

Analyse und Optimierung von ETCS-Parametern im Luxemburger Eisenbahnnetz

Analysis and optimisation of ETCS parameters in the Luxembourg railway network

André Feltz | Nils Nießen | Tobias Walke | Jürgen Jacobs

Durch die Implementierung von ETCS Level 1 (FS) als Ersatz für ein bestehendes Signallayout bei zeitweiser Doppelausrüstung entstehen Herausforderungen, welche durch die gezielte Anpassung der ETCS-Konfiguration gemeistert werden können. Im ETCS berechnet jeder Zug seine Bremskurven selbst, sodass diese in Konflikt zum klassischen Signallayout stehen können. Diese Konflikte auch vor dem Hintergrund der Ortungsungenauigkeiten zu sondieren und zu lösen war Hauptaufgabe der Studie und wurde durch die Anpassung der k-Faktoren, Bremsleistung und Betriebsregeln bewerkstelligt.

1 Ausgangslage für die Untersuchung

1.1 Luxemburger Eisenbahnnetz

Die vorhandenen Eisenbahninfrastrukturen des Großherzogtums in Luxemburg sind an ihren Grenzen angelangt. Deshalb werden im Rahmen des Konzeptes für nachhaltige Mobilität derzeit sowie in den kommenden Jahren die vorhandenen Bahnanlagen modernisiert und ausgebaut. Signaltechnisch verfügt das Luxemburger Eisenbahnnetz heute flächendeckend über eine Doppelsignalisierung: Die historisch vorhandene Außensignalisierung unterstützt durch MEMOR II+ und die europäische Führerstandsignalisierung ETCS Level 1. Das ETCS-Level-1-System wird im Betriebsmodus FS betrieben [1] und basiert auf der Baseline 2. Derzeit werden die Zertifizierungsarbeiten nach TSI 2012/88 vom Eisenbahn-Cert (EBC) abgeschlossen.

1.2 Verbaute ETCS-Konfiguration

Die vorhandene Streckensignalisierung ist ein klassisches Haupt-/Vorsignalsystem, welches nach dem Prinzip der Geschwindigkeitssignalisierung arbeitet. Aus Standardisierungsgründen greift die Lineside Electronic Unit (LEU) nur die Lampenströme der Lichtsignale ab. Folglich können nur sehr begrenzt Weginformationen zur Bestimmung der ETCS-Telegramme herangezogen werden. Laut Luxemburger Betriebsverfahren ist der Abstand zwischen Vorsignal und Hauptsignal so ausgelegt, dass bei Beginn der Bremsung am Vorsignal der Zug vor dem Hauptsignal zum Stillstand gebracht werden kann. Dies gilt für alle Zugkategorien unter der Bedingung, dass diese die Geschwindigkeiten des Buchfahrplans berücksichtigen.

Nach derzeitigem Stand endet die ETCS-Migration zum 1. Juli 2017. Ab diesem Datum wird das alte MEMOR II+-System streckenweise abgebaut. Die ETCS-Informationen werden ausschließlich mittels Balisen unidirektional von der Strecke auf das Fahrzeug übertragen. In einem Blockabschnitt sind grundsätzlich vier Balisengruppen (BG) installiert. Jeweils eine BG an Vor- und

The implementation of ETCS Level 1 (FS) as a replacement for an existing signal layout with a period of double equipment creates challenges, which are mastered by the targeted adaptation of the ETCS configuration. In ETCS, each train calculates its braking curves themselves so that these can be in conflict with the original signal layout. To investigate and solve these conflicts, even in the context of location measurement inaccuracies, was the main task of the study and was achieved by the adaptation of the k-factors, braking percentages and operational rules.

1 Initial situation for the investigation

1.1 The Luxembourg railway network

The existing railway infrastructure in the Grand Duchy of Luxembourg has reached its limits. Therefore, existing railway facilities are to be modernised and expanded over the coming years as part of the concept for sustainable mobility. As far as signals are concerned, the Luxembourg railway network has a dual system: the historical trackside signals supported by MEMOR II+ and the European ETCS Level 1 driver's cab signalling. The ETCS Level 1 system is operated in FS mode [1] and Baseline 2. At present, certification according to TSI 2012/88 is being completed by the Eisenbahn-Cert (EBC).

1.2 Installed ETCS configuration

The existing trackside signal system works like a conventional main/distant signal system following the principles of speed signalisation. For reasons of standardisation, the lineside electronic unit (LEU) only detects the status of the lights in a signal. Consequently, only very limited path information can be used to determine the ETCS telegrams. According to the Luxembourg operational rules, the distance between distant and main signal is designed in such a way that any train can be brought to a standstill at the main signal if it starts to brake at the distant signal. That applies to all train categories on condition that speed restrictions are complied with according to working timetables.

The current status is that ETCS migration will be finished on 1 July 2017. From then onwards, the old MEMOR II+ system will be removed line by line. The ETCS information is transmitted unidirectionally from track to train using balises only. In principle, four balise groups (BG) are installed in each track section. One BG at main and distant signal and an additional BG 300 m prior to each signal (fig. 1). Movement authority (MA) is transmitted by the BG at the main signal. It is valid as far as the

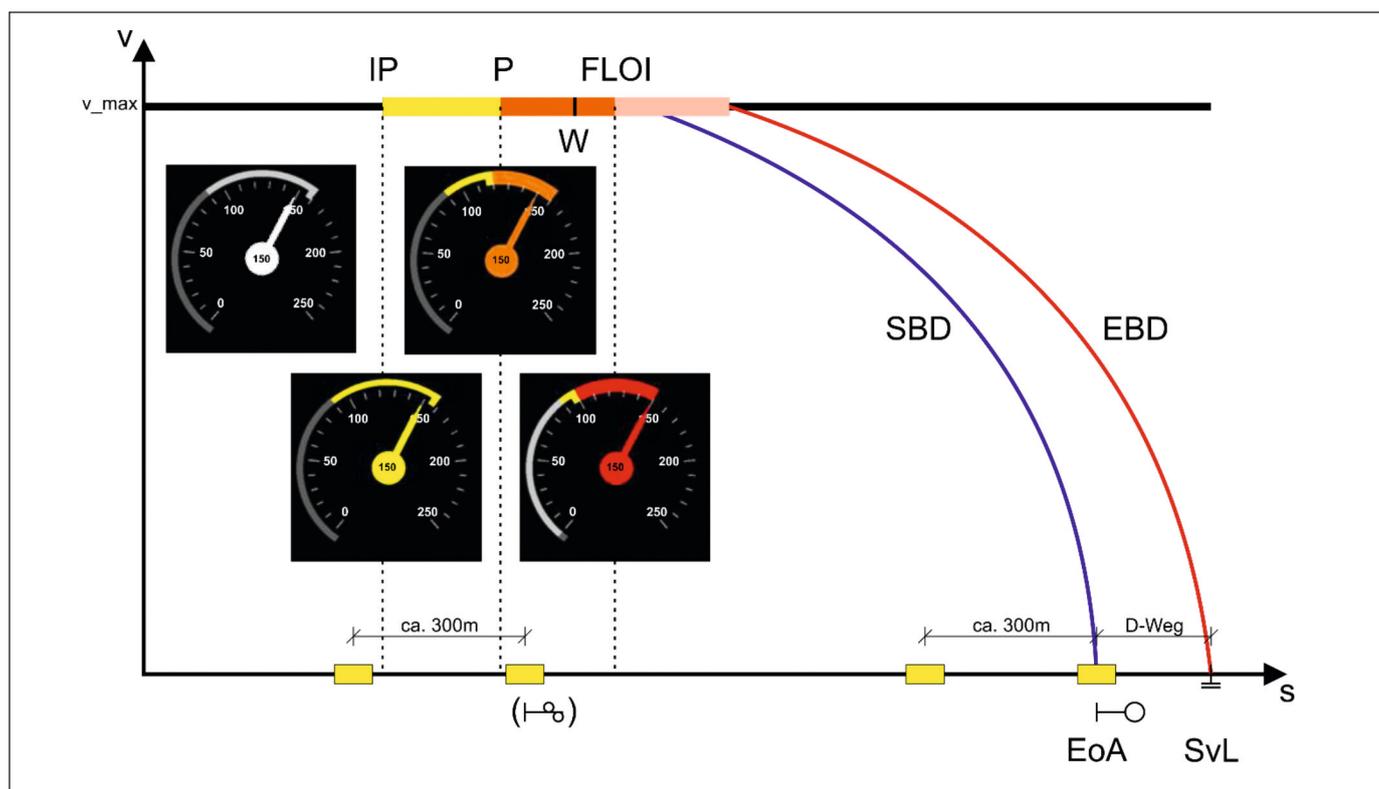


Bild 1: Vereinfachte Darstellung unterschiedlicher Bremskurven im ETCS

Fig. 1: Simplified representation of different braking curves in the ETCS

Quelle | source: eigene Darstellung; own representation

Hauptsignal und zusätzlich jeweils eine weitere Gruppe ca. 300 m davor (Bild 1). Die Fahrerlaubnis (Movement Authority – MA) wird nur durch die BG am Hauptsignal übertragen. Diese reicht dann bis zum nächstfolgenden Hauptsignal. Die anderen drei BG in einem Streckenabschnitt sind als Infill projektiert.

