ETCS Level 1 LS (ESG) unter dem Aspekt der Leistungsfähigkeit

Die ETCS-Migrationsstrategie der DB Netz AG fußt auf den Säulen ETCS Level 2 sowie ETCS Level 1 Limited Supervision. Letzteres ist verhältnismäßig einfach und kostengünstig in die Bestandsinfrastruktur zu integrieren, kann auf die nationalen Betriebsprozesse adaptiert werden und bietet mindestens die gleiche Sicherheit sowie Kapazität wie PZB 90. Erstmals implementiert wird es im Rahmen des Großprojekts „Korridor A" im Knoten Basel. Dieser Artikel fasst Untersuchungen zum Einfluss von ETCS Level 1 Limited Supervision auf die Leistungsfähigkeit zusammen.

1. EINLEITUNG

Mit der Baseline 3 der ETCS-Systemspezifikationen, aktuell [7], wurde der Betriebsmodus Limited Supervision (LS) zur Verwendung im Level 1 eingeführt. Im Mode LS wird nach herkömmlicher Betriebsvorschrift und auf Signalsicht gefahren. An den ETCS-Fahrzeugrechner (EVC) werden aus den Signalbegriffen abgeleitete Informationen über Lineside Electronic Units (LEU) und Balisengruppen in Form standardisierter Telegramme übertragen. Fahrzeugseitig wird jedoch keine Führerstandssignalisierung ausgegeben, sämtliche Überwachungen auf dem Triebfahrzeug werden allein im Hintergrund durchgeführt. Streckenseitig sind geringere Anforderungen als SIL4 zulässig, sofern das für den Betrieb erforderliche Sicherheitsniveau erreicht wird [1].

L1LS erleichtert damit die Integrierbarkeit in die vorhandene Infrastruktur und ermöglicht – und erzwingt zugleich – eine Skalierung der Funktionalität an die jeweiligen Bahnbetreiber. Die zwischen Strecke und Fahrzeug übertragenen Informationen sind im Rahmen der ETCS-Spezifikation jedoch definiert und das System ist damit in jedem Fall technisch interoperabel.

ETCS Level 1 LS ermöglicht – und erzwingt – eine Skalierung der Funktionalität an den jeweiligen Betreiber.

Als „ETCS signalgeführt" (ESG) treibt die DB Netz AG ein Rollout von L1LS auf dem deutschen Netz voran. Ausgerüstet wird im ersten Schritt der Korridor Rhine-Alpine im Rahmen des Projekts „Korridor A", startend im Knoten Basel. Dieser Artikel aktualisiert die in [9] gegebene Einführung um zwischenzeitlich durchgeführte Fortschreibungen des Lastenhefts, wenngleich in kurzer Form. Nachstehend wird die Terminologie des Lastenhefts genutzt, insbesondere werden Balisengruppen nebst etwaiger LEU als Datenpunkte (DP) bezeichnet. Mit Bremsvermögen wird im weiteren Verlauf die Kombination aus Bremsstellung und Bremshundertsteln adressiert.

Nach kurzer Darstellung der angestrebten Funktionalität skizziert dieser Artikel die Grundlagen des Nachweises der gleichen Sicherheit [6]. Kernelement des Beitrags ist anschließend die Untersuchung des Einflusses von ESG auf die Leistungsfähigkeit. Die dazu erstellte Methodik wird zunächst eingeführt und die erzielten Ergebnisse werden anschließend zusammengefasst.

2. EINFÜHRUNG ESG

ESG bildet die Funktionen der PZB 90 möglichst gut nach, um einerseits die betrieblichen Auswirkungen auf Fdl, Tf usw. zu minimieren und andererseits den notwendigen Sicherheitsnachweis weitgehend über den Nachweis gleicher Sicherheit erbringen zu können. Resultat ist das aktuelle Lastenheft [3], auf welches sich auch die folgenden Betrachtungen beziehen. Nachstehend werden zunächst ausgewählte allgemeine Gemeinsamkeiten und Unterschiede von ESG und PZB 90 skizziert. Anschließend werden elementare Anwendungsfälle von ESG dargestellt werden, welche zum Verständnis der Untersuchung gleicher Leistungsfähigkeit notwendig sind. Abgeschlossen wir dieses Kapitel mit einer Zusammenfassung des Nachweises gleicher Sicherheit, welcher unmittelbar in das anschließende Kapitel überleitet.

Dr.-Ing. Thorsten Büker
Geschäftsführer VIA Consulting & Development GmbH, Aachen
th.bueker@via-con.de

2.1. GEMEINSAMKEITEN UND UNTERSCHIEDE ZUR PZB 90

Wie bei der PZB 90 ist die Unabhängigkeit der Übertragungskanäle der Signalinformationen auch bei ESG das Grundprinzip. Während der primäre Kanal vom Signal via Triebfahrzeugführer (Tf) und dessen Handlungen am Führerbremsventil zur Zugbremse verläuft, geht der sekundäre Kanal vom Signal über den DP zum ETCS-Fahrzeuggerät (EVC) und weiter über dessen Bremswirkgruppe zur Zugbremse. Um die notwendige Unabhängigkeit der Kanäle zu gewährleisten, darf der/die Tf aus der ETCS-Führerstandsanzeige (DMI) keine Rückschlüsse auf die streckenseitigen Signalbegriffe ziehen können, zumindest so lange nicht, bevor er/sie unabhängig reagiert hat. Um diesen Ansatz weiter zu unterstützen, wird in ESG auf die Anzeige von Ankündigung und Erreichen des Bremseinsatzpunkts verzichtet. Erst unmittelbar vor dem Systemeingriff wegen Geschwindigkeitsüberschreitung (Warning) und beim eigentlichen Bremseingriff (Intervention) erfolgt eine visuelle sowie akustische Information.

ETCS trennt präzise die Zuständigkeiten: Von der Streckenseite wird lediglich eine Beschreibung der Infrastruktur an das Fahrzeug übermittelt. Es ist Aufgabe des EVC, die daraus resultierenden Aktionen (z. B. Ermittlung von Brems- und Überwachungskurven, Hauptschaltersteuerung bei Oberleitungsschutzstrecken) vorzunehmen. Daraus resul-

tieren einige grundsätzliche Unterschiede zwischen ESG und PZB 90, welche nachstehend zusammengefasst werden:

- → Die Datenübertragung erfolgt bei ESG im Gegensatz zu den einfach strukturierten Informationen der PZB 90 (1000 Hz – restriktiven Signalbegriff erwarten, 500 Hz – restriktiven Signalbegriff erwarten, 2000 Hz – Zwangsbremsung) mit komplexen Telegrammen bzw. Kombinationen von Telegrammen. Damit steht dem EVC eine wesentlich höhere Informationsfülle zur Verfügung.
- → Bei ESG ermittelt das EVC die Brems- und Überwachungskurven individuell auf Grundlage der aktuellen Zugkonfiguration ohne stufenweise Differenzierung (i.e. Überwachungsprogramme O, M, U der PZB 90).
- → Im Gegensatz zur PZB 90 lassen sich unterschiedliche Bremswegabstände projektieren. Die vom EVC ermittelten Überwachungskurven passen bei Regelvorsignalabständen, welche wesentlich von 1000 m abweichen, erheblich besser zur jeweiligen Infrastruktur.

