunkt befindet sich auf der Einfahrweiche 1 Seite Moudon. Das Gruppenausfahrsignal befindet sich 16 m weiter in Richtung Moudon. Bei der Kollision ereignete sich beim RegioExpress durch Auswurf der Schraubenkupplung eine Zugstrennung, wobei ein Reisezugwagen und das Triebfahrzeug durch die Wucht des Zusammenpralls 57 m zurückgeschoben wurden.

- Die Einleitung der Schnellbremsung der S21 erfolgte bei 69 km/h. Die Kollision ereignete sich 84 m nach Einleiten der Schnellbremsung bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h.
- Der RegioExpress hat die auf dem betreffenden Streckenabschnitt gültige Höchstgeschwindigkeit nicht überschritten. Die Einleitung der Schnellbremsung erfolgte bei einer Geschwindigkeit von 55 km/h. Die Kollision ereignete sich 40 m nach Einleiten der Schnellbremsung bei einer Geschwindigkeit von 45 km/h.

Anhang C ETCS Migrationsstrategie der SBB

Im Folgenden wird eine kurze Chronologie der wichtigsten BAV-/SBB-Entscheide aufgelistet, die die wichtigsten Auswirkungen auf die Ausrüstung der Zugbeeinflussung ausgeübt haben.

Jahr, Titel, Gremium	Wichtigste Kenndaten	Allfällige Auswirkungen auf die Ausrüstung mit Zugbeeinflussung
Januar 2000, BAV, „Migration der Zugsicherung von SIGNUM, ZUB zu ETCS“	ETCS wird als neuer Standard festgelegt. Mit der Ausrüstung der Neubaustrecke Mattstetten - Rothrist mit ETCS Level 2 werden rund 500 Fahrzeuge umgerüstet und dadurch ein erster Schritt zur netzweiten Migration getan. Dadurch wird die Grundlage geschaffen für die Abdeckung des zukünftigen Bedarfs an mehr Kapazität, für den Geschwindigkeitsbereich grösser 160 km/h sowie für Interoperabilität. Mit der Inbetriebnahme der FSS-Pilotstrecke Zofingen – Sempach (Ende April 2002) werden wichtige Betriebserfahrungen für die Neubaustrecke NBS und für die weitere ETCS-Migration gesammelt.	
Mai 2002: GL der SBB, Strategie Infrastruktur; neue Technologien	Konkretisierung eines Schlüsselprojektes „Neue Technologien“ gestützt auf neuer Stellwerks-/Fernsteuerungstechnik, ETCS und GSM-R. Gesamtfinanzierungsvolumen bis 2017 über CHF 2‘900 Mio., davon für ETCS-Migration 2005-2017 rund CHF 830 Mio. Davon: 572 Mio. für ETCS L2 115 Mio. ETCS L1 143 Mio. für 750 ETM-Fzg-Ausrüstungen Etappenweise Ausrüstung wie folgt vorgesehen: ETCS L2 für Strecken, wo mittelfristig Kapazitätssteigerung erforderlich (erste	