Im Gegensatz zur klassischen Außensignalisierung, bei der die in der Regel statischen Überwachungskurven am Vorsignal beginnen, ist bei ETCS geführten Zügen die dynamische Berechnung individueller Bremskurven möglich, da die Länge der Fahrerlaubnis bereits zu Beginn der Fahrt bekannt ist. Zusammen mit den einprogrammierten Eigenschaften des Zuges kann der Beginn der berechneten Bremskurve spezifisch für den jeweiligen Streckenabschnitt und die Richtung bestimmt werden. Somit besteht ein deutlicher Unterschied zwischen einer statischen Überwachungskurve und einer auf den jeweiligen Zug und die Situation dynamisch berechneten Bremskurve.

Zur Vermeidung einer systematischen Bremsaufforderung bei „grüner Welle“ werden Infill-Balisengruppen jeweils 300 m vor einem Vorsignal positioniert. Dies setzt voraus, dass die reale Vorankündigungsdistanz, zusammengesetzt aus Bremskurve, Vorankündigungszeit und Verarbeitungszeit der Informationen auf dem Fahrzeug einschließlich der Ortungsungenauigkeit geringer ist als die Distanz von dieser Infill-Balisengruppe bis zum Hauptsignal.

Die Fassung der SRS Version 3.4.0 gibt ein universelles Modell (Lambdazugmodell) zur Berechnung von ETCS-Bremskurven vor. Auf diese Art ermöglicht die SRS Version 3.4.0 dem Infrastrukturbetreiber mithilfe der Korrekturfaktoren (k-Faktoren) die fahrerseitig berechneten ETCS-Bremskurven zu beeinflussen und so den jeweiligen Streckengegebenheiten anzupassen. Die ETCS-Infrastruktureinrichtungen auf dem Luxemburger Eisenbahnnetz sind jedoch nach der SRS Version 2.3.0d zertifiziert und ein Upgrade der Infrastruktur auf die SRS Version 3.4.0 ist derzeit nicht

next main signal. The other BG in the track section provide infill information.

In contrast to conventional trackside signalling, where static braking curves begin at the distant signal, a dynamic calculation of individual braking curves is provided for ETCS-guided trains since the length of the MA is already known at the beginning of the ride. Combining those curves with programmed characteristics of the train, the start of the calculated braking curve can be determined specifically for the respective track section and direction. Hence there is a clear difference between a static braking curve and a dynamic braking curve calculated for each train and situation.

Infill BG are placed 300 m prior to a distant signal in order to avoid a systematic braking request while travelling on a “green wave”. This assumes that the actual distance of advance notice composed of braking curve, advance notice time, processing time of information on the train and locating inaccuracy is smaller than the distance from that particular infill BG to the main signal.

The system requirement specification (SRS) version 3.4.0 provides a universal model (lambda train model) for the calculation of ETCS braking curves. That enables the infrastructure operator to influence the braking curves of the train using correction factors (k factors) to adjust them to suit the track conditions. However, the ETCS infrastructure on the Luxembourg railway network is certified according to SRS version 2.3.0d and an upgrade of infrastructure to SRS version 3.4.0 is not planned at present. Nevertheless, the Luxembourg railway infrastructure company intends to implement packet 203 for enabling trains equipped with an OBU with SRS version 3.4.0 to access the railway network [2]. This enhancement of the 2.3.0d infrastructure makes it possible to transfer the k factors of version 3.4.0. Con-

geplant. Um dennoch Zügen mit Fahrzeuggeräten der SRS Version 3.4.0 den Zugang auf das Netz zu ermöglichen, beabsichtigt das Luxemburger Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) eine frühzeitige Implementierung des Paketes 203 [2]. Diese infrastrukturseitige Erweiterung der vorhandenen 2.3.0d-Infrastruktur ermöglicht es, die Korrekturfaktoren (k-Faktoren) der Version 3.4.0 zu übertragen. Fahrzeuggeräte der Version 3.4.0 können somit die Luxemburger k-Faktoren lesen und die vorhandenen default-Werte überschreiben.

Im Hinblick auf die nötigen technischen und finanziellen Ressourcen sollte ein Parallelbetrieb von zwei Signalsystemen auf Dauer vermieden werden. Als Folge dessen sollte jedes EIU versuchen schnellstmöglich in den „Genuss“ der „ETCS-only“-Vorteile zu gelangen. So beabsichtigen die CFL bei zukünftigen Stellwerkserneuerungen die altbekannte Streckensignalisierung nicht mehr zu installieren und das ETCS L1 direkt an das Stellwerk anzubinden.

1.3 Motivation für die Untersuchung

Für das Luxemburger EIU gilt es den Einfluss von ETCS in der Version 3.4.0 auf die Leistungsfähigkeit des Netzes zu bewerten und anschließend mögliche Werte für k-Faktoren zu bestimmen. In der Version 2.3.0 sind die Bremskurven ein sogenannter „open point“. Es obliegt demnach den nationalen Behörden für den nötigen Rahmen zu sorgen. Die Integration von mehreren nationalen Bremskurven auf einem Fahrzeuggerät schlägt sich signifikant in den Anschaffungskosten und Zulassungskosten nieder. Dies gilt es in Zukunft durch Anwendung der Version 3.4.0 mit dem universellen Lambdazugmodell zu vermeiden!

Aufgrund der standardisierten Schnittstelle zwischen Stellwerk und LEU ergeben sich Abhängigkeiten bei der Gestaltung und der Projektierung des ETCS-Systems. Die Motivation für diese Untersuchung ist genau an diesen Stellen anzusetzen und den zukünftigen Optimierungsbedarf zu bestimmen. Die Untersuchung soll diejenigen Stellen im Netz identifizieren, an denen ein ungewolltes Abbremsen eines Zuges bei eigentlich „grüner Welle“ lediglich deshalb stattfindet, weil auf dem führenden Fahrzeug die Information für die Durchfahrt bei Überfahrt der ersten BG zu spät angekommen ist. Dies geschieht vor allem im Hinblick auf eine frühzeitige Einführung des Paketes 203.

Seit 2005 fahren die CFL-Personenzüge unter ETCS-Verantwortung. Leider gibt es derzeit bei den CFL noch nicht genügend Erfahrungen mit ETCS geführten Güterzügen. Die aktuell verkehrenden Fahrzeuge besitzen alle Fahrzeuggeräte der Version 2.3.0.d und wenden ausschließlich herstellerspezifische Bremskurven an.

2 Bremsmodelle der SRS 3.4.0

2.1 Berechnung von ETCS-Bremskurven

Zur Überwachung von Zugfahrten im ETCS werden unterschiedliche Bremskurven berechnet, welche ihrerseits bei verschiedenen Betriebssituationen relevant werden.

In Bild 1 werden beispielhaft Bremskurven im ETCS dargestellt. Hier sind zwei unterschiedliche Bremskurven zu erkennen: In Rot die Emergency Brake Deceleration Curve (EBD) und in Blau die Service Brake Deceleration Curve (SBD). Die EBD fußt auf der Supervised Location (SvL), welche in dem dargestellten Fall dem Ende des Durchrutschweges hinter dem Hauptsignal entspricht. Die EBD entspricht der im pessimistischsten Fall auftretenden Kurve im Falle einer Notbremsung.

In Abgrenzung dazu fußt die SBD auf der End of Authority (EoA), welche den Punkt darstellt, bis zu welchem die Movement Autho-

sequently, on-board units (OBU) of version 3.4.0 can read the Luxembourg k factors and overwrite the default values.

Considering the necessary technical and financial resources, a simultaneous operation of two signal systems ought to be avoided in the long term. As a result, every railway infrastructure company ought to try to come in the “enjoyment” of “ETCS-only” advantages as soon as possible. That is why the CFL is planning not to install the conventional trackside signal systems any more at upcoming interlocking modernisation but to integrate ETCS Level 1 in the new interlocking systems instead.

1.3 Motivation for the investigation

The Luxembourg railway infrastructure company aims to assess the impact of ETCS in the version 3.4.0 on the performance of the railway network, leading to setting possible k factors. In version 2.3.0d, braking curves are a so-called “open point”. It is the responsibility of the national authorities to ensure the necessary framework. The integration of several national braking curves on a single OBU on the train has a significant impact on the purchase price and licence price. That ought to be avoided in future by using version 3.4.0 and the lambda train model.

Due to the standardised interface between interlocking and LEU, dependences arise during the design and configuration of the ETCS system. The motivation for this investigation is to look into those dependences in detail and determine future optimisation requirements. The investigation is intended to identify those spots in the network at which an unwanted braking of a train while being on a “green wave” happens only because the necessary information to “proceed” arrives too late at the leading vehicle after overrunning the first BG. That happens in particular in connection with the early implementation of packet 203.