2.2. ELEMENTARE ANWENDUNGSFÄLLE

ESG wurde unter dem Aspekt entwickelt, eine möglichst günstige Lösung für die ETCS-Ausrüstung im Bestand der Infrastruktur zu schaffen. Einerseits ist es möglich, günstige Hardware durch Anschaltung an bereits vorhandene Schnittstellen zu verwenden. Die andere Seite ist die Nutzung einer Standard-Projektierung: Ebenso wie die PZB 90 berücksichtigt ESG keine Neigungen, keine exakt vermessenen Abstände und keine Streckenhöchstgeschwindigkeit. Dies erlaubt in den meisten Anwendungsfällen eine standardisierte Programmierung basierend auf im Planungsregelwerk vorgegebenen Telegrammtypen zu nutzen. Die DP beziehungsweise die LEU erhalten eine Kennzeichnung hinsichtlich ihrer Funktion (z. B. HS-DP an Hauptsignalen) und sind im gesamten Netz einsetzbar.

Nachstehend werden elementare Überwachungsprinzipien von ESG zusammengefasst, deren Kenntnis für den weiteren Artikel notwendig ist. Dort, wo zweckmäßig, wird darüber hinaus auf spezifische Unterschiede zur PZB 90 eingegangen.

Fahrt ohne Restriktionen

Zur „Fahrt ohne Restriktionen" wird dem Zug eine Movement Authority (MA) von maximal möglicher Länge gewährt. Diese MA wird durch die DP an Vor- und Hauptsignalen sowie durch Aufwerte-DP (AW-DP), vergleiche

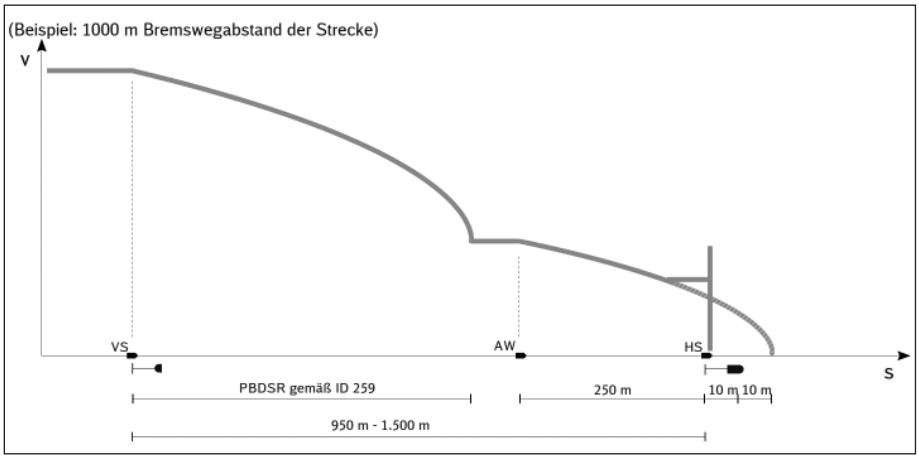


BILD 1: Anordnungsprinzip der Datenpunkte, Abbildung aus [3]

nächster Abschnitt, übermittelt, falls „Fahrt erwarten" bzw. „Fahrt" gilt.

Innerhalb dieser MA wird überwacht, dass der Zug nicht schneller als V_NVLIMSUPERV = 160 km/h fährt und zugleich im Bremswegabstand der Strecke zum Stillstand kommen kann. Letzteres wird über die Beachtung einer Permitted Braking Distance (PBD) sichergestellt. Diese erlaubt es dem Zug, maximal so schnell zu fahren, dass er innerhalb des Bremswegabstands (1000 m, 700 m bzw. 400 m) zum Stillstand kommt. Im Gegensatz zur PZB 90 erfolgt diese Überwachung durch das EVC in Schritten von 5 km/h und ist gleitend (statt allein in den Programmen O, M und U) vom Bremsvermögen der Zugkonfiguration abhängig.

Zufahrt auf ein Halt zeigendes Hauptsignal

Bei der Zufahrt auf ein Halt zeigendes Hauptsignal überwacht das Zugbeeinflussungssystem (PZB 90 wie ESG), dass der/die Tf rechtzeitig und ausreichend bremst. Ist dies nicht der Fall, wird über einen Bremseingriff sichergestellt, dass der Zug möglichst innerhalb des für ihn reservierten Fahrwegs zum Stillstand kommt. Zu diesem Zweck werden Daten an mehreren DP übertragen, wie in Bild 1 visualisiert wird. Erkennbar ist das Anordnungsprinzip der DP an Vor-und Hauptsignal sowie die Überwachungskurven (EBI) bei Halt zeigendem Signal nebst Übergang ins Release-Speed Monitoring kurz vor dem Hauptsignal.

Die einzelnen DP lösen dabei folgende Beeinflussungen aus:

- → Am Vorsignal wird dem Zug durch den VS-DP bei „Halt erwarten" oder einer Geschwindigkeitsankündigung kleiner gleich 70 km/h eine MA nebst neuer PBD übertragen. Diese erzwingt, die Geschwindigkeit innerhalb von D_PBDSR = 725 m (bei Bremswegabstand von 1000 m) so zu verringern, dass er anschließend innerhalb von PBD = 250 m zum Stillstand kommen kann. Der resultierende Geschwindigkeitswert V_PBD ist abhängig von Bremsstellung und Bremshundertstel des Zuges. Die V_PBD wird dem/der Tf allein zeitverzögert dargestellt, um die eingangs erläuterte Unabhängigkeit der Übertragungskanäle zu gewährleisten.
- → Wurde der restriktive Aspekt des Hauptsignals zwischenzeitlich ohne Geschwindigkeitsrestriktion oder mit einer Geschwindigkeitsrestriktion größer gleich 40 km/h aufgewertet, erhält der Zug am AW-DP in 250 m Distanz zum Hauptsignal eine MA für die Fahrt ohne Restriktionen. (Diese explizite Aufwertung ist das Pendant zur Befreiung durch den/die Tf aus der 1000-Hz-Überwachungsfunktion.)
- → Gewährt das Hauptsignal zwar Fahrt aber in Kombination mit einer Geschwindigkeitsrestriktion kleiner gleich 30 km/h, so wird eine temporäre Langsamfahrstelle (TSR) übermittelt, welche 50 m vor dem Hauptsignal beginnt und bis zum Signalstandort reicht.
- → Wird auf ein weiterhin Halt zeigendes Signal zugefahren, wird die MA durch den AW-DP aktualisiert und auf 270 m gekürzt. Die 20 m Toleranz gewähren dabei Planungstoleranz und gewährleisten, dass der Zug immer den zum Hauptsignal gehörigen DP erreicht und dessen Informationen aufnehmen kann. Bestandteil der MA ist eine Release Speed von V_NVREL = 25 km/h. Bei dieser Geschwindigkeit wird die Überwachung durch die fallende Bremskurve abgebrochen und mit konstanter Geschwindigkeit fortgeführt.
- → Fährt trotz der Überwachungsfunktionen ein Zug unerlaubt am Halt zeigenden Signal vorbei, wird mittels des dort verlegten HS-DP eine Zwangsbremsung wegen Überfahren der End-of-Authority (EOA) getriggert. »

Langsamfahrstellen
Die Überwachung von vorübergehenden oder ständigen Langsamfahrstellen stellt sicher, dass die vorgegebene Geschwindigkeit beim Erreichen des Geschwindigkeitswechsels eingehalten wird. Hier ermöglicht ESG durch die Nutzung der TSR-Funktionalität eine feiner justierte Überwachung als die PZB 90:

- → Die Geschwindigkeit wird kontinuierlich und mit der tatsächlichen Zielgeschwindigkeit am Beginn der Langsamfahrstelle überwacht. Die PZB 90 nutzt im Gegensatz dazu punktuelle Geschwindigkeitsüberwachungen in Kombination mit Geschwindigkeitsprüfeinrichtungen (GPE) mit 2000-Hz-Gleismagneten für Zielgeschwindigkeiten größer gleich 100 km/h, 1000-Hz-Überwachungsfunktionen (1000-Hz-ÜF) in Kombination mit GPE für Zielgeschwindigkeiten größer gleich 80 km/h oder immer aktive 1000-Hz-ÜF für noch niedrigere Zielgeschwindigkeiten. Für Zielgeschwindigkeiten kleiner gleich 30 km/h kommt zusätzlich die 500-Hz-ÜF zur Anwendung. Der Einsatz von GPE ist dabei mit hohem infrastrukturellem Aufwand verbunden. Für Details wird auf [5] verwiesen.
- → Die zu überwachende Geschwindigkeit wird unabhängig vom Ankündigungssignal (Lf 1 bzw. Lf 6) übertragen. Stattdessen liegt der LF-DP in der Entfernung des Bremswegabstands abzüglich 5 %. Damit wird der Inhalt des DP unabhängig von der Variabilität des Abstands zwischen Ankündigung der Langsamfahrstelle und deren Beginn.

2.3. NACHWEIS GLEICHER SICHERHEIT

Ein Kernaspekt des Nachweises gleicher Sicherheit [6] ist, für den Referenzfall der PZB 90 zu validieren, dass ein Zug bei Eintreten einer Intervention durch ESG nicht weiter jenseits des Signalstandorts zum Stillstand kommt als es bei Intervention durch die PZB 90 der Fall wäre.

Als Referenzfall dient dazu die flache Strecke mit 1000 m Bremswegabstand und einem Vorsignal in 1000 m Abstand zum geschlossenen Hauptsignal. Auch bei weiterer Annäherung an das Hauptsignal bleibt dieses geschlossen, d. h. es wird eine 500-Hz-ÜF ausgelöst bzw. eine restriktive MA des AW-DP übermittelt. Die Lage des 500-Hz-Magneten wird dabei analog zum AW-DP in 250 m Distanz zum Hauptsignal unterstellt. Betrachtet wird eine breite Population von Zugeigenschaften, welche sowohl Extrema als auch insbesondere die Übergänge zwischen den Überwachungsprogrammen O, M und U der PZB 90 abdeckt. Ergänzend zur Berechnung des kritischsten Stillstands nach Zwangsbremsung wird bereits im Nachweis gleicher Sicherheit validiert, inwiefern die Überwachungskurven der PZB 90 sowie von ESG mit einer korrekt durchgeführten Betriebsbremsung behinderungsfrei vereinbar sind. Dazu wird ein Modell für dreiphasige Betriebsbremsungen (Bremsaufbauzeit, Bremsung mit straffer und entspannter Phase) aufgestellt.

Ergänzend zur Betrachtung des Referenzfalls werden diverse Spezialfälle (z. B. Positionierung von Start-DP, Einfahrt in Stumpfgleise) bei der Ermittlung der bremsbetrieblichen Vorgaben für ESG betrachtet. Aus den gesamtheitlichen Erwägungen resultiert ein Satz von National Values, welcher die Systemkonfiguration gemäß Lastenheft BTSF3 [1] für den Anwendungsfall ESG komplementiert. Er umfasst insbesondere:

- → Geschwindigkeitsabhängige Korrekturfaktoren für die Notbremsbeschleunigung Kv_int mit Differenzierung nach Reise- und Güterzügen sowie weiterer Differenzierung nach Bremsvermögen bei Reisezügen
- → Korrekturfaktor für die Bremsaufbauzeit Kt_int einer Notbremsung

Die in Abschnitt 3 beschriebene Untersuchung des Einflusses von ESG auf die Kapazität wird in enger modelltheoretischer Anlehnung an die bremsbetrieblichen Untersuchungen durchgeführt, um sowohl Vergleichbarkeit zu erzielen und zugleich die Ergebnisse nochmals kritisch zu hinterfragen.

3. EINFLUSS AUF DIE KAPAZITÄT

Bislang wurde nicht explizit untersucht, welchen Einfluss die Abbildung der PZB 90 durch die „Toolbox" der ETCS Baseline 3 auf das bahnbetriebliche Leistungsverhalten hat. Vorgehen und Ergebnisse dieser Untersuchung werden in diesem Abschnitt beschrieben. In Analogie zum Nachweis der mindestens gleichen Sicherheit (vgl. Abschnitt 2.3) wird betrachtet, ob ESG ein ähnlich restriktives Fahrverhalten bedingt wie es die PZB 90 erfordert. Ist dies der Fall, so geht mit der Einführung von ESG kein Abfall der Leistungsfähigkeit (Strecke wie auch Knoten) einher. Diese vereinfachte Betrachtung der Leistungsfähigkeit allein durch Vergleich der zulässigen Fahrzeiten ist möglich, da alle anderen Systemkomponenten (z. B. Signalsicht, Übertragungszeiten) im Vergleich von PZB 90 und ESG identisch sind. Auf eine absolute Betrachtung der jeweiligen Leistungsfähigkeiten kann somit verzichtet werden. (Angemerkt sei noch, dass das in Abschnitt 3.3 thematisierte Systemverhalten bei Stutzen/Aufwertung nicht in die Verfahren zur Leistungsfähigkeitsrechnung gemäß [4] eingeht.)

Wie beim Nachweis gleicher Sicherheit wird betrachtet, ob ESG ein ähnlich restriktives Fahrverhalten wie die PZB 90 erfordert.

Die Berechnungen erfolgen für einen repräsentativen Zugmix und auf typischen Infrastrukturkonfigurationen. Berechnet wird der jeweils notwendige Zeitbedarf für drei Fahrtspiele:

- → Einfahrt in den planmäßigen Halt
- → Überwachter Geschwindigkeitswechsel
- → Stutzen/Aufwertung.

Darüber hinaus wird das Startprogramm bzw. Wiederanfahren nach Halt qualitativ betrachtet. Bestandteil nachstehender Kapitel sind allein die quantitativen Untersuchungen. Für das Startprogramm zeigt sich bereits qualitativ, dass in der angestrebten Kombination von AS-DP und V_NVSTFF = 40 km/h keine Behinderungen der ordnungsgemäßen Fahrt zu erwarten sind. Für das Wiederanfahren unter Deckelung durch V_NVREL = 25 km/h können die Einschränkungen der Trajektorie nicht stärker als unter der restriktiven 500-Hz-ÜF sein.

3.1. ARBEITSGRUNDLAGEN UND EINGANGSGRÖSSEN

Alle in der Betrachtung angestellten Überlegungen stehen, soweit möglich, im Einklang zu [6]. Darüber hinaus werden die einschlägigen Lastenhefte und Regelwerke (insb. die Richtlinien 402, 405 und 819) genutzt. Weitere Eingangsdaten und ihre Relevanz werden nachstehend skizziert. Diese sind so gewählt, dass sie ein möglichst repräsentatives Bild der auf dem Netz verkehrenden Zugpopulation geben.

Bremsaufbauzeiten, Bremsverzögerungen und Beschleunigungen
Das dreiphasige Bremsmodell für Betriebsbremsungen ist entsprechend zu parametrisieren. Die unterstellten Bremsaufbauzeiten werden gemäß Conversion Model aus [7] ermittelt. Die zur Ermittlung notwendigen Zuglängen und Bremsstellungen werden näherungsweise als Mittelwerte aus den Trassen gemäß Jahresfahrplan abgeleitet. (Dabei wird unterstellt, dass angemeldete Trassen und tatsächlich gefahrene Zugkom-

positionen hinsichtlich ihrer Bremseigenschaften vergleichbar sind.)