	Etappe Nord-Süd-Achse über Lötschberg, in der zweiten Etappe auch der Korridor über den Gotthard) ETCS L1: punktförmiger Umbau der SIGNUM/ZUB auf Eurobalisen.	
November 2005; GL der SBB, Projekt Weiterentwicklung Zugsicherung unter dem Aspekt der Sicherheit	Ausrüstung zusätzlicher 500 Abschnitte nach transparenten und nachvollziehbaren Kriterien mit einem ausgewogenen Verhältnis zw. Kosten und Wirksamkeit mit EuroZUB-P44 ausgerüstet werden. Kostenpunkt rund CHF 50 Mio. BAV beauftragt die SBB mit der ETCS- *Systemführung*.	Verstärkte Fokussierung auf dem Aspekt „Zusatzsicherheit“ auch ausserhalb und zusätzlich zu der gültigen ETCS-Strategie.
März 2006: Gl der SBB, Konzept zur weiteren Umsetzung des European Train Control Systems ETCS auf dem Normalspurnetz der Schweiz	Anpassung der Strategie aus dem Jahre 2002. Redktion des Finanzierungsbedarfs von damals CHF 830 Mio. auf CHF 300 Mio. dadurch, dass neu nur 5% mit ETCS L2 ausgerüstet werden (NBS, GBT und CBT), Der Rest des Netzes (95%) wird mit ETCS Level 1 LS. Realisierungszeitraum bis 2015. Treiber sind: Führerstandsignalisierung ahf HGV-Strecken, Netzzugang, Interoperabilität sowie Substanzerhalt. Weiterhin spielen aktualisierte Kalkulationen des Finanzierungsbedarfs eine bedeutende Rolle – für den ETCS L2-Betrieb wär u.a. eine Vielzahl Relaisstellwerke vorzeitig zu erneuern.	Fahrzeuge ohne ETCS-Ausrüstung wurden bis 2005 mit einem ETM-Interface ausgerüstet, damit die SIGNUM&ZUB-Informationen auch aus den ETCS-Komponenten (Euro-Loop/Balise) ausgelesen werden können. Neue Fahrzeuge werden mit einem ZUB262ct-Gerät mit integrierter ETM-Funktion ausgerüstet.
April 2008, GL der SBB „Konzept zur weiteren Umsetzung des European Train Control Systems Anpassung der Umsetzungsschritte	Anpassung der Strategie 2006 aufgrund Berücksichtigung von Erkenntnissen aus dem europäischen Normierungsumfeld sowie Massnahmen zur Reduktion des Risikos. Anpassung des netzweiten	Durch den Einsatz I-20027 vollständig beim ETCS-Rollout würden bis Ende 2017 total 5‘400 Signale mit Geschwindigkeitsüberwachung ausgerüstet sein.

	Rollouts durch Erprobung und Optimierung von Tools. Auch wird die Industrie verstärkt einbezogen. Neuer Termin für die Umsetzung ETCS L1 LS ist Ende 2017. Die I-20027 wird vollständig im Rahmen des ETCS-Rollouts angewandt (nicht nur bei eStw.	
Juni 2009, Informationsvorlage an den CEO der SBB, Migration zum European Train Control System (ETCS) – Stand der Umsetzung des Programms ETCS Netz	Konkretisierung Bedarf an begleitenden und unterstützenden Tools, Risikoabschätzungen, Kalkulation des Finanzierungsbedarfs. Belegen – auch im internationalen Aspekt – dass die gewählte ETCS-Strategie einen bestmöglichen Investitionsschutz darstellt insbesondere auch aus Sicht der EVU, die für Fahrzeugausrüstung verantwortlich sind.	
Mai 2012, BAV, Richtlinie: Zugbeeinflussung im schweizerischen Normalspur-Eisenbahnnetz Migration von SIGNUM / ZUB zu ETCS L1 LS	Regelung der Bedingungen, der Termine, des Vorgehens sowie der zu berücksichtigenden Grundlagen für die Migration der heute streckenseitig installierten Zugbeeinflussungen vom Typ Integra SIGNUM und ZUB zu ETCS Level 1 LS, inkl. fahrzeugrelevante Regelungen für die Migration zu EuroSIGNUM-P44 sowie EuroZUB-P44. Mit ETCS L1 LS trägt - wie auch bisher mit SIGNUM und ZUB - der Lokführer die Sicherheitsverantwortung. Er wird durch die Zugbeeinflussung im Hintergrund überwacht. Für das Normalspurnetz der Schweiz strebt das BAV ein einheitliches Systemverhalten und damit verbunden eine einheitliche Projektierung an. Dies als Voraussetzung für einheitliche, betriebliche Vorschriften bei Störungsfällen (betriebliche Interoperabilität). Dafür sollen alle durch die fahrzeugseitigen Zugbeeinflussungs-	Die Migration umfasst hardwaremässig die Ablösung der streckenseitigen SIGNUM- und ZUB-Komponenten durch ETCS-Komponenten, welche funktionsmässig weiterhin die SIGNUM- und ZUB-Informationen via Telegrammpaket 44 und neu zusätzlich ETCS L1 LS Informationen zu übertragen haben. Hinweise für die fzg-unterstützte Fehleroffenbarung: Die ZUB 121 und ZUB 262ct sind in der Lage, Störungsmeldungen für die Übertragung bereitzustellen. Bei verschiedenen Unternehmen (SBB-P / THURBO, BLS) werden bereits heute von einer bedeutenden Anzahl von Fahrzeugen die Fehlermeldungen via geeignete GSM-R Zugfunkgeräte abgesetzt. Ein zentrales System zur Verwaltung der Störungen (bei