Since 2005, CFL passenger trains run under ETCS supervision. Unfortunately, there is not enough experience with ETCS supervised freight trains at CFL. The vehicles currently running have only OBU running on version 2.3.0d installed and use exclusively manufacturer-specific braking curves.

2 Braking models of SRS 3.4.0

2.1 Calculation of ETCS braking curves

For supervision of train runs, various braking curves are calculated which become relevant in different operational situations. Fig. 1 shows several braking curves in ETCS. There are two different braking curves visible: the emergency brake deceleration curve (EBD) coloured red and the service brake deceleration curve (SBD) coloured blue. The EBD is based on the supervised location (SvL), which corresponds to the overlap after the main signal as in the case illustrated. The EBD equals the worst braking curve in the event of an emergency brake.

In contrast to this, the SBD is based on the end of authority (EoA), which describes the location up to which the movement authority (MA) in ETCS was given. In the example at hand, this location is represented by the main signal. The SBD is calculated in such a way that the braking curve determined can be displayed colour-coded to the driver on the driver/machine interface (DMI).

When an ETCS-guided train driving with maximum speed approaches the end of the current MA, the upcoming brake will be displayed to the driver as follows:

- At first, there appears a white ring on the outer edge of the tachometer on the DMI which shows the target speed at its

urity (MA) im ETCS gegeben wurde. Im vorliegenden Beispiel ist dies das Hauptsignal. Die SBD wird errechnet, um dem Triebfahrzeugführer auf dem Driver Machine Interface (DMI) die abzufahrende Bremskurve farbcodiert darstellen zu können.

Nähert sich ein ETCS geführtes Fahrzeug mit der momentanen Maximalgeschwindigkeit dem Ende der MA, wird dem Triebfahrzeugführer die bevorstehende Bremsung wie folgt dargestellt:

- Zunächst erscheint auf dem DMI am Außenrand des Tachometers ein weißer Kranz, welcher an seinem Fußpunkt die Zielgeschwindigkeit und am oberen Ende die maximal erlaubte Momentangeschwindigkeit anzeigt. Derjenige Punkt, ab dem der Triebfahrzeugführer aufgefordert wird eine Bremsung einzuleiten, wird im Folgenden als Indication Point (IP) bezeichnet. Hier wechselt die Führerraumanzeige von weiß auf gelb und der Außenkranz des Tachometers bewegt sich in Richtung Zielgeschwindigkeit. Dieser Bereich ist durch den gelben Balken in der Abbildung dargestellt.
- Sobald die vom Triebfahrzeug errechnete Bremskurve überschritten wird (permitted speed (P)), wechselt die Führerraumanzeige von gelb auf orange. Da im ETCS eine gewisse Überschreitung der errechneten Soll-Geschwindigkeit dem Triebfahrzeugführer eingeräumt wird, existiert der orange Bereich, in welchem zwar eine Überschreitung der permitted speed vorliegt, jedoch noch kein eigenständiges Eingreifen des Systems erfolgt. Ab einer gewissen Schwelle wird der Triebfahrzeugführer zusätzlich akustisch auf die nahende Zwangsbremsung aufmerksam gemacht. Diese Schwelle wird als „Warning“ bezeichnet und ist in der Abbildung mit W gekennzeichnet.
- Bei der First Line of Intervention (FLOI) wechselt die Führerraumanzeige von orange auf rot und ETCS leitet unverzüglich eine Zwangsbremsung ein.

Der Abstand in der Abbildung zwischen FLOI und EBD ergibt sich durch das Hinzurechnen der Bremsaufbauzeit sowie den Annahmen, dass die Geschwindigkeit nur unter Berücksichtigung von Ungenauigkeiten bestimmt wird und eine Beschleunigung während des Auslösens der Zwangsbremsung vorliegen kann [3].

Der Verlauf der EBD kann durch unterschiedliche Faktoren angepasst werden. Diese Faktoren sind abhängig vom verwendeten Modell zur Bestimmung der Bremsverzögerung. Allgemein kann gesagt werden, dass die berechneten Kurven von EBD und SBD nicht gleich sein müssen. In bestimmten Konstellationen können sich die beiden Kurven auch schneiden. Aus dieser Besonderheit lässt sich ableiten, dass für die Bestimmung der FLOI verschiedene Schnittpunkte maßgebend werden können. In Bild 1 ist für die Bestimmung der FLOI die EBD mit ihrem Schnittpunkt zu v_{max} maßgebend. Basierend auf diesem Schnittpunkt werden die Bremsaufbauzeit und die weiteren bereits genannten Zuschläge hinzugerechnet, sodass im Beispiel die FLOI kurz vor dem Schnittpunkt der SBD mit v_{max} liegt. Wird in den National Values die Funktion Service Brake Intervention (SBI) zugelassen, müssen auf den Schnittpunkt der SBD mit v_{max} noch die Bremsaufbauzeit und die sonstigen Zuschläge zur Bestimmung der FLOI zugerechnet werden. Diese Funktion ist jedoch im Luxemburger Eisenbahnnetz nicht ausgewählt. Auf die Lage der FLOI werden rückwärts die Zeitanteile für permitted speed und indication aufgerechnet, sodass sich hierdurch die Lage des IP ermitteln lässt [3]. Im Rahmen der Untersuchung sollten die Korrekturfaktoren der Bremskurven für das Luxemburger Eisenbahnnetz dahingehend optimiert werden, dass bei jedem regulär verkehrenden Zug der IP in Fahrtrichtung hinter der ersten Balisengruppe zur Aufwertung der MA liegt. Liegt dieser vor der ersten Balisengruppe, kann dem Triebfahrzeugführer auf dem DMI eine Aufforderung zur Einleitung der

foot and the highest permitted speed at its upper end. The particular location at which the driver is prompted to start braking is called “Indication Point” (IP). From that moment, the indication on the screen in the driver’s cab changes from white to yellow and the outer ring of the tachometer starts moving towards target speed. That area is shown clearly in the figure.

- As soon as the braking curve calculated by the vehicle is exceeded (permitted speed (p)), the indication on the screen in the driver’s cab switches from yellow to orange. Since in ETCS it is permitted to exceed the calculated required speed to a certain extent, the orange area occurs every time the permitted speed is exceeded even though no automatic intervention of the system happens. From a certain point, the driver is informed about the imminent emergency braking by an acoustic signal. This point is called “Warning” and is marked with W in the figure.
- At the first line of intervention (FLOI), the indication on the screen in the driver’s cab changes from orange to red and ETCS triggers emergency braking immediately.

In the figure, the distance between FLOI and EBD results from adding the brake build-up time and from the assumptions that speed can only be determined with inaccuracies and acceleration might be taking place at the moment emergency braking is triggered [3].

The course of the EBD can be adjusted by different factors. They depend on the model applied for the determination of the brake deceleration. In general, the calculated curves of EBD and



CERSS
 KOMPETENZ
 ZENTRUM
 BAHNSICHERUNGS
 TECHNIK

Systemlösungen Bahnsicherungstechnik
 Risiko- und Sicherheitsanalysen
 Beratung und Entwicklung
 Gutachten
 Zertifizierungen
 Weiterbildung

www.cerss.com

Bremung angezeigt werden, obwohl das dahinterliegende Vor- und Hauptsignal bereits „Fahrt frei“ signalisiert. Diese Besonderheit tritt im ETCS Level 1 auf, da hier die Informationsübertragung zwischen Strecke und Fahrzeug nur punktförmig an fest im Gleis verlegten BG und nicht dynamisch durch das Radio Block Centre (RBC) – wie im Level 2 und 3 – erfolgt. Solange die Standorte der Balisengruppen nicht angepasst werden sollen, kann die Diskrepanz der Informationen dadurch vermieden werden, dass die Lage des IP optimiert wird.

Zur Verbesserung der Lage der IP gibt es mehrere Ansätze. Ein erster Ansatz ist die netzweite Anpassung der zur Optimierung der EBD in den Bremsverzögerungsmodellen implementierten Korrekturfaktoren (k-Faktoren). Mit diesen lässt sich die Steigung der EBD beeinflussen, da diese multiplikativ auf die errechnete Bremsverzögerung und Bremsaufbauzeit wirken [3]. Je steiler der Verlauf der EBD, desto näher rückt der IP in Richtung SvL. Diesem Mechanismus sind jedoch Grenzen gesetzt, da die Anpassung der EBD durch die Korrekturfaktoren in keinem Fall zu einer Gefährdung führen darf. Zudem ist eine Optimierung auf Basis der Korrekturfaktoren nur dann sinnvoll, wenn die EBD für die Lage der FLOI maßgebend ist, da diese nur auf den Verlauf der EBD und nicht auf denjenigen der SBD wirken.

Eine andere Möglichkeit zur Anpassung bietet eine Auswertung der vorhandenen Durchrutschwege. Durch eine Verlängerung der Durchrutschwege rücken EBD und SBD auseinander und die FLOI kann bis zu dem Punkt verschoben werden, in dem SBD und v_{max} sich schneiden. Eine weitere Verlängerung der Durchrutschwege ist über diesen Punkt hinaus nicht sinnvoll.