Es sind sowohl Verzögerungen für Betriebs- als auch für Vollbremsungen anzusetzen:

- → Die Verzögerungen bei Betriebsbremsungen werden analog zu [6] gewählt.
- → Für die Ermittlung der Verzögerungen bei Vollbremsungen sind zunächst Intervalle von Bremshundertsteln zu bilden. Die Grenzwerte unterscheiden sich je nach Bremsstellung. Sie sind so gewählt, dass sowohl die Übergänge aus der Bremstafel für 1000 m Bremswegabstand als auch die Übergänge zwischen den drei Überwachungsprogrammen der PZB 90 gewürdigt werden. Ferner wird beachtet, dass [3] für Reisezüge 66 % und für Güterzüge 47 % Mindestbremshundertstel vorsieht. Es resultieren 42 Intervalle je Bremsstellung, welchen die Auftretenswahrscheinlichkeiten gemäß den Trassen aus dem Jahresfahrplan zugewiesen werden.

Bei der Ermittlung des Effekts vorzeitig Erteilter Movement Authority („Infill") sind auch mögliche Beschleunigungen zu unterstellen. Diese Beschleunigungen werden vergleichsweise konservativ angenommen, um Effekte nicht zu überschätzen. (Die Annahme ist quasi gegenläufig zur Fragestellung einer INA-Betrachtung.)

Ausgangsgeschwindigkeiten der Fahrtspiele

Für verschiedene Fahrtspiele sind Ausgangsgeschwindigkeiten zu unterstellen. Grundsätzlich wird unterstellt, dass ein Zug mit der maximalen zulässigen Geschwindigkeit verkehrt. Diese Geschwindigkeiten werden aus der gültigen Bremstafel (für 1000 m bzw. 700 m Bremswegabstand) für den ebenen Fall abgeleitet. Hier ist ein unmittelbarer Vergleich möglich, denn die zulässige Geschwindigkeit bleibt bei ESG identisch. (Die technisch überwachte Geschwindigkeit weicht systembedingt hingegen ab.)

Vorsignalabstände

Die Betrachtung verschiedener Vorsignalabstände ist auf die flache Strecke und auf Bremstafeln für 700 m sowie 1000 m Bremswegabstand beschränkt. Für Ersteres werden Vorsignalabstände von 665 bis 1050 m und für Zweiteres von 950 bis 1500 m betrachtet.

Sonstige Eingangsgrößen

Tabelle 1 zeigt eine Auswahl von Größen/Variablen, welche in den nachstehenden Betrachtungen von Relevanz sind.

Größe	Erläuterung
Sichtpunkt	Einleitung der Betriebsbremsung gemäß unterstelltem Bremsverhalten. Beträgt standardmäßig 300 m, wird jedoch vorgezogen, falls dies für einen behinderungsfreien „Einstieg" unter die ÜF der PZB 90 bzw. ESG notwendig ist.
Haltepunkt	Halt in Signalsicht vor Hauptsignal, bezogen auf Hauptsignal. Beträgt standardmäßig 20 m.
Geschwindigkeitstoleranzen	Mindestwert, um welchen eine verdeckte/bekannte Überwachungsfunktion durch Tf unterfahren wird. Beträgt standardmäßig 5 km/h.
Verspätungsniveau	Bei der Betrachtung von Stutzvorgängen (Aufwertung von Überwachungen) sind Annahmen zu initialen Verspätungen zu treffen. Werte gemäß Richtlinie 405 für hochbelastete Netzbereiche.

TABELLE 1: Ausgewählte weitere Eingangsgrößen

3.2. EINFAHRT IN EINEN PLANMÄSSIGEN HALT

Hauptsächlicher Gegenstand des Vergleichs ist die Einfahrt in einen planmäßigen Halt bei wirksamer Überwachung durch die PZB 90 bzw. durch ESG, d. h. das Pendant zum in Abschnitt 2.3 geschilderten Referenzszenario. Variiert wird das Bremsvermögen, d. h.:

- → Zugart/Bremsstellung
- → verfügbares Bremshundertstel λ

Die zulässige Geschwindigkeit resultiert aus dem Bremsvermögen. Bewertet wird jeweils die Dauer eines Fahrtspiels vom Sichtpunkt bis zum Stillstand nach Abschluss der (ggf. behinderten) Betriebsbremsung. Durch Vergleich des Kennwerts für die PZB 90 und für ESG wird ersichtlich, inwiefern der Zeitbedarf bei ESG höher/niedriger als bei PZB 90 ist. Daraus kann geschlossen werden, ob ESG zu zusätzlichen Behinderungen der fahrbaren Trajektorien führt.

Unterstelltes Bremsverhalten

Zur Bewertung der Fragestellung sind Annahmen zum Bremsverhalten zu treffen. Diese betreffen eine „freie" Betriebsbremsung ohne jegliche Behinderungen aus der Zugüberwachung sowie Modelle, wie eine Bremsung möglichst fahrzeitminimal unter den ÜF der PZB 90 sowie unter der EBI bei ESG erfolgen kann. Die getroffenen Annahmen werden hier nur verkürzt ohne Schilderung von Sonderfällen dargestellt:

1) Eine „freie" Betriebsbremsung wird am Sichtpunkt eingeleitet. Nach Ablauf der Bremsaufbauzeit (vgl. Abschnitt 3.1.1) bremst der/die Tf bis zum Erreichen einer Geschwindigkeitsstufe und anschließend mit gleicher oder (absolut) geringerer Bremsverzögerung in den Stillstand. Als Standardwert für die zunächst angebremste Geschwindigkeitsschwelle wird in beiden Systemen die am Ende der 500-Hz-ÜF überwachte Geschwindigkeit genutzt. (Da diese einen nennenswerten Einfluss auf die Aussagen hat, werden die Ergebnisse jedoch durch verschiedene Sensitivitätsanalysen erhärtet.)
2) Die Bremsung „eng" unter der PZB 90 unterstellt, dass der/die Tf die Bremsung so früh einleitet, dass der Einstieg in die 1000-Hz-ÜF um eine Mindesttoleranz unterfahren wird. Je nach Fall befindet sich der Zug noch in der Bremsaufbauphase oder bereits in der ersten Bremsverzögerung. Die Bremsverzögerung wird so gewählt, dass keine Intervention aus der 1000-Hz-ÜF oder aus der 500-Hz-ÜF resultiert. Ferner muss die technisch maximal mögliche Vollbremsverzögerung gewahrt sein und der Zug am vorgesehenen Ort zum Stillstand kommen. Ist dies nicht der Fall, so wird der Bremseinsatzpunkt verschoben. Der Zeitbedarf für das überwachte Fahrtspiel kann geringer als im Fall der „freien" Betriebsbremsung sein.
3) Eine Bremsung „eng" unter ESG wird soweit möglich analog zum Pendant unter der PZB 90 aufgebaut. Die Modellierung ist bei ESG insofern einfacher, als dass im Gegensatz zur PZB 90 nicht zunächst eine Trajektorie ermittelt werden muss, um die zeitabhängige Überwachungsfunktion (1000 Hz) in eine wegabhängige Überwachungsfunktion umzurechnen. Auch bei ESG kann der Zeitbedarf für das überwachte Fahrtspiel geringer als im Fall der „freien" Betriebsbremsung sein.