	systeme er kennbaren, streckenseitigen Fehler automatisch an ein zentrales System zur Verwaltung der Störungen übertragen und von diesem an die betroffene Infrastrukturbetreiberin weitergeleitet werden. Termine : Die entsprechenden Abschnitte der Nord-Süd-Korridore (Lötschberg - Simplon resp. Gotthard - Ceneri/Luino) sind bis Ende 2015 ETCS-tauglich umgerüstet und betriebsbereit. Für das übrige Normalspur-Eisenbahnnetz ist die Inbetriebnahme ab Fahrplanwechsel im Dezember 2017. Hinweis: die Betriebsvorschriften und Projektierungsregeln sind nach Auswertung der Schattenfahrten im Tessin zu aktualisieren und bis Ende 2013 freizugeben. Mit dem Umbau kann demnach vsl. Anfang 2014 gestartet werden. Ebenfalls sind begleitende Risikobewertungen und sich daraus ergebender Einsatzkonzept (wo genügt eine punktuelle Überwachung, wo wird eine kontinuierliche Überwachung benötigt), bis Ende 2013 zur Prüfung vorzulegen. Für die Umsetzung der Migration ist die Zustimmung seitens des BAV erforderlich. Dazu ist ein Plangenehmigungsgesuch einzureichen.	den SBB vorhanden und in Betrieb) verarbeitet die eingehenden Meldungen. Liegt eine Störung vor, informiert das System automatsch das zuständige Unternehmen EIU oder EVU.
Aktuell	Es läuft die Umsetzung gemäss Planung aus der VR-Vorlage	

	2008. Zusatzmassnahme sind die 1‘700 Abschnitte, die im Rahmen des zusätzlichen sicherheitssteigernden Programms mit Geschwindigkeitsüberwachung ausgerüstet werden.	

Tabelle 3: Chronologie der wichtigsten ETCS-bezogenen BAV-/SBB-Vorgaben und Strategien.

Anhang D Zugsbeeinflussungssysteme ausgewählter ausländischer Bahnen

Im Folgenden werden die auf konventionellen Strecken eingesetzten Zugsbeeinflussungssysteme der in Kapitel 3.8 untersuchten Bahnen im Hinblick auf deren Schutzfunktionen kurz beschrieben.

Deutschland

Mit Ausnahme der Berliner S-Bahn wird bei der DB eine punktförmige induktive Zugbeeinflussung unter der Systembezeichnung PZB 90 verwendet. Die Datenübertragung erfolgt durch Resonanzkopplung von Schwingkreisen, wozu am Gleis so genannte Gleismagnete verlegt sind, die auf eine von drei Festfrequenzen (500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz) abgestimmt sind. Dadurch können drei unterschiedliche Informationen auf das Fahrzeug übertragen werden. Nach dem Passieren eines wirksamen 1000 Hz-Gleismagneten muss der Triebfahrzeugführer innerhalb von vier Sekunden eine Wachsamkeitstaste betätigen, um zu bestätigen, dass er den Signalbegriff „Warnung“ aufgenommen hat. Bleibt die Betätigung aus, wird eine Zwangsbremsung ausgelöst. Nach ordnungsgemässer Wachsamkeitskontrolle läuft auf dem Fahrzeug eine Geschwindigkeitsüberwachung in Form einer kontinuierlich überwachten Bremskurve ab, deren Verletzung zu einer Zwangsbremsung führt. Die überwachte Bremskurve endet mit einer definierten Endgeschwindigkeit. Beim Passieren eines wirksamen 500 Hz-Magneten wird die Geschwindigkeitsüberwachung bis zu einer neuen Endgeschwindigkeit fortgesetzt. Diese zweistufige Überwachung hat den Vorteil, dass bei einem nachträglichen Freiwerden des Signals nach einer bereits erfolgten 1000 Hz-Beeinflussung der Zug mit der Endgeschwindigkeit der 1000 Hz-Beeinflussung weiterfahren kann und nicht weiter bremsen muss. Ab 700 m nach einer 1000 Hz-Beeinflussung kann sich der Triebfahrzeugführer beim Erkennen des nachträglichen Freiwerdens des Signals aus der Geschwindigkeitsüberwachung befreien. Im Falle einer unzulässigen Befreiung wird beim Passieren des wirksamen 500 Hz-Magneten eine Zwangsbremsung ausgelöst. Eine Befreiung aus der 500 Hz-Beeinflussung ist nicht möglich. Durch diese *zweistufige, kontinuierliche Überwachung des Bremsvorganges* bietet die PZB 90 bei der *Zielbremsung* auf ein Halt zeigendes Signal einen sehr guten Schutz sowohl gegen ein zu spätes Einleiten der Bremsung als auch ein irrtümliches Wiederbeschleunigen des Zuges bei Signalverwechselungen.