Ein weiterer Ansatz ist die Anhebung der in den unterschiedlichen Zugklassen bei der CFL geforderten Mindestbremsleistung. Hierbei gibt die CFL im Güter- wie auch Personenverkehr Mindestbremsleistung vor, welche bei Fahrt einer gewünschten maximalen Geschwindigkeit einzuhalten sind. Im Güterverkehr sind dies beispielsweise 65 % BrH für Züge der Kategorie MA 90. Diese Güterzüge dürfen das Luxemburger Netz mit 90 km/h befahren. Da keine zugscharfen Daten zur Berechnung der IP vorhanden waren, wurden für die verkehrenden Züge jeweils die Mindestbremsleistung und die maximale Zuglänge herangezogen. Werden die Mindestbremsleistung der einzelnen Zugklassen erhöht, so verbessert sich die Bremsleistung der Züge und die Bremswege verkürzen sich.

Einen weiteren Einfluss übt die im ETCS einstellbare Option SBI available aus. Sobald die Service Brake Deceleration Curve ebenfalls durch das ETCS restriktiv überwacht werden soll, tritt die

SBD are not completely the same. In specific constellations, the curves might even intersect. It can be deduced that for the determination of the FLOI several different points of intersection can become decisive. In fig. 1 it is the EBD with its point of intersection with v_{max} that is decisive for determining the FLOI. Based on that point of intersection, the additives already named will be added to the brake build-up time so that the FLOI is given prior to the point of intersection of the SBD with v_{max} . If service brake intervention (SBI) is enabled in the national values, the brake build-up time and other additives for the determination of the FLOI need to be added to the point of intersection of the SBD with v_{max} . This function is not used in the Luxembourg railway network. Times for permitted speed and indication are added in reverse to the location of the FLOI, so that the location of the IP can be calculated [3].

Within the scope of the investigation of the Luxembourg railway network, the k factors of braking curves ought to be optimised in such a way that the IP is located behind the first BG in the direction of travel to give a new MA to every regularly operating train. If the IP is located in front of the first BG, a braking demand might appear on the DMI even though the upcoming distant and main signal show “proceed”. This special situation occurs in ETCS Level 1 since information transmission between track and vehicle happens only intermittently at permanent installed BGs on the track and not dynamically through the radio block centre (RBC) as in Levels 2 and 3. As long as the BG location is not adjusted, the discrepancy needs to be avoided by optimising the location of the IP.

There are several approaches to optimising the location of the IP. The first attempt is a network-wide adjustment of the k factors, which are implemented for optimisation of the EBD. With those factors, the slope of the EBD can be influenced as it effects the brake deceleration and brake build-up time [3]. The steeper the course of the EBD, the closer the IP moves to the SvL. Nevertheless, there are boundaries to this mechanism, as the adjustment of the EBD with k factors may never lead to danger. Besides that, an optimisation on the base of k factors is only practical if the EBD is decisive for the location of the FLOI since the k factors only effect the course of the EBD and not that of the SBD.

Another opportunity for adjustment is the evaluation of the existing overlap. By extending overlaps, EBD and SBD diverge and the FLOI can be moved up to the point where SBD and v_{max} intersect. A further extension of overlaps is not useful beyond that point.

An increase of the required minimum braked weight percentage in the different train classes at the CFL is another approach. In this case, the CFL specifies the minimum braked weight percentage for freight and passenger trains which must be available while driving at a desired speed. For freight trains, this is, for example, 65% braked weight for trains of category MA 90. These freight trains are allowed to travel with a maximum permitted speed of 90 km/h in the Luxembourg railway network even though the maximum permitted speed of the line might be higher. Since there was no train-specific data for the calculation of the IP, the minimum braked weight percentage and maximum train length were used for modelling the operating trains. If the minimum braked weight percentage of the different train classes is increased, the braking performance of the trains is improved and braking distances are shortened.

The SBI available option, which is adjustable in ETCS, has a further influence. As soon as the SBD is to be monitored restrictively by ETCS, the braking triggered by the system occurs earlier. As a result, the IP is further away from the main signal. In the

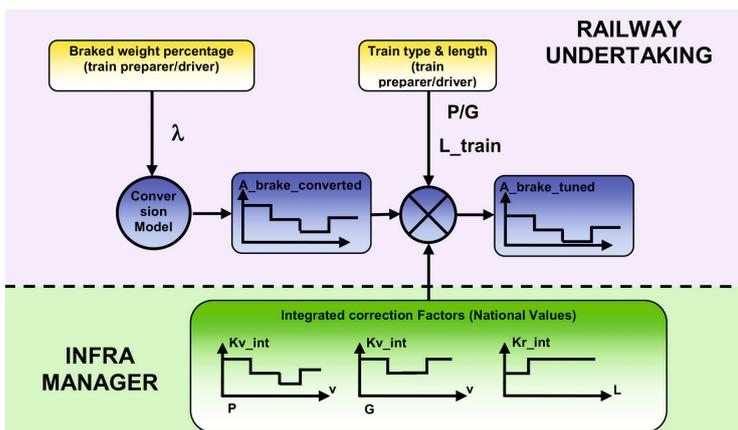


Bild 2: Lambdazugmodell zur Bremsverzögerungsberechnung [3]
 Fig. 2: Lambda train model for the braking deceleration calculation [3]

durch das System ausgelöste Bremsung wiederum früher ein. Hierdurch liegen die IP nochmal weiter entfernt vom Hauptsignal. In der vorliegenden Untersuchung musste diese Option nicht weiter betrachtet werden, da auf dem Luxemburger Eisenbahnnetz SBI not available als default in den National Values festgesetzt ist.

2.2 Berechnung der hinterlegten Bremsverzögerungen

In der SRS 3.4.0 wird zwischen zwei grundsätzlichen Modellen zur Berechnung der Bremsverzögerungen für die Bremskurven unterschieden. Diese Bremsmodelle stellen einen Unterschied zur verwendeten SRS 2.3.0.d dar. Die beiden Modelle sind zum einen das Lambdazugmodell auf Basis von Bremshundertsteln und zum anderen das Gammazugmodell auf Basis von zugspezifischen Bremsverzögerungen [3].

Das Lambdazugmodell eignet sich besonders für individuell zusammengestellte Zugkompositionen wie Güterzüge, da hier als Eingangsgröße die Bremsstellung, Bremshundertstel und Zuglänge eingehen. Das den Lambdazügen zugrundeliegende Conversion Model der Union internationale des chemins de fer (UIC) errechnet aus den Eingangsparametern geschwindigkeitsgestaffelte Bremsverzögerungen. Das Bild 2 zeigt den Zusammenhang der Bremsverzögerungsberechnung bei Lambdazügen. Hierbei gehen zunächst die Bremshundertstel ins Conversion Model ein, welches als Ergebnis umgerechnete Bremsverzögerungen ausgibt. Diese werden danach hinsichtlich des Zugtyps – Güterzug oder Personenzug –, der jeweiligen Bremsstellung und der

present investigation, this option does not need to be considered any further, since SBI is set to “not available” as default in the national values on the Luxembourg railway network.

2.2 Calculation of available brake decelerations

In SRS 3.4.0, a distinction is made between two basic models for calculating the brake decelerations for braking curves. These braking models represent a difference to the currently used SRS 2.3.0.d. The two models are the lambda train model based on minimum braked weight percentages and the gamma train model on the basis of train-specific brake decelerations [3].

The lambda train model is particularly suitable for individually assembled train compositions such as freight trains, since here the brake position, braked weight percentage and train length are the input variables. The UIC conversion model calculates speed-stepped brake decelerations from the input parameters. Fig. 2 shows the flow of the brake deceleration calculation for lambda trains. First of all, the braked weight percentages are entered into the conversion model, which outputs translated brake decelerations as a result. These are then adapted according to the type of train (freight or passenger train), the current brake position and the length of the train. Three different k factors can be specified by the EIU, whereby default values are already set in the SRS 3.4.0. These are:

- k_v = speed-dependent factor to reduce the EBD (default SRS 3.4.0 = 0.7)

Steuern, stellen, sichern.



Scheidt & Bachmann – innovative Sicherheitstechnologie seit 1872.