Zeitverbrauch im Vergleich

Es zeigt sich, dass Betriebsbremsungen unter den getroffenen Annahmen niemals durch die ÜF der PZB 90 behindert werden, d.h. der Zeitbedarf für 2) ist niemals größer als für 1). Wird der Zeitbedarf für 2) als Funktion des Bremsvermögens ausgewiesen, zeigen sich mehrere Singularitäten. Diese treten bei jenen Funktionswerten auf, wo das maßgebliche Überwachungsprogramm der »

PZB 90 wechselt. Nach Gewichtung über die Auftretenswahrscheinlichkeiten von Zugart/Bremsstellung resultiert ein mittlerer Zeitbedarf von 96,3 Sekunden für das überwachte Fahrtspiel. Dieser Wert dient in der weiteren Betrachtung als Referenzszenario für die PZB 90.

Der Zeitbedarf zur überwachten Bremsung bei ESG als Funktion vom Bremsvermögen ist wesentlich gleichmäßiger als im Fall der PZB 90. Dies resultiert daraus, dass das Conversion Model im Gegensatz zu den drei Überwachungsprogrammen der PZB 90 keine Sprungstellen verursacht. Für ESG zeigt der identische Vergleich jedoch, dass in 4 % aller nach Zugpopulation gewichteten Fälle die ÜF dazu führen, dass der Zeitbedarf gemäß 3) höher als bei 1) ist. Diese Situationen treten bei 66 Bremshundertsteln (Reisezüge in R/P und Güterzüge in P) und bei 111 Bremshundertsteln (Reisezüge in R/P) ein. Dies sind just jene Stellen, an welchen die zunächst angebremste Geschwindigkeitsschwelle, welche aus der 500-Hz-ÜF abgeleitet wird, aufgrund des Wechsel des PZB-Überwachungsprogramms variiert. Ermittelt man den gleichen gewichteten Kennwert wie für die PZB 90, so weist das Referenzszenario einen Zeitbedarf von 96,4 Sekunden auf.

In Bild 2 ist Δt = „Zeitbedarf unter ESG" – „Zeitbedarf unter PZB 90" gebildet. Je größer ein positives Δt, desto vorteilhafter verhält sich PZB 90 gegenüber ESG. Es werden jene bereits zuvor adressierten Fälle augenscheinlich. Unter Beachtung der Gewichtung tritt der zusätzliche Zeitbedarf insbesondere bei Güterzügen in Bremsstellung P auf.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der zusätzliche Zeitbedarf bei ESG gegenüber der PZB 90 in der Größenordnung von 0,1 Sekunden als vernachlässigbar gelten kann.

Sensitivität der Kennzahlen

Die zuvor dargestellten Betrachtungen gelten für das Referenzszenario nebst diversen Annahmen. Um die Robustheit der Aussagen gegenüber veränderten Eingangsgrößen und Annahmen zu testen, werden nachstehend verschiedene Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Diese kommen zu folgenden Erkenntnissen:

- → Die unterstellte Bremsstrategie (d. h. die angepeilte Schwelle zur Reduktion der Bremsleistung) beeinflusst erheblich den Zeitbedarf für das Fahrtspiel in beiden Fällen. Wird bei ESG als angepeilte Stufe allerdings jene V_PBD unterstellt, wie sie gemäß [3] nach Ablauf von „Toggle off" angezeigt wird, so entsteht ein Fahrzeitvorteil bei ESG. Eine veränderte Bremsstrategie bei ESG erlaubt demnach eine Fahrzeitverkürzung, wenn sie nach der Eingewöhnungsphase durch die Tf verinnerlicht wird. Es ist dann zugleich zu erwarten, dass die in der ersten Bremsphase angepeilten Geschwindigkeiten stärker als hier unterstellt variieren.
- → Wird der unterstellte Anteil der Güterzüge erhöht, so wächst auch der (marginale) Vorteil der PZB 90 im gewichteten Zeitbedarf für das Fahrtspiel. Die Größenordnung der Veränderung ist jedoch abermals in akademischer Größenordnung.
- → Die Lage des Stillstands vor dem Hauptsignal beeinflusst die Aussagen höchstens marginal.
- → Für die Referenzszenarien wird eine Ausgangsgeschwindigkeit in Höhe der zulässigen Geschwindigkeit unterstellt. Auch wenn ein breiteres Band von Ausgangsgeschwindigkeiten (zulässige Geschwindigkeit um bis zu 20 km/h unterschritten) betrachtet wird, ändern sich die Verhältnismäßigkeiten nicht. Die bislang getroffenen Aussagen sind robust gegenüber einer Variation der Ausgangsgeschwindigkeit.

Potentiale durch ESG

[3] sieht eine Abhängigkeit der D_PBDSR vom Bremswegabstand vor. Wird der innerhalb einer Bremstafel zulässige Vorsignalabstand ausgenutzt, so muss eine lange Distanz unter Einhaltung von V_PBD bis zum AW-DP zurückgelegt werden. (Die daraus resultierenden Einschränkungen der Trajektorie sind noch wesentlicher als bei der 1000-Hz-ÜF der PZB 90, welche ebenfalls nur eingeschränkt für lange Vorsignalabstände geeignet ist.) Dieses Beharren unter der V_PBD geht einher mit einer erheblichen Erhöhung der notwendigen Fahrzeit.

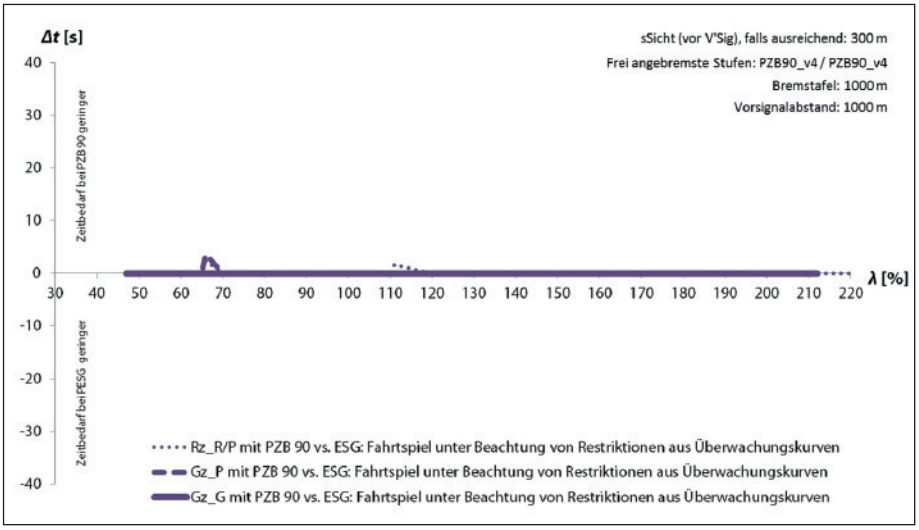
Wird die D_PBDSR in Abhängigkeit zum tatsächlichen Vorsignalabstand (in Intervallen) statt zum Bremswegabstand definiert, so kann durch geeignete Wahl der Variablen immer mindestens die gleiche Sicherheit wie im Referenzfall von 1000 m erreicht werden, obgleich die EBI wesentlich später „fällt". Nach einer solchen Anpassung der am VS-DP erteilten MA verhält sich ESG nie nachteiliger als PZB 90 und im Fall hoher Vorsignalabstände sogar signifikant besser (bis zu 5 Sekunden geringere Fahrzeiten). Voraussetzung zum Eintreten dieser Vorteile ist allerdings, dass die Tf sukzessive ihr Fahrverhalten an die neuen Möglichkeiten anpassen.