Zum Schutz gegen das Anfahren gegen ein Halt zeigendes Signal wird das Prinzip der *restriktiven Überwachung* verwendet. Bei der Überwachung des Bremsvorganges ist zunächst die normale Überwachungsfunktion wirksam. Wird jedoch eine bestimmte (sehr niedrige) Umschaltgeschwindigkeit für eine bestimmte Zeitdauer unterschritten, so dass das Eintreten der zeitverzögerten Durchrutschwegauflösung angenommen werden muss, wird auf die restriktive Überwachungsfunktion umgeschaltet.

Österreich

Die ÖBB wenden ebenfalls die punktförmige induktive Zugbeeinflussung deutscher Bauart an. Im Unterschied zur DB sind jedoch an sehr vielen Signalen keine 500 Hz-Magnete vorhanden. Auch haben die ÖBB die traditionellen Durchrutschwege durch so genannte Schutzwege ersetzt, die nur noch max. 50 m lang sind. Dadurch ist die Schutzwirkung der punktförmigen Zugbeeinflussung insgesamt geringer als bei der DB. Fahrzeugseitig sind zwei Bauformen im Einsatz. Neuere Fahrzeuge haben die PZB 90 mit der oben beschriebenen Funktionalität. Ältere Fahrzeuge sind noch mit dem System PZB 60 ausgerüstet, das

mit den Altbauformen der Indusi vergleichbar ist. Zum System PZB 90 bestehen folgende Unterschiede:

Zur Geschwindigkeitsüberwachung wird keine kontinuierliche Bremskurve überwacht, sondern die Geschwindigkeit wird zwischen Vor- Hauptsignal nur an zwei diskreten Punkten geprüft. Der erste Punkt wird im Bordgerät eine definierte Zeit nach der 1000 Hz-Beeinflussung erzeugt, der zweite Punkt liegt am 500 Hz-Magnet. Bei Signalen ohne 500 Hz-Magnet gibt es nur einen Prüfpunkt.

Slowenien

Bei den früheren Jugoslawischen Eisenbahnen war auf einigen Hauptstrecken die punktförmige induktive Zugbeeinflussung deutscher Bauart im Einsatz. Die Funktionalität beschränkte sich auf die Indusi-Überwachung der Altbauform I 60. Einige von der Slowenischen Eisenbahn neu beschaffte Triebfahrzeuge aus der Eurosprinter-Familie von Siemens (ES 64 U2 und ES 64 F4) haben bereits Fahrzeuggeräte mit PZB 90-Funktionalität aus aktueller Siemens-Produktion.

Ungarn

In Ungarn ist auf allen Hauptstrecken unter der Systembezeichnung EVM eine *linienförmige Zugbeeinflussung* mit Informationsübertragung durch frequenzcodierte Gleisstromkreise vorhanden. Die Geschwindigkeit wird in fünf Geschwindigkeitsstufen überwacht (15 km/h, 40 km/h, 80 km/h, 120 km/h, vmax). Über die Führerstandssignalisierung wird dem Lokführer die zulässige Geschwindigkeit im aktuellen Abschnitt angezeigt, sofern ein Abschnitt mit gleicher oder höherer Geschwindigkeit folgt. Folgt ein Abschnitt mit geringerer Geschwindigkeit, wird dem Lokführer die Zielgeschwindigkeit angezeigt, auf die er bis zum nächsten Abschnitt abbremsen muss. Unterhalb von 15 km/h findet keine Überwachung statt. Mit weniger als 15 km/h können auch Halt zeigende Signale ohne Zwangsbremsung passiert werden. Die Wachsamkeitstaste ist normalerweise alle 1550 m zu betätigen. Wenn die Geschwindigkeit herabzusetzen ist, ist die Wachsamkeitstaste alle 200 m zu betätigen, solange die aktuelle Geschwindigkeit noch die Zielgeschwindigkeit überschreitet.