- Betriebsleittechnik
- Stellwerkstechnik
- Bahnübergangstechnik

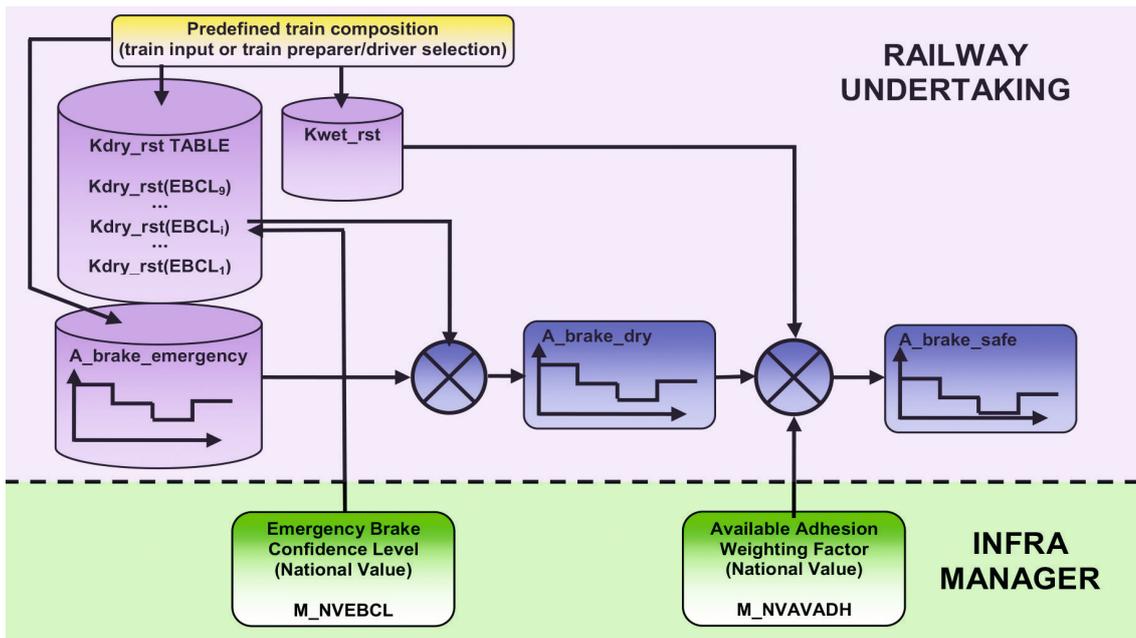


Bild 3: Gamma-zugmodell zur Bremsverzögerungs-berechnung [3]
 Fig. 3: Gamma train model for the braking deceleration calculation [3]

Zuglänge angepasst. Von Seiten des EIU lassen sich drei verschiedene Korrekturfaktoren vorgeben, wobei für diese in der SRS 3.4.0 bereits default-Werte vorgegeben werden. Im Einzelnen sind dies:

- k_v = geschwindigkeitsabhängiger Faktor zur Reduktion der EBD (default SRS 3.4.0 = 0,7)
- k_r = zuglängenabhängiger Faktor zur Reduktion der EBD (default SRS 3.4.0 = 0,9)

kt = Faktor zur Verlängerung der Bremsentwicklungszeit (default SRS 3.4.0 = 1,1) – ist für die Lage der FLOI relevant, nicht jedoch für Bremsverzögerungen

In der SRS 3.4.0 werden für die k-Faktoren keine Staffelungen hinsichtlich der Zuglänge oder Geschwindigkeitsbereichen vorgenommen [4]. Im Gegenzug dazu sieht das Setting der k-Faktoren bei den CFL, welches Ausgangslage der Untersuchung war, eine Staffelung des zuglängenabhängigen Faktors k_r vor. Je länger dabei die Züge werden, desto besser wird das Bremsverhalten angenommen, da unterstellt wird, dass bei langen Zügen der Rad-Schiene-Kontakt durch die Überfahrt der Lokomotive und der ersten Wagen für den Rest des Zuges verbessert wird. Die Werte hierfür liegen zwischen 0,75 und 0,9. Alle weiteren k-Faktoren wurden im CFL-Setting zu 1 angenommen.

Das Lambdazugmodell ist hinsichtlich der Einsatzmöglichkeit für Geschwindigkeiten bis maximal 200 km/h, Brems-hundertstel zwischen 30% und 250% und Zuglängen bei Personenzügen von maximal 900 m sowie Güterzügen von maximal 1500 m begrenzt [3]. Das Ergebnis der Bremsverzögerungsberechnung nach dem Lambdazugmodell ist ein zugspezifisches, geschwindigkeitsgestaffeltes Verzögerungsprofil, welches der Bremskurvenberechnung zugrunde gelegt werden kann. Dieses Profil wird noch um das Gradientenprofil der Strecke zu einer sicheren Bremskurve erweitert. Im Gegensatz zum Lambdazugmodell liegen dem Gammazugmodell individuelle Ausgangsbremsverzögerungen zugrunde, welche zugspezifisch ermittelt werden müssen. Dieses Modell eignet sich besonders für feste Zugkompositionen wie Triebzüge, da sich bei diesen das Ausgangsbremsverhalten nicht ändert. In diesem Modell können die Bremsverzögerungen durch den Bordkorrekturfaktor k_{dry} in Funktion der Zuggeschwindigkeit angepasst werden. Zusätzlich kann das Confidence Level für die „Safe

- k_r = length-dependent factor to reduce the EBD (default SRS 3.4.0 = 0.9)
- k_i = factor for extending the brake build-up time (default SRS 3.4.0 = 1.1)
 - This is relevant for the position of the FLOI, but not for brake deceleration.

In SRS 3.4.0, the k factors are not graded in regard of train length or speed areas [4]. In contrast, the setting of the k factors defined by the CFL, which was the starting point of the investigation, intends to use a grading of the train-length-dependent factor k_r . The longer the trains are, the better the braking performance is assumed to be, since it is supposed that on long trains the wheel-rail contact is improved for the rest of the train by overrunning with the locomotive and the first wagons. The values are defined between 0.75 and 0.9. All other k factors were assumed to be 1 in the CFL setting.

The lambda train model is limited in terms of speed up to a maximum of 200 km/h, braked weight percentage between 30 % and 250 % and length of passenger trains up to 900 m as well as freight trains up to 1500 m [3].

The result of the braking deceleration calculation according to the lambda train model is a train-specific, speed-stepped deceleration profile, which can be used as the basis for the braking curve calculation. This profile is extended by the gradient profile of the track to a safe braking curve.

In contrast to the lambda train model, the gamma train model is based on individual initial brake decelerations, which must be determined specifically for each train. This model is particularly suitable for fixed train compositions such as multiple units, since the initial brake behaviour does not change. In this model, the brake deceleration can be adjusted by the k_{dry} factor as a function of the train speed. In addition, the confidence level for the “safe emergency brake deceleration” can be specified (M_NVEBCL). In Luxembourg for Baseline 3, a default value of 99.9999999 % is assumed. In addition to k_{dry} , the brake behaviour on vehicle side can be influenced by the factor k_{wet} as a function of the adhesion conditions. However, the Luxembourg infrastructure operator does not affect the factor kwet. The “weighting factor for available wheel/rail adhesion” is set to 0 (M_NVAADH).

Emergency Brake Deceleration“ angegeben werden (M_NVEB-CL). Für die Baseline 3 wird in Luxemburg ein Default Value von 99,9999999% übernommen. Zusätzlich zu k_{dry} kann das Bremsverhalten fahrzeugseitig in Abhängigkeit der Adhäsionsverhältnisse mit dem Korrekturfaktor k_{wet} beeinflusst werden. Der Luxemburger Infrastrukturbetreiber beeinflusst den Korrekturfaktor k_{wet} jedoch nicht. Der Gewichtungsfaktor „Weighting factor for available wheel/rail adhesion“ wird auf 0 gesetzt (M_NVAVADH).

Auch aus diesem Modell ergibt sich eine korrigierte, geschwindigkeitsabhängige Bremsverzögerung, welche wiederum um das Gradientenprofil zu einer sicheren Bremsverzögerung modifiziert wird. Im Rahmen des Projektes wurde ein Vergleich zwischen dem Lambda- und Gammazugmodell erstellt, indem für die Züge der CFL Baureihe Z 2000 sowohl feste Bremsverzögerungen für das Gammazugmodell – über den gesamten Geschwindigkeitsbereich mit der Bremsverzögerung $a = 0,87 \text{ m/s}^2$ – als auch 120% Mindestbremsleistung für das Lambdazugmodell gegeben waren. Für die k-Faktoren im Lambdazugmodell wurde das default-Setting der SRS 3.4.0 angenommen ($M_{NVKRINT} = 0,9$; $M_{NVKVINT} = 0,7$ und $M_{NVKTINT} = 1,1$) [4].

Die Unterschiede der Bremswege bei Anwendung der unterschiedlichen Modelle zeigt Bild 4. Hier ist bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Bremsweg derselben Baureihe ausgerechnet. Im oberen Teil der Abbildung lässt sich die geschwindigkeitsabhängige Bremsverzögerung erkennen, welche aus dem Conversion Model errechnet ist. Diese Bremsverzögerungen wurden noch nicht durch die k-Faktoren modifiziert. Dennoch lässt sich anhand der Geschwindigkeitsintervalle und der Ausgangsbremsverzögerungen im Lambdazugmodell gut der Zusammenhang zwischen Lambda- und Gammazug bis 130 km/h im speziellen Anwendungsfall erläutern. Bis zu dieser Geschwindigkeit sind die berechneten Bremswege in beiden Modellen annähernd gleich, wobei die Bremsverzögerung als Lambdazug leicht größer ist. Dies liegt vor allem daran, dass der hinterlegte Wert der Bremsverzögerung im Gammazugmodell eher niedrig erscheint.