3.3. STUTZEN/AUFWERTUNG

Die bislang angestellten Betrachtungen beschränken sich auf Einfahrten in planmäßige Halte, da in Fahrplankonstruktion und Leistungsfähigkeitsrechnungen allein dann restriktive Vorsignalbegriffe vorgesehen sind. Selbst bei einem entsprechend konfliktfreien Fahrplan behindern im tatsächlichen Betrieb jedoch verspätete Fahrten andere Fahrten, so dass Folgeverspätungen resultieren. Die Höhe dieser Folgeverspätungen hängt insbesondere ab von:

- → Planmäßige Pufferzeit zwischen den Belegungen
- → Verspätungsniveau des verursachenden Zuges
- → Verspätungsniveau des erleidenden Zuges
- → Brems- und Beschleunigungsvermögen des erleidenden Zuges
- → Einschränkungen der Wiederbeschleunigung aufgrund des Zugsicherungssystems

BILD 2: Individueller Zeitbedarf für Einfahrt in planmäßigen Halt im Vergleich



Letzterer Aspekt resultiert aus der Überwachung durch Zugbeeinflussungssysteme mit punktförmiger Übertragung. Ergänzend zu Abschnitt 3.2 wird in diesem Abschnitt die Abschätzung dargestellt, ob ESG im Betrieb zu höheren Folgeverspätungen als die PZB 90 führt. Zu diesem Zweck werden Kombinationen unter Variation folgender Parameter verglichen:

- Zugart/Bremsstellung
- Bremshundertstel
- Aufwertezeitpunkt des Hauptsignals nach Vorbeifahrt am Vorsignal

Im Gegensatz zur Einfahrt in den planmäßigen Halt wird nicht das Fahrtspiel von Sichtpunkt bis zum Stillstand sondern eine längere Distanz von Sichtpunkt bis zu einem Punkt jenseits des Hauptsignals betrachtet, um die notwendige Wiederbeschleunigung auf die Ausgangsgeschwindigkeit zu berücksichtigen.

Abbildung einer Aufwertung

Für eine Überwachung durch die PZB 90 sowie durch ESG folgt der Zug den Trajektorien gemäß Abschnitt 3.2.1. Eine gewisse Zeit nach Vorbeifahrt am Vorsignal wertet jedoch das Hauptsignal auf. Der/die Tf nimmt diese Aufwertung visuell war, beide Systeme setzen ihre Überwachung jedoch zunächst fort. Dabei gilt Folgendes:

PZB 90:

- Wirkt die 500-Hz-ÜF noch nicht, so wird die Bremsung bis zum Erreichen der Möglichkeit zur Befreiung aus der 1000-Hz-ÜF fortgesetzt.
- Wirkt die 500-Hz-Beeinflussung bereits, so wird die Bremsung analog zur Beschreibung in 3.2.1 bis Erreichen der angebremsten Geschwindigkeitsstufe fortgesetzt. Dann wird mit konstanter Geschwindigkeit zum Signal gefahren. (Insofern die 500-Hz-ÜF keine geringere Geschwindigkeit fordert.)
- Ist die angebremste Geschwindigkeitsstufe bereits unterschritten, so wird wieder bis auf diese Geschwindigkeit beschleunigt. (Insofern die 500-Hz-ÜF keine geringere Geschwindigkeit fordert.)
- Anschließend wird in jedem Fall auf die Ausgangsgeschwindigkeit beschleunigt.

ESG:

- Der Zug unterfährt EBI sowie die Release Speed.
- Nach Eintritt der Signalaufwertung wird die MA bei Erreichen des nächsten dynamischen DP (entweder regulärer AW-DP oder zusätzlicher Infill-DP) aufgewertet.
- Dann beschleunigt der Zug wieder auf die Ausgangsgeschwindigkeit.

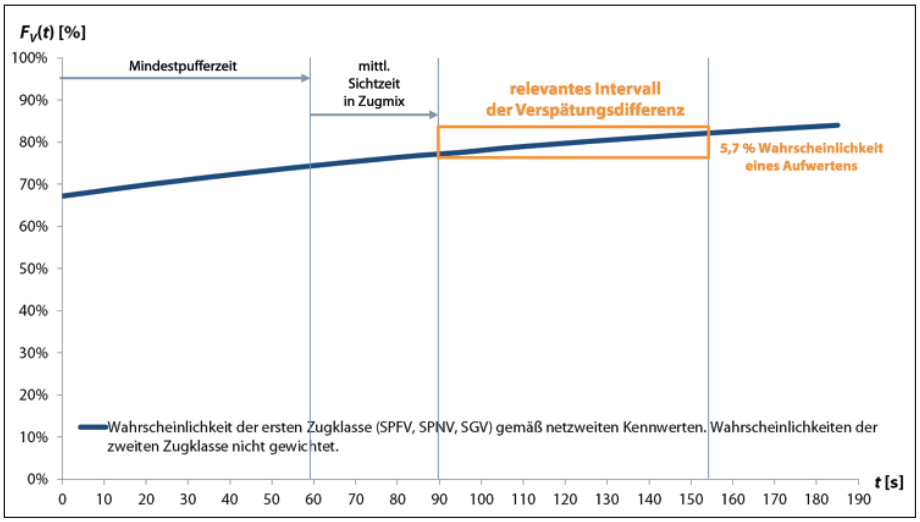


BILD 3: Exemplarische Eintrittswahrscheinlichkeit einer Aufwertung

Unter beiden Systemen erfährt der zweite Zug eine Folgeverspätung, wenn die Verspätungsdifferenz beider Züge die Pufferzeit unterschreitet, denn anschließend leitet der/die Tf den Bremsvorgang ein. Überschreitet die Verspätungsdifferenz diesen Schwellwert, so passiert der Zug ein restriktives Vorsignal und eine technische Überwachung setzt ein. Ab diesem Moment wirkt ein unterschiedliches Systemverhalten der PZB 90 bzw. von ESG.

Ein unterschiedliches Systemverhalten bei Aufwertung des Signalbegriffs und Aufhebung der Überwachung kann so lange eintreten, bis der zweite Zug zum Stillstand gekommen ist. Ist die Verspätungsdifferenz noch größer, so ist die Folgeverspätung in beiden Systemen identisch. (Etwaige Restriktionen beim Wiederanfahren wurden bereits eingangs dieses Kapitels behandelt.) Eine Aufwertung kann also nur in einem gewissen Intervall der Verspätungsdifferenz eintreten. Unter Anwendung der Standardwerte für Einbruchsverspätungen gemäß DB Richtlinie 405 (gewichtet gemittelt für Fernverkehr, Nahverkehr und Güterverkehr) ist in Bild 3 aufgetragen, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Aufwertung des Signalbegriffs zum Tragen kommen kann.

Es wird ersichtlich, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Aufwertung unmittelbar abhängig von den vorhandenen Pufferzeiten und dem vorliegenden Verspätungsniveau ist. Die hier zum Systemvergleich angewandte Methodik stellt eine Teilkomponente des Modells des „Pufferzeitäquivalents“ dar, welches in [1] beschrieben wird.