Tschechien und Slowakei

In beiden Ländern ist auf allen Hauptstrecken (in Tschechien ab 100 km/h, in der Slowakei ab 120 km/h) unter der Systembezeichnung LS eine *linienförmige Zugbeeinflussung* mit Informationsübertragung durch frequenzcodierte Gleisstromkreise vorhanden. Es handelt sich bei dem System LS um eine Weiterentwicklung der von den früheren sowjetischen Eisenbahnen benutzten linienförmigen Zugbeeinflussung ALSN, die in den 1960er Jahren von der damaligen Tschechoslowakischen Eisenbahn übernommen wurde.

Die Geschwindigkeit wird in vier Geschwindigkeitsstufen überwacht (30 km/h, 40 km/h, 120 km/h, vmax). Über die Führerstandssignalisierung wird dem Lokführer die zulässige Geschwindigkeit im aktuellen Abschnitt angezeigt, sofern ein Abschnitt mit gleicher oder höherer Geschwindigkeit folgt. Unterhalb von 30 km/h findet keine Überwachung statt. Beim Signalbegriff Warnung sowie bei Ankündigung einer Geschwindigkeit von 40 km/h ist innerhalb von vier Sekunden eine Wachsamkeitstaste zu betätigen.

Polen

Bei der Zugbeeinflussung handelt es sich um eine mit der Sicherheitsfahrschaltung kombinierte Wachsamkeitsprüfung. Bei diesem als SHP bezeichneten, punktförmigen System gibt es 200 m vor jedem Haupt- und Vorsignal einen ständig wirksamen Gleismagneten oh-

ne irgendeine Abhängigkeit von den Signalbegriffen. Zur Informationsübertragung wird Resonanzkopplung mit einer Festfrequenz von 1000 Hz verwendet. Der Lokführer hat vor jedem Haupt- oder Vorsignal unabhängig von der Signalstellung eine Wachsamkeitstaste zu betätigen. Unterbleibt die Bedienung, erfolgt nach drei Sekunden eine akustische Warnung und nach weiteren zwei Sekunden eine Zwangsbremsung. Es besteht nur ein Schutz gegen das vollständige Übersehen eines Signals. Es besteht hingegen keine Schutzfunktion gegen Signalverwechselungen oder fehlerhafte Aufnahme von Signalbegriffen. Zudem erfolgt die Wachsamkeitskontrolle mit der gleichen Taste, mit der auch die Sicherheitsfahrschaltung betätigt wird.

Frankreich

Beim dominierenden Zugbeeinflussungssystem im konventionellen Netz „Crocodile“ handelt es sich um ein sehr einfaches, elektromechanisch wirkendes System, bei dem sich am Fahrweg von den Signalen gesteuerte Kontaktelemente befinden. Die Triebfahrzeuge haben Schleifbürsten, die bei Vorbeifahrt an einem solchen Streckengerät die Kontaktflächen berühren. In Abhängigkeit vom Signalbegriff wird dabei auf dem Triebfahrzeug ein Stromkreise geschlossen. Die Schutzfunktion beschränkt sich auf eine Wachsamkeitsprüfung beim Signalbegriff „Warnung“. Zusätzlich leuchtet auch nach der Bedienung der Wachsamkeitstaste eine Lampe bis zum Passieren des nächsten Signals. Dies soll den Lokführer daran erinnern, dass er auf ein Halt zeigendes Signal zufährt. Beim Passieren eines Fahrt zeigenden Hauptsignals wird auf dem Triebfahrzeug ein akustisches Signal (Gong) ausgelöst. Dahinter steckt die Idee, dass beim Überfahren eines Halt zeigenden Signals der Gong unterbleibt, wodurch der Lokführer bemerkt, dass er das Signal in Haltstellung überfahren hat und eine Bremsung einleitet. Die Schutzwirkung dieses Prinzips ist jedoch sehr gering. Auf Strecken mit einer Geschwindigkeit von mehr als 160 km/h bis max. 220 km/h wird das Crocodile um ein so genanntes Vorwarnsystem mit induktiv wirkenden Gleismagneten ergänzt. Dieses Vorwarnsystem liefert aufgrund der längeren Bremswege eine frühzeitigere Haltankündung und eine Geschwindigkeitsüberwachung oberhalb von 160 km/h. Bei Anzeige der Vorwarnung hat der Lokführer eine Wachsamkeitstaste zu betätigen und die Geschwindigkeit auf 160 km/h zu ermässigen. Der Bremsvorgang von 220 km/h auf 160 km/h wird durch eine hinterlegte Bremskurve im Bordgerät überwacht. Dadurch ist sichergestellt, dass das den Signalbegriff „Warnung“ überwachende Crocodile mit maximal 160 km/h passiert wird.