This model also results a corrected, speed-dependent brake deceleration, which in turn is modified by the gradient profile to a safe brake deceleration.

Within the scope of the project, a comparison was made between the lambda and gamma train model. For that, trains of CFL class Z 2000 were approximated with a fixed brake deceleration for the gamma train model ($a = 0.87 \text{ m/s}^2$) as well as 120% minimum braked weight percentages for the lambda train model. The default setting of the SRS 3.4.0 was assumed for the k factors in the lambda model ($M_{NVKRINT} = 0.9$, $M_{NVKVINT} = 0.7$ and $M_{NVKTINT} = 1.1$) [4].

The differences in the braking distances, when the different models are used, is shown in fig. 4. Here, the braking distance of the same train is calculated at different speeds.

In the upper part of the figure there is the speed-dependent brake deceleration, which is calculated from the conversion model. These braking decelerations have not yet been modified by the k factors. Nevertheless, the relationship between the lambda and gamma train model up to 130 km/h can be explained in detail using the speed intervals and the initial brake deceleration in the lambda model. Up to this speed, the calculated braking distances are approximately the same in both models, the brake deceleration of the lambda train being slightly larger. This is mainly due to the fact that the stored value of the brake deceleration in the gamma train model seems to be rather low.

Starting at a speed of 130 km/h, braking distances for the gamma train model in contrast to lambda train model are shorter, since there is a leap in the brake deceleration due to the conversion model. Here, the braking decelerations suddenly get worse and the braking distances become longer. The braking deceleration in the gamma model remains constant.

The leap in the brake deceleration is also due to the fact that the conversion model is only permitted up to 200 km/h [3] and the standardisation on the basis of braked weight percentages at

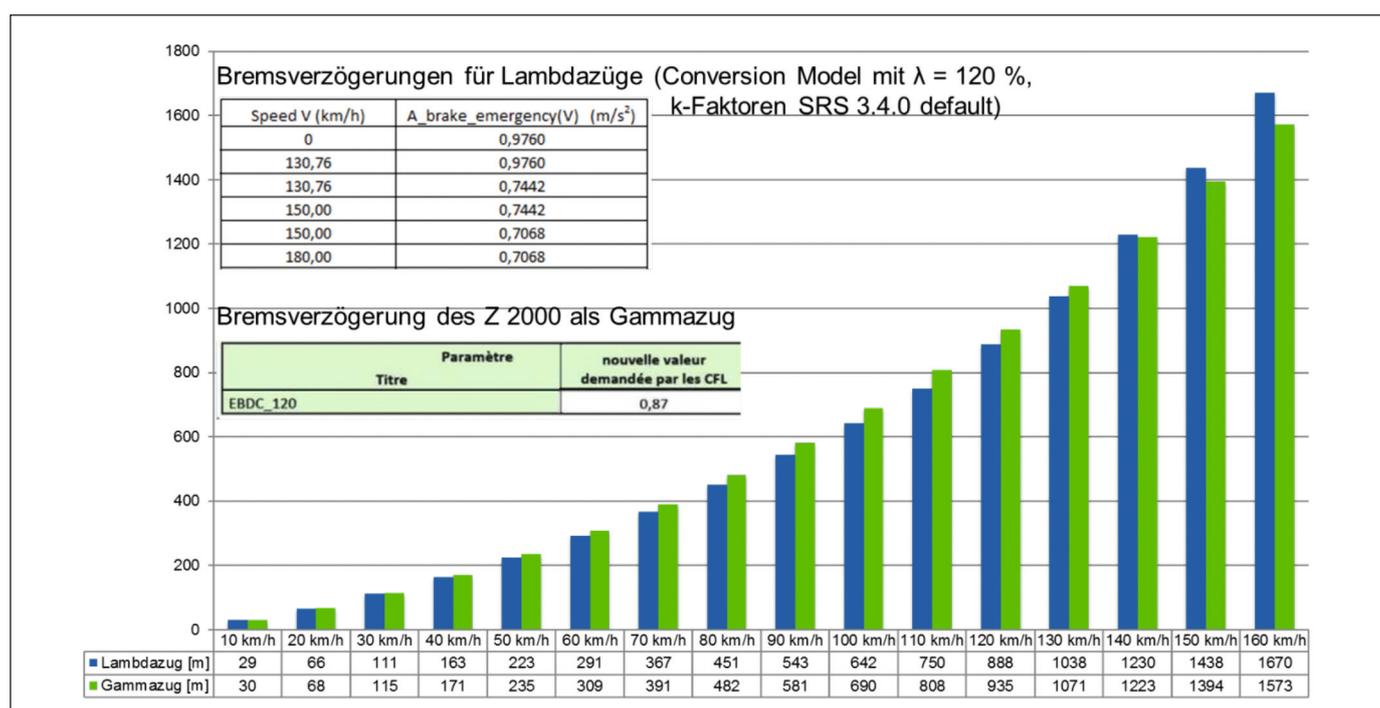


Bild 4: Bremswege der Baureihe Z 2000 als Lambdazug (blau) und Gammazug (grün)

Fig. 4: Braking distances of the class Z 2000 as a lambda train (blue) and a gamma train (green)

Quelle | source: eigene Darstellung; own representation



Bild 5: Beispiel für die Bremskurvendarstellung in LUKS

Fig. 5: Example of the depiction of braking curve in LUKS

Ab einer Geschwindigkeit von 130 km/h sind die Bremswege der Gammazüge kürzer, da hier bei der Baureihe 2000 im Lambda-zugmodell ein Sprung in den Bremsverzögerungen aufgrund des Conversion Models vorliegt. Hier werden die Bremsverzögerungen schlagartig schlechter und die Bremswege länger. Die Bremsverzögerung im Gammazugmodell hingegen bleibt konstant. Der Sprung in den Bremsverzögerungen ist auch Folge dessen, dass das Conversion Model nur bis 200 km/h zugelassen ist [3] und die Vereinheitlichung auf Basis der Bremswertstapel bei höheren Geschwindigkeiten zu einer größeren Unsicherheit und damit zur sicheren Seite abgeminderten Bremsverzögerungen führt. Bei geringeren Geschwindigkeiten – mit den angenommenen Eingangswerten – weist die betrachtete Baureihe 2000 sowohl als Lambda- wie auch als Gammazug ein ähnliches Bremsverhalten auf, wenn das k-Faktorsetting der SRS 3.4.0 angenommen wird. Bei höheren Geschwindigkeiten hingegen sind die berechneten Bremswege auf Basis des Gammazugmodells deutlich kürzer. Da die aktuelle Höchstgeschwindigkeit auf dem Luxemburger Netz bei 140 km/h liegt, kommt dieser Effekt jedoch kaum zum Tragen.

3 Auswirkungen der Einflussgrößen

3.1 Das Softwarepaket LUKS

Mit der voranschreitenden Entwicklung der EDV wurden auch immer weitere Verfahren entwickelt, welche die komplexen Berechnungen in der Eisenbahnbetriebswissenschaft ermöglichen. Hierbei wurde am Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen das Softwarepaket LUKS (Leistungsuntersuchung Knoten und Strecken) erstellt, welches für verschiedene Fragestellungen – Fahrzeitenrechnung und Fahrplankonstruktion, Leistungsfähigkeitsermittlung für Strecken und Knoten sowie zur Simulation – entwickelt wurde [5].

Die interne Struktur von LUKS ist dabei in mehrere Module aufgeteilt:

- **Basis-Modul:** In diesem Modul werden die Grundlagen für die eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Untersuchungen erfasst. Hierzu zählen die Infrastruktur, das Betriebsprogramm, Fahrwegdaten und grundlegende nationale Eingangsgrößen wie Verspätungsdaten oder ETCS-Konfigurationen. Nach Eingabe aller Daten ist es möglich, eine Fahrzeitrechnung und Belegungsrechnung durchzuführen.

higher speeds leads to greater uncertainty and therefore to the safe-side reduced brake deceleration.

At lower speeds (with the input values assumed) the train shows similar braking behaviour both as a lambda and gamma train when the k factor setting of the SRS 3.4.0 is used. At higher speeds, on the other hand, the calculated braking distances based on the gamma train model are significantly shorter. However, since the current maximum speed permitted in the Luxembourg railway network is 140 km/h, this effect is less relevant.

3 Impact of influencing variables

3.1 The LUKS software package

With the advancing development of electronic data processing, other methods have also been developed which allow complex calculations in the railway operation research. The LUKS software package (“Leistungsuntersuchung Knoten und Strecken“; analysis of lines and junctions) was developed at the Institute of Transportation Science at RWTH Aachen University and handles travel time-calculation, timetable construction, performance evaluation for lines and junctions and simulations [5].