Vergleich Zeitverbrauch ESG vs. PZB 90

Zum gesamthaften Vergleich des Systemverhaltens ist es über eine Gewichtung nach Bremsvermögen hinaus erforderlich, eine Differenzierung nach den Aufwertezeitpunkten vorzunehmen. Es zeigt sich, dass die PZB 90 eine im Vergleich etwas straffere Fahrweise bei früher Aufwertung des Signals ermöglicht, während ESG bei später Aufwertung vorteilhaft ist. Bei PZB 90 greift in diesen Fällen häufig die Befreiung nach 700 m, während bei langsamen Zügen das Signal vor Erreichen des AW-DP aufwertet. Nach Gewichtung über die Eigenschaften der Zugpopulation sowie ferner über die Eintrittswahrscheinlichkeiten der Aufwertezeitpunkte resultiert folgendes Bild:

- Mittlerer gewichteter Zeitbedarf bei PZB 90: 153,1 Sekunden
- Mittlerer gewichteter Zeitbedarf bei ESG ohne zusätzliche Infill-DP: 157,3 Sekunden (+ 4,2 Sekunden gegenüber PZB 90, d. h. nachteilig)

Gesamthaft – und unter den hier getroffenen Annahmen, welche für den Fall „Stutzen/Aufwerten“ nur ein exemplarisches Bild geben – verhält sich ESG demnach im Betrieb etwas einschränkender als die PZB 90. Wird beispielsweise der Anteil des Schienengüterverkehrs an der Gesamtpopulation erhöht, so steigt der „Nachteil“ von ESG. Es ist daher festzuhalten, dass für die Planung zusätzlicher Infill-DP neben dem Verspätungsniveau auch der tatsächliche Zugmix zwingend zu beachten ist.

Potentiale durch ESG

ESG ermöglicht, eine aktive Überwachungsfunktion durch Nutzung zusätzlicher Infill-DP vorzeitig aufzuheben, indem eine neue MA erteilt wird. Der Zug kann anschließend unmittelbar wieder beschleunigen. Die optimale Lage des oder der Infill-DP hängt, wie aus »

den bisherigen Berechnungen ersichtlich, von planmäßigen Pufferzeiten, Betriebsprogramm (Beschleunigungen, Bremsvermögen) und dem lokalen Verspätungsniveau ab.

Exemplarisch werden verschiedene Strategien zur Positionierung eines oder zwei zusätzlicher Infill-DP hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Zeitbedarf für das Fahrtspiel verglichen. (Dabei wirkt auch der reguläre Aufwerte-DP als Infill-DP.) Betrachtet werden das Referenzszenario sowie Abwandlungen mit längeren/kürzeren Bremsweg- und Vorsignalabständen. Es zeigt sich, dass die Anwendung zusätzlicher Infill-DP ein erhebliches Potential bietet, die Höhe von Folgeverspätungen bei ESG zu reduzieren. Wird bei langen Vorsignalabständen eine sinnvolle Anordnung zusätzlicher Infill-DP vorgenommen, so können Nachteile gegenüber der PZB 90 nicht nur minimiert werden – vielmehr verhält sich ESG dann vorteilhaft. Für das Referenzszenario ergibt sich:

- → Mittlerer gewichteter Zeitbedarf bei ESG ohne zusätzliche Infill-DP: 157,3 Sekunden (+4,2 Sekunden gegenüber PZB 90, d. h. nachteilig)
- → Mittlerer gewichteter Zeitbedarf bei ESG mit zusätzlichem Infill-DP bei -550 m: 148,1 Sekunden (-5,0 Sekunden gegenüber PZB 90, d. h. vorteilhaft)
- → Mittlerer gewichteter Zeitbedarf bei ESG mit zusätzlichen Infill-DP bei -550 m und -100 m: 145,6 Sekunden (-7,5 Sekunden gegenüber PZB 90, d. h. vorteilhaft)

Für hochbelastete Netzbereiche (z. B. im Zulauf auf Abzweige/Knoten) ergibt sich damit die Option, das betriebliche Leistungsverhalten unter ESG gegenüber der heutigen Situation unter PZB 90 zu verbessern. Dazu sind zusätzliche Infill-DP zu nutzen, welche über das Trippel aus VS-DP, AW-DP und HS-DP hinausgehen.

3.4. GESCHWINDIGKEITSWECHSEL

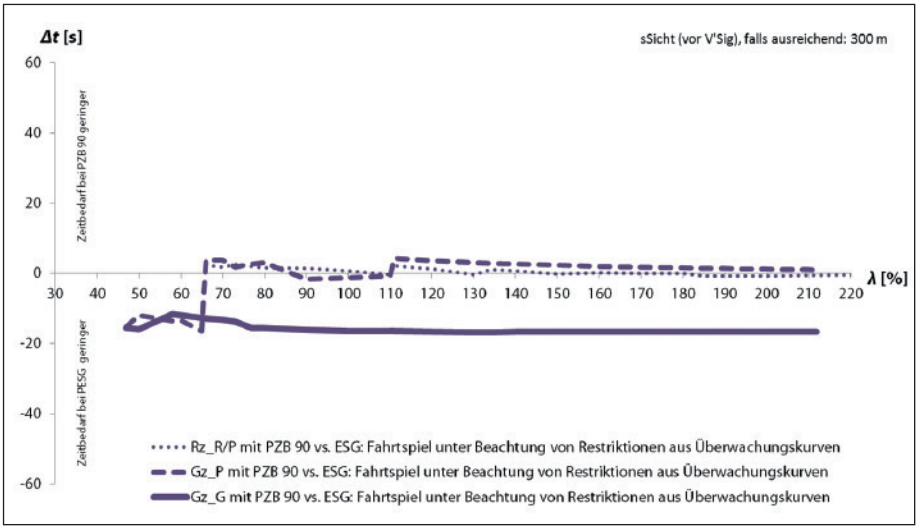
Abhängig von der Ausgangsgeschwindigkeit sowie der Geschwindigkeitsdifferenz wird bei ESG analog zur PZB 90 die Beachtung eines Geschwindigkeitswechsels überwacht. Dies gilt sowohl für ständige Langsamfahrstellen (Lf 6/Lf 7) als auch für signalisierte Geschwindigkeitswechsel (Zs 3v/Zs 3). Nachstehend wird erläutert, ob für verschiedene Kombinationen aus Bremsvermögen und Zielgeschwindigkeiten bei ESG eine stärkere Limitierung der fahrbaren Trajektorie entsteht als bei PZB 90. Die Ausgangsgeschwindigkeit entspricht dabei abermals der zulässigen Geschwindigkeit (und resultiert aus dem Bremsvermögen). Die Zielgeschwindigkeiten werden im Intervall von 20 km/h bis 140 km/h in Schritten von 10 km/h betrachtet. Die Kombinationen, in welchen eine technische Sicherung vorzusehen ist, resultieren aus [5].

Unterstelltes Bremsverhalten

Es sind, wie bereits in Abschnitt 3.2.1 erläutert, drei Heuristiken für das Bremsverhalten des/der Tf aufzustellen:

- → Im Gegensatz zur Fahrt in den planmäßigen Halt wird für die „freie" Bremsung auf einen Geschwindigkeitswechsel unterstellt, dass allein eine Bremsverzögerung zum Einsatz kommt. Es resultiert ein zwei- statt dreiphasiges Modell, beginnend mit der Bremsaufbauzeit ab dem Sichtpunkt. Die notwendige Bremsverzögerung ergibt sich aus dem verbleibenden Bremsweg unter Einhaltung der technisch möglichen Bremsverzögerung. Falls notwendig, wird der Bremseinsatzpunkt verschoben. Ermittelt wird der Zeitbedarf bis zum Erreichen des Signals (Lf 7 bzw. Hauptsignal mit Ks 3).
- → Bei der PZB 90 wird analog zur Fahrt in den planmäßigen Halt eine Bremsung mit Bremsaufbauzeit sowie zwei Verzögerungsphasen von der Ausgangsgeschwindigkeit auf die Zielgeschwindigkeit angenommen. Abhängig von dieser Kombination sind dabei verschiedene Restriktionen aus 1000-Hz-, 500-Hz-Überwachungen oder GÜ zu beachten, welche die fahrbare Trajektorie ggf. behindern. Als Standardwert für den Übergang zwischen den zwei Bremsverzögerungen wird wieder die überwachte Geschwindigkeit am Ende der 500-Hz-ÜF genutzt. Insbesondere auch zu beachten ist, dass eine ausgelöste ÜF über ihre vollständige Distanz zu beachten ist.
- → Abhängig von der Kombination aus Ausgangs- und Zielgeschwindigkeit wird die „freie" Bremsung unter ESG durch eine TSR nebst korrespondierender EBI eingeschränkt. Die überwachte Bremsung wird dreiphasig modelliert. Dabei können jene Prinzipien, welche für das Fahrtspiel „Einfahrt in Halt" gelten, vollständig übernommen werden.