Als Nachfolgesystem für das Crocodile begannen die SNCF in den 1990er mit der Einführung des Systems KVB, das bei rein *punktförmiger Informationsübertragung Geschwindigkeiten bis 300 km/h* erlaubt. Dabei handelt es sich um eine Weiterentwicklung des in Schweden und Norwegen seit den 1980er eingesetzten, punktförmigen Zugbeeinflussungssystems aus der EBICAB-Systemfamilie. Zur Datenübertragung dienen im Gleis verlegte Balisen, die nach dem Transponderprinzip arbeiten. Dabei handelt es sich um ein in seiner Funktionalität sehr weit entwickeltes Zugbeeinflussungssystem, das eine durchgehende Geschwindigkeitsüberwachung von Signal zu Signal ermöglicht. Geschwindigkeitsermässigungen werden im Bordgerät durch dynamische Bremskurven überwacht. Als Führungsgrösse dienen nur die ortsfesten Signale. Durch Installation zusätzlicher Balisen ist auch eine Abfahrverhinderung möglich. Insgesamt ähnelt der Funktionsumfang schon sehr stark dem ETCS-Level 1 im Modus Full Supervision. Das System KVB ist allerdings nur auf einigen, besonders stark befahrenen Hauptstrecken installiert..

Luxemburg

Unter der Systembezeichnung Memor wurde ursprünglich das französische Crocodile benutzt. Diese Ausführung wurde später zu Memor II weiterentwickelt, indem 800 m nach ei-

ner Beeinflussung eine punktförmige Geschwindigkeitsprüfung auf 60 km/h erfolgte. Nach mehreren schweren Unfällen in den 1990er Jahren wurde auch eine *Haltüberwachung* ergänzt. Zur Übertragung des Haltbegriffs dienen zwei kurz hintereinander angeordnete Crocodile. Diese Bauform wird als Memor II+ bezeichnet und wurde komplett nachgerüstet. Inzwischen ist jedoch der grösste Teil des luxemburgischen Netzes bereits mit dem ETCS-Level 1 ausgerüstet.

Belgien

Es wurde das französische Crocodile unter der Systembezeichnung Memor benutzt. Zur Ergänzung der Haltüberwachung wurde ein balisengestütztes Zugbeeinflussungssystem unter der Bezeichnung TBL 1 ergänzt, das auch die Memor-Funktion beinhaltet. Zur Erleichterung der ETCS-Migration wird das TBL 1 durch die weiter entwickelte Version TBL 1+ abgelöst. Dabei werden die TBL 1-Informationen durch Eurobalisen übertragen. Zusätzlich wird 300 m vor einem Halt zeigenden Signale eine punktförmige Geschwindigkeitsprüfung auf 40 km/h vorgenommen. Dazu ist an dieser Stelle eine zusätzliche Balise verlegt.

Niederlande

Beim System ATB handelt es sich um eine einfache, *linienförmige Zugbeeinflussung* mit Informationsübertragung durch impulscodierte Gleisstromkreise. Die Geschwindigkeit wird in fünf Geschwindigkeitsstufen überwacht (40 km/h, 60 km/h, 80 km/h, 130 km/h, vmax) . Über die Führerstandssignalisierung wird dem Lokführer die im aktuellen Abschnitt zulässige bzw. die Zielgeschwindigkeit nächsten Abschnitt (beim Bremsvorgängen) angezeigt. Beim älteren System ATB-EG findet unterhalb von 40 km/h keine Überwachung statt. Mit weniger als 40 km/h können auch Halt zeigende Signale ohne Zwangsbremsung passiert werden. Dies führte in der Vergangenheit zu einer grossen Zahl an Signalfällen. Zur Erhöhung der Sicherheit wurde die Systemversion ATB-Vv entwickelt. Dabei wird die Funktionalität von ATB-EG beibehalten, aber durch eine dreistufige, punktförmige Geschwindigkeitsprüfung bei Annäherung an ein Halt zeigendes Signal ergänzt. Dazu sind Balisen im Abstand von 120 m, 30 m und 3 m vor dem Signal verlegt. Bis 2015 sollen 40% des niederländischen Netzes mit ATB-Vv ausgerüstet sein. Auf nur einigen wenigen Strecken wurde das Nachfolgesystem ATB-NG installiert. Dabei erfolgt die Datenübermittlung durch Balisen, bei Bedarf kann ein Infill-Loop ergänzt werden. ATB-NG ermöglicht eine durchgehende Geschwindigkeitsüberwachung einschliesslich Überwachung der Bremskurven.