The internal structure of LUKS is divided into several modules:

- **Basic module:** This module is used to record the basics for railway operation research studies. These include the infrastructure, the operating trains, infrastructure data and basic national inputs such as delay data or ETCS configurations. After entering all the data, it is possible to perform a travel-time calculation and occupancy calculation.
- **LUKS-A:** With this part of the software package, an analytical investigation of the performance of lines and junctions can be made. For this purpose, in addition to the infrastructure data, data about the operating trains is also necessary in order, for example, to determine the minimum headways and the frequency of succession for types of trains. The operating trains are grouped together in model trains with regard to their driving dynamics and running distances.
- **LUKS-K:** With LUKS-K, the timetable refinement can be carried out on the basis of blocking times. In this module the ETCS braking curves can also be displayed and evaluated.
- **LUKS-S:** With this part of this program it is possible to simulate the constructed timetable during operation. This method

- LUKS-A: Mit diesem Teil des Softwarepaketes lassen sich analytisch die Leistungsfähigkeiten von Strecken und Knoten untersuchen. Hierfür sind neben den Infrastrukturdaten auch Daten über das Betriebsprogramm notwendig, um beispielsweise Mindestzugfolgezeiten und die Häufigkeit von Zugfolgefällen zu ermitteln. Die Züge des Betriebsprogramms werden dabei in Modellzügen hinsichtlich ihrer Fahrdynamik und Laufwege zusammengefasst.
- LUKS-K: Mit LUKS-K kann die Fahrplanfeinkonstruktion auf Basis von Sperrzeitentrepfen durchgeführt werden. In diesem Modul können außerdem die ETCS-Bremskurven angezeigt und ausgewertet werden.
- LUKS-S: Mit diesem Programmteil ist es möglich, den konstruierten Fahrplan im Betrieb zu simulieren. Mit diesem Verfahren können die Fahrplanrobustheit getestet und kritische Stellen im Netz sondiert werden.

LUKS wurde für eine Reihe von ETCS-Untersuchungen im Auftrag des Internationalen Eisenbahnverbandes UIC verwendet [6]. Die Einflüsse von ETCS auf die Fahrzeit und die Leistungsfähigkeit lassen sich dabei bestimmen, so können beispielsweise ETCS-Bremskurven in LUKS hinsichtlich der Korrekturfaktoren analysiert werden und es ist möglich, die Auswirkungen verschiedener k-Faktor-Settings zu betrachten [6]. Ein Beispiel für die Darstellungsweise der Bremskurven in LUKS ist in Bild 5 gegeben.

3.2 Problematik

Bei den installierten Balisengruppen auf dem Luxemburger Eisenbahnnetz führt die punktförmige Datenübertragung zum Auftreten von überflüssigen Bremsankündigungen. In diesen Fällen wird dem Triebfahrzeugführer auf dem DMI in Gelb das Einleiten einer Bremsung angekündigt, da noch keine Aufwertung der MA durch eine Balise stattgefunden hat, obwohl das Hauptsignal schon den Fahrtbegriff anzeigt. Dies führt im Zweifelsfall zu unterschiedlichen Aussagen zwischen strecken-seitiger Signalisierung und DMI, wobei laut Regelwerk das DMI zu beachten ist [7].

Diese Stellen im Netz zu sondieren war eine Aufgabe der Untersuchung. Im Rahmen der Analyse zeigte sich, dass im Personenverkehr nur an einem Signal das Problem der überflüssigen Bremsankündigungen auftritt und vor allem der Güterverkehr mit seinen längeren Bremswegen betroffen ist. Insgesamt könnte es bei der Ausgangskonfiguration des ETCS auf dem Luxemburger Netz an 18 Signalen bei zusammen 82 Zugfahrten täglich zu den überflüssigen Bremsankündigungen laut DMI kommen. Bei allen detektierten Signalen liegt der IP in Fahrtrichtung vor der ersten relevanten Balisengruppe und sollte in seiner Lage optimiert werden.

Weiterhin besteht im ETCS die Herausforderung, den Odometriefehler zu beachten. Die Triebfahrzeuge können sich durch Einflussgrößen wie Schlupf oder Radreifenabnutzung nicht hinreichend genau feinorten, sodass eine verlässliche Standortbestimmung nur in den Fällen gegeben ist, in denen das Triebfahrzeug eine Balise überfährt. Durch die Datenübertragung kann das Fahrzeug seine genaue Position bestimmen. Die Feinortung zwischen den Balisen übernimmt das Fahrzeug selbst, wobei bei der Wegbestimmung pauschal 5 m hinzuge-rechnet und zusätzlich 5 % des zurückgelegten Weges ebenfalls als Zuschlag angenommen werden [8]. Dies führt dazu, dass in der Untersuchung der durch das Triebfahrzeug errechnete IP um den Betrag des Odometriefehlers entgegen der Fahrtrichtung verschoben werden muss. Aufgrund des Odo-

1. International Railway Symposium Aachen



28. bis 30. November 2017
an der RWTH Aachen

Einladung zur Fachtagung

Fachleute und Führungskräfte aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik sind zur Teilnahme am 1. International Railway Symposium Aachen eingeladen. In Fachbeiträgen aus einem breiten Spektrum der Schienenverkehrsbranche erfahren Sie neueste technische Entwicklungen und Trends zu den Themen

- Innovative Eisenbahnbetriebskonzepte
- Sicherheit, Zuverlässigkeit und Lebensdauer
- Assistiertes, automatisiertes und autonomes Fahren (3A)
- Energie- und Ressourceneffizienz
- Lärminderung

Es erwartet Sie eine interessante Tagung mit der Möglichkeit des Austausches mit Fachleuten der Branche und einem attraktiven Rahmenprogramm.

Weitere Informationen zur Beitragseinreichung sowie zur Teilnahme erhalten Sie online unter:

www.irsa.rwth-aachen.de

Tel. +49 (0)241 80 25565

Fax. +49 (0)241 80 22145

irsa@rwth-aachen.de



IRSA 2017

metriefehlers können durch diese Verschiebung auch Signale relevant werden, an denen der IP ansonsten unmittelbar hinter der maßgebenden Balisengruppe liegt. Als pauschaler Wert für den maximalen Balisenabstand wurden auf dem Luxemburger Netz 2000 m angesetzt, so dass sich daraus ein Odometriefehler von bis zu 105 m ergibt. Unter dieser Einschränkung sind 23 weitere Signale hinsichtlich des Auftretens von überflüssigen Bremsankündigungen zu untersuchen.

3.3 Anpassungen

Das vorgeschlagene k-Faktor-Setting der CFL hat sich hinsichtlich der Anpassung bezogen auf die Zuglänge als nachteilig für den Personenverkehr erwiesen. Das ursprüngliche Setting sieht das schlechteste Bremsverhalten bei kurzen Zügen vor, welches zu der Überschreitung des IP bei einem Signal im Personenverkehr führte. Da die meisten Güterzüge deutlich länger sind, spielt der Korrekturfaktor bei diesen eine weniger große Rolle.

Das Setting der SRS 3.4.0 führt im Personenverkehr dazu, dass keine überflüssigen Bremsankündigungen mehr auftreten. Hierbei werden alle k-Faktoren zur sicheren Seite abgemindert und keine Unterschiede in der Zuglänge oder Geschwindigkeit getroffen. Im Güterverkehr jedoch treten auch bei diesem Setting weiterhin überflüssige Bremsankündigungen auf, weshalb weitere Optimierungen vorzunehmen sind. Selbst eine Anpassung aller k-Faktoren auf den Wert Eins, so dass auf Basis dieser keine weiteren Reserven in das Modell eingebracht werden, führt nicht dazu, dass alle Überschreitungen entfallen. Daher wurde sich dafür entschieden, das Setting der SRS 3.4.0 mit Reserven zu favorisieren, da zum einen der Vergleich des Bremsverhaltens der Baureihe Z 2000 das Modell als solches validiert und zum anderen Fahrzeuggeräte der SRS 3.4.0 auf der Infrastruktur nach Version 2.3.0d ohne die Notwendigkeit der Implementierung des Paketes 203 mit den eingespeicherten default-Werten der Version 3.4.0 für die k-Faktoren verkehren können. Da durch die reine Anpassung der Korrekturfaktoren nicht alle Überschreitungen vermieden werden können, ist es zielführend, die betroffenen Güterzüge näher zu analysieren. Hierzu erfolgt eine Optimierung auf Basis der Bremsleistung, da infrastruktureitig zunächst keine Anpassungen erfolgen sollen. Bei der Detailanalyse der Zugfahrten stellt sich heraus, dass jeweils Güterzüge der Klasse MA 90 (schnellfahrende Güterzüge auf dem Luxemburger Netz) für die Überschreitungen verantwortlich sind, sodass eine Anhebung der geforderten Mindestbremsleistung dieser Klasse auf 85 % BrH sinnvoll ist. Diese Anhebung führt zusammen mit dem Setting der SRS 3.4.0 dazu, dass auch bei überschlüssiger Berücksichtigung des Odometriefehlers lediglich an acht Signalen bei insgesamt 20 Zugfahrten geringe Überschreitungen auftreten. Eine weitere Anhebung der Mindestbremsleistung ist jedoch nicht zu empfehlen. Die übrigen Überschreitungen – insbesondere im Knoten Luxemburg – lassen sich durch lokale Geschwindigkeitsbeschränkungen vermeiden.