BILD 4: Individueller Zeitbedarf für Geschwindigkeitswechsel im Vergleich



Zeitverbrauch im Vergleich

Unter den getroffenen Annahmen werden 100 % der Fahrtspiele bei PZB 90 und bei ESG durch die Überwachung des Geschwindigkeitswechsels behindert. Zum Vergleich zwischen beiden Systemen wird erneut die Differenz der Zeitspiele Δt Form genutzt. Bild 4 stellt den Indikator als Funktion des Bremsvermögens dar.

Es ist ersichtlich, dass ESG bei Güterzügen in Bremsstellung G unabhängig vom Bremsvermögen gegenüber PZB 90 vorteilhaft ist. In Bremsstellung P bzw. R/P schränkt hingegen PZB 90 die fahrbare Trajektorie weniger ein. Die Abweichung des gewichteten Mittels über die Zugpopulation beträgt -0,5 Sekunden, d. h. es liegt ein vernachlässigbarer Vorteil zu Gunsten von ESG vor. In der Konsequenz ist auch die Wirkung beider Systeme auf die Streckenleistungsfähigkeit identisch.

Eine Auswertung der Resultate nach Zugarten/Bremsstellungen sowie Ausgangs- und Zielgeschwindigkeiten zeigt auf, dass ESG immer leicht kürzere Fahrzeiten bei mittleren Zielgeschwindigkeiten (50 bis 60 km/h) ermöglicht. PZB 90 ist hingegen weniger restriktiv bei niedrigen Zielgeschwindigkeiten.

Potentiale durch ESG

Das Referenzszenario gemäß Abschnitt 3.3.1 unterstellt eine vergleichsweise frühe Bremsung im Abstand von 300 m zum Zs 3v bzw. zum Lf 6. Aufgrund der „rückwärts" von der TSR gerechneten EBI kann bei ESG jedoch

später als bei PZB 90 gebremst werden, da bei PZB 90 die überwachten Geschwindigkeitskurven „vorwärts“ ab 1000-Hz bzw. ab 500-Hz-Magnet gelten.

Daraus resultierende Potentiale können durch eine Variation des Sichtpunkts quantifiziert werden. Dieser liegt im Referenzfall 300 m vor dem Vorsignal (hier Zs 3v bzw. Lf 6). Nachstehend wird er, falls der „Einstieg“ unter die EBI weiterhin behinderungsfrei möglich ist, bis zu 200 m hinter das Vorsignal verschoben. Daraus resultiert ein stetig anwachsender Vorteil von ESG gegenüber der PZB 90.

Die Differenz des gewichteten Mittels reduziert sich von -0,5 Sekunden auf bis zu -5,8 Sekunden. Es wird ersichtlich, dass die TSR-basierten Überwachungskurven bei ESG (ohne weitere Anpassungen der Spezifikation) dem/der Tf mehr Spielräume als die Überwachungsfunktionen der PZB 90 bieten. Zum Teil kann die Bremsung wesentlich später eingesetzt werden, ohne durch die Überwachungsfunktion behindert zu werden.

4. FAZIT UND AUSBLICK

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die unter den Überwachungsfunktionen der PZB 90 „fahrbaren“ Trajektorien auch unter den Überwachungsfunktionen gemäß ESG möglich bleiben. ESG gemäß [3] schränkt mögliche Trajektorien im Mittel nicht stärker als die PZB 90 ein. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass auch die Leistungsfähigkeit durch ESG nicht stärker als unter PZB 90 beeinträchtigt wird.

Ergänzende Betrachtungen lassen schließen, dass ESG in einigen Situationen weitergehende Potentiale zur Fahrzeitreduktion (= verringerter Kapazitätsverbrauch) bietet, wenn die Planungs- und Projektierungsvorgaben für das System entsprechend angepasst werden und die Tf sich an das mögliche Fahrverhalten gewöhnen. So kann bei Geschwindigkeitswechseln unter ESG gegenüber der PZB 90 kapazitätsschonender gebremst werden.

Empfohlen wird, ESG in hochbelasteten Netzbereichen mit zusätzlichen Infill-DP zu kombinieren, um Folgeverspätungen zu reduzieren. Auch wird angeraten, bei der Fortschreibung des Lastenhefts eine Abhängigkeit der Überwachungsfunktion vom Vorsignalabstand statt von der Bremstafel umzusetzen. ◀

Danksagung

Der Autor dankt Niels Neuberg (DB Netz AG) und Olaf Gröpler (DB Systemtechnik GmbH) herzlich für die konstruktive Zusammenarbeit bei der Erstellung des in Abschnitt 3 zusammengefassten Gutachtens sowie bei der Erstellung dieses Artikels.

Literatur

[1] Büker, Th.; Kogel, B.; Nießen, N.: „Influence of the European Train Control System (ETCS) on the capacity of nodes“; UIC, May 2010, ISBN 978-2-7461-1801-0
[2] DB Netz AG: Betrieblich-technische Systemfunktionen für ETCS SRS Baseline 3; Version 2.0
[3] DB Netz AG: Lastenheft Zugbeeinflussungssystem „ETCS Signalgeführt“; Version 0.11
[4] DB Netz AG: Richtlinie 405 – Fahrwegkapazität; 13. Februar 2009
[5] DB Netz AG: Richtlinie 819.1310A01 – Induktive punktförmige Zugbeeinflussung, PZB-Steuerungsprogramm, Beeinflussungspunkte GM und GÜ; 01.09.2007
[6] DB Systemtechnik: Bremsbetriebliche Vorgaben für das Zugbeeinflussungssystem „ETCS Signalgeführt“; 19. Sept. 2016
[7] ERA - UNISIG - EEIG ERTMS USERS GROUP: ERTMS/ETCS System Requirements Specification (Subset-026-3); Version 3.6.0, 13. Mai 2016
[8] Europäische Union: Technische Spezifikation für die Interoperabilität der Teilsysteme „Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union (TSI ZZS); Anh. A, Kap. 4.2.1.1, 2016
[9] Neuberg, N.: Der Einsatz von ETCS Level 1 Limited Supervision bei der Deutschen Bahn AG; SIGNAL+DRAHT (106) 12/2014

▶ SUMMARY

European Train Control System Level 1LS (ESG) from the viewpoint of efficiency

The ETCS-migration strategy of the DB Netz AG is based on the pillars ETCS Level 2 and ETCS Level 1 Limited Supervision. The latter to integrate into the existing infrastructure relatively simply and cost-effective. It may be adapted to national operation processes and provides at least the same security system and capacity like PZB90. It will be introduced for the first time as part of the major project “Korridor A”, at the Basel junction. This article summarizes study results of the ETCS Level 1 influence on efficiency.