Dänemark

Flächendeckend seit 1996 kommt die Technologie der ZUB 100-Familie von Siemens zum Einsatz, die landesspezifische Ausführung in Dänemark wird als ZUB 123 (bei den DSB offiziell ATC 123) bezeichnet. Die Gleiskoppelspulen und Infill-Loops entsprechen der in der Schweiz bekannten Bauart ZUB 121, die Anordnung am Gleis weicht jedoch ab. Auch ist die ZUB 123 im Unterschied zur ZUB 121 kein Add-On zu einem vorhandenen Altsystem, sondern eine Stand-alone-Lösung, die den vollen Funktionsumfang eines modernen, punktförmigen Zugbeeinflussungssystems abdeckt. Die Systemgestaltung ist durch ein Linking der Gleiskoppelspulen fail-safe und erlaubt Geschwindigkeiten bis 180 km/h.

Grossbritannien

Bis zum Ende des 20. Jahrhunderts verfügten die Britischen Bahnen nur über eine sehr einfache, als AWS (Automatic Warning System) bezeichnete Zugbeeinflussung. Die Funktion beschränkt sich auf eine Wachsamkeitskontrolle bei Aufnahme des Signalbegriffs „Warnung“. Die Prüfung erfolgt 180m vor dem Vorsignal. Bei Warnung wird ein akustisches Signal ausgelöst, das der Lokführer zu quittieren hat. Unterbleibt die Quittierung, folgt eine

Zwangsbremsung. Durch Kombination der Informationsübertragung durch einen Permanent- und einen Elektromagneten, ist das System trotz der Einfachheit fail-safe.

Die Häufung von Signalfällen veranlasste den Infrastrukturbetreiber Railtrack, das System AWS zu einer echten Zugbeeinflussung unter der Bezeichnung TPWS (Train Protection and Warning System) auszubauen. Für die Überwachung des Signalbegriffs Warnung blieben die bisherigen AWS-Magnete erhalten. Zusätzlich passiert der Zug bei Annäherung an ein Halt zeigendes Signal zwei punktförmige Geschwindigkeitsprüfungen, die durch kurze Messstrecken realisiert werden. Zur Informationsübertragung dienen Rahmenantennen, die am Anfang und Ende der Messstrecken installiert sind.

Italien

Die Italienische Eisenbahn benutzt auf allen Hauptstrecken ein punktförmiges Zugbeeinflussungssystem unter der Bezeichnung SCMT. Hochgeschwindigkeitsstrecken mit einer zulässigen Geschwindigkeit über 200 km/h, die noch nicht mit ETCS Level 2 ausgerüstet sind, sind mit einem selbsttätigen Blocksystem mit Informationsübertragung durch frequenzcodierte Gleisstromkreise (BACC) ausgerüstet und verfügen zusätzlich zu SCMT über eine Führerstandssignalisierung (RSC). Die punktförmige Zugbeeinflussung basiert auf Eurobalisen und ermöglicht eine *ausgefeilte, lückenlose Geschwindigkeitsüberwachung einschliesslich zugspezifischer Bremskurven*. Auf Strecken ohne RSC können an kritischen Stellen kontinuierliche Infillinformationen durch codierte Gleisstromkreise bereitgestellt werden. Damit wird ein sehr wirkungsvoller Schutz gegen Signalfälle erreicht. Aufgrund der durchgehenden Geschwindigkeitsüberwachung wird auf eine besondere Überwachung der Aufnahme des Signalbegriffs „Warnung“ verzichtet. Lediglich auf Strecken mit BACC muss der Lokführer zur Wachsamkeitskontrolle jeden Codewechsel quittieren.

Auf Nebenstrecken (ca. 30 % des Netzes) ist ein vereinfachtes System unter der Bezeichnung SSC im Einsatz, das dem Lokführer nur Informationen zu den Signalbegriffen anzeigt. Im Unterschied zu einer echten Führerstandssignalisierung wird nur der letzte Signalbegriff auf dem Führerstand wiederholt. Zwangsbremsungen werden nur unmittelbar beim Überfahren eines Halt zeigenden Signals ausgelöst. Für SSC können die gleichen Bordgeräte wie für SCMT benutzt werden.

Anhang E Anwendung von Gruppenausfahrsignalen in Deutschland

In Deutschland ist die Anwendung von Gruppenausfahrsignalen nach wie vor zulässig, *auch in Neuanlagen*. Es gelten jedoch *strenge Restriktionen*, die die Anwendung auf wenige Fälle beschränken.

Für die Anwendung von Gruppenausfahrsignalen gelten die nachfolgend aufgeführten Regeln. Die Regeln gelten analog auch für Gruppenzwischensignale (Zwischensignal ist der *deutsche Begriff für Gleisabschnittssignal*).

Gruppenausfahrsignale sind *nur für Güterzugausfahrgleise* und für Gleise, auf denen *nur Leerreisezüge* verkehren, zulässig. Für *Reisezugausfahrgleise, auf denen besetzte Reisezüge verkehren, dürfen keine Gruppenausfahrsignale* angewendet werden.

Hinweis: Im Bereich der früheren Deutschen Bundesbahn war in besonderen Fällen mit Ausnahmegenehmigung der Hauptverwaltung die Anwendung von Gruppenausfahrsignalen für Reisezugausfahrgleise in Kopfbahnhöfen zulässig. Dies ist heute nicht mehr der Fall. Einer der letzten bekannten Fälle war Frankfurt am Main Hbf bis zur Inbetriebnahme des ESTW im Jahre 2005. Kurz zuvor war es dort noch an einem Gruppenausfahrsignal zu einer Flankenfahrt durch unzulässige Abfahrt eines Zuges gekommen.

Zur Anwendung eines Gruppenausfahrsignals müssen folgende Bedingungen gegeben sein:

a) Die Ausfahrten aus den Gruppengleisen sind durch einzelne Fahrstrassen zu sichern.

b) Die Ausfahrstrassen müssen ausserhalb der durchgehenden Hauptgleise beginnen.

c) Die Geschwindigkeit vor dem Gruppenausfahrsignal darf in Anhängigkeit von der Weichenbauform 40 km/h bzw. 60 km/h nicht überschreiten. Sie ist für die gesamte Gleisgruppe einheitlich festzulegen und am Gruppenausfahrsignal zu signalisieren.

d) Die Ausfahrstrassen dürfen vor ihrem Zusammenlauf nicht durch andere Fahrstrassen gekreuzt werden.

e) Die zu einem Gruppenausfahrsignal gehörenden Ausfahrgleise sind durch Sperrsignale abzuschliessen (vergleichbar den Schweizer Zwergsignalen, jedoch mit Rot als Haltbegriff).

f) Die Einfahrt in ein Gleis, aus dem auf ein Gruppenausfahrsignal ausgefahren wird und die gleichzeitige Ausfahrt aus einem anderen zu diesem Gruppenausfahrsignal gehörenden Gleis sind signaltechnisch auszuschliessen (durch diese Bedingung sollen irrtümliche Durchfahrten verhindert werden).

Gruppenausfahrsignale müssen hinter oder neben dem Zusammenlauf der zugehörigen Fahrstrassen, aber vor dem Zusammenlauf dieser Fahrstrassengruppe mit anderen Fahrstrassen stehen.
Auf *Nebenbahnen mit vereinfachten Betriebsbedingungen* können abweichend von den vorgenannten Regeln Gruppenausfahrsignale *auch an durchgehenden Hauptgleisen* sowie Gleisen mit *Reisezugfahrstrassen* verwendet werden (gewisse Analogie zur Situation in

Frankreich). Dabei handelt es sich *jedoch nur um Nebenbahnen mit einer zulässigen Geschwindigkeit von bis zu 60 km/h, die gemäss der deutschen Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung auch völlig ohne Ausfahrsignale betrieben werden dürfen*