Zur Verminderung des Odometriefehlers empfiehlt es sich – insbesondere bei Abschnitten auf der freien Strecke vor Einfahrsignalen, an denen der Odometriefehler sehr groß sein kann –, weitere Festdatenbalisen zur Ortung der Züge zu verlegen, so dass der Fehler hier möglichst klein gehalten wird. Innerhalb von Bahnhöfen ist dies nicht notwendig, da hier viele Balisengruppen überfahren werden und so der Odometriefehler nicht übermäßig groß wird.

4 Fazit und Ausblick

Das Ergebnis der Untersuchung ist ein Maßnahmenpaket aus unterschiedlichen Anpassungen, welche den Anforderungen des

can be used to test timetable robustness and to detect bottlenecks in the network.

LUKS has been used for several ETCS studies commissioned by the UIC [6]. The influence of ETCS on travel time and performance can be determined. For example, ETCS braking curves can be analysed in terms of the k factors in LUKS and it is possible to consider the effects of different k factor settings [6]. One example of how the braking curves are displayed in LUKS is given in fig. 5.

3.2 Problems

With the BG installed on the Luxembourg railway network, intermittent data transmission leads to the occurrence of unwanted brake initiations. In these cases, the driver gets a prompt on the DMI to initiate braking, since the MA has not yet been updated by a BG, although the main signal already indicates “proceed”. In case of doubt, this leads to different indications between the trackside signals and the DMI, whereby it is the DMI that must be observed [7].

Exploring these signals in the network was the task of the investigation. Within its scope, it became apparent, that the problem of unwanted brake initiations occurs in passenger traffic only at one signal and, above all, freight traffic is affected on account of its longer braking distances. Overall, in the initial configuration of the ETCS on the Luxembourg network the unwanted brake prompts through the DMI could occur at 18 signals with a total of 82 train runs daily. For all detected signals, the IP is prior to the first relevant BG in the direction of travel and ought to be optimised in its position.

In ETCS there is also the challenge of observing the odometry error. The traction unit cannot be sufficiently finely located on account of variables such as slippage or wheel wear, so that a reliable location determination is only possible in cases where the traction unit runs over a BG. Through the data transmission the vehicle can determine its exact position. The measurement of the current location since the last overrun BG is done by the train itself, whereby a total of 5 m is added and an additional 5% of the driving distance is also used as a surcharge [8]. As a result, the IP, calculated by the traction vehicle, must be shifted by the amount of the odometry error in the direction opposite to the direction of travel. Due to the odometry error, this shift can also become relevant to signals where the IP is directly behind the relevant BG. A standard value for the maximum BG distance was set to 2000 m on the Luxembourg network, resulting in an odometry error up to 105 m. Under this restriction, 23 additional signals have to be investigated with regard to the occurrence of unwanted brake initiations.

3.3 Adaptations

CFLs proposed k factor setting has provided disadvantageous with respect to the length of passenger trains. The original setting provides the worst braking behaviour for short trains, which causes IP to be exceeded at one signal for passenger trains. Since most freight trains are significantly longer, the k factor becomes less relevant. The setting of the SRS 3.4.0 leads for passenger trains to the avoidance of unwanted brake initiations. In this case, all k factors are reduced to the safe side and no differences in the train length or speed are made. For freight trains, there are still unwanted brake initiations with this setting, which leads to the conclusion that further optimisations need to be made. Even an adaptation of all k factors to the value one, so that no further reserves are introduced into the model on the basis of

Luxemburger Eisenbahnnetzes entsprechen. Hierbei gibt es gezielte Anpassungen für den Personenverkehr, indem anstatt dem ursprünglichen k-Faktor-Setting der CFL das k-Faktor-Setting der SRS 3.4.0 übernommen werden kann. Im Güterverkehr werden die Erhöhung der Mindestbremsleistung der Klasse MA 90 auf 85 % BrH empfohlen sowie lokale Geschwindigkeitseinschränkungen. Zur Verringerung des Odometriefehlers sollten zudem an den neuralgischen Stellen im Netz weitere Festdatenbalisen verlegt werden.

Zudem ist bei geeigneter Datengrundlage eine Detailuntersuchung der Triebwagen als Gammazüge mit genaueren Bremsverzögerungen wünschenswert, da aktuell nur die Approximation – bis auf die Züge der Baureihe Z 2000 – als Lambdazug möglich war.

Fest steht, dass in Zukunft weitere solcher Untersuchungen während der Migration auf ETCS Level 1 (FS) erforderlich werden, damit keine überflüssigen Bremsankündigungen auftreten. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] CFL, Règlement Général de l'Exploitation technique (RGE), Luxemburg, 2016
- [2] European Railway Agency, „Baseline 2 Requirements for implementation of braking curves functionality“, 14. 06. 2016. [Online]; available: <http://www.era.europa.eu/Document-Register/Pages/ERA%20ERTMS%20040022.aspx> [Zugriff am 25. 09. 2016]
- [3] European Railway Agency, „Introduction to ETCS braking curves“, 15. 06. 2016. [Online]; available: <http://www.era.europa.eu/Document-Register/Pages/Braking-curves---Introduction.aspx> [Zugriff am 26. 08. 2016]
- [4] European Railway Agency, „SUBSET-026_v340 System Requirement Specification“, 15. 06. 2016. [Online]; available: <http://www.era.europa.eu/Document-Register/Pages/Set-2-System-Requirements-Specification.aspx> [Zugriff am 26. 08. 2016]
- [5] Kogel, B.; Nießen, N.; Schüttert, A.: „Fahrwegkapazität deutschlandweit ermitteln“, *Deine Bahn*, pp. 43-45, Dezember 2015
- [6] Kogel, B.; Nießen, N.; Büker, T.: *Influence of the European Train Control System*, Paris: The International Union of Railways (UIC), 2010
- [7] CFL, Appendice III au RGE traitant les Dispositions additionnelles au RGE relatives à l'exploitation du système de sécurité ETCS, Luxemburg, 2016
- [8] UNISIG, „SUBSET-041 Performance Requirements for Interoperability“, 01. 03. 2012. [Online]; available: <http://www.era.europa.eu/Document-Register/Pages/Performance-Requirements-for-Interoperability.aspx> [Zugriff am 26. 08. 2016]

AUTOREN | AUTHORS

Dipl.-Ing. André Feltz

Société Nationale des Chemins de Fer Luxembourgeois (CFL)
Chargé de Gestion du Service Ingénierie Infrastructure
Anschrift /Address: 9, Place de la Gare, L-1616 Luxembourg
E-Mail: andre.feltz@cfl.lu

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen

Leiter des Verkehrswissenschaftlichen Instituts
RWTH Aachen University
Anschrift /Address: Mies-van-der-Rohe-Str. 1, D-52074 Aachen
E-Mail: niessen@via.rwth-aachen.de

these k factors, does not lead to any excesses being omitted. Therefore, it was decided to favour the setting of SRS 3.4.0 with reserves because, on the one hand, the comparison of the braking behaviour of the class 2000 validates the model and, on the other hand, OBUs with SRS 3.4.0 comply with the 2.3.0d infrastructure without the necessity of overwriting the stored default k factors by implementation of packet 203.

Since it is not possible to avoid all excesses by simply adjusting the k factors, it is important to analyse the freight trains more closely. For that purpose, an optimisation is carried out on the basis of the braked weight percentage, since no adjustments are to be made on the infrastructure side. During the detailed analysis of the trains, it becomes apparent, that freight trains of the class MA 90 are responsible for the excess, which means that an increase of the required minimum braked weight percentage of this class to 85 % is assumed useful. This increase, together with the setting of the SRS 3.4.0, leads to a slight excess at only eight signals with a total of 20 train runs, even if the odometry error is taken into account. However, a further increase of the minimum braked weight percentage is not recommended. The other excesses (especially in Luxembourg station) can be avoided by local speed restrictions.

In order to reduce the odometry error, it is advisable to position additional fixed data BG for relocation of trains, in particular in sections on the line in front of home signals, at which the odometry error can be very great, so that the error is kept as small as possible. This is not necessary within railway stations, because many BGs are overrun here and the odometry error is not excessive.

4 Conclusion and prospects

The result of the investigation is a package of measures from different adaptations which meet the requirements of the Luxembourg railway network. There are targeted adjustments for passenger trains by using the k factor setting of the SRS 3.4.0 instead of the original k factor setting of CFL. For freight trains, an increase of the minimum braked weight percentage of class MA 90 to 85 % is recommended as well as local speed restrictions. In order to reduce the odometry error, further fixed data BG should also be positioned at the neuralgic sections in the railway network.

In addition, with a suitable data base, a detailed investigation of fixed train compositions as gamma trains with more precise brake decelerations is desirable, since only approximations (except the class Z 2000 trains) as lambda train was possible.

It is obvious that investigations like the one presented here, will be required more and more during the migration process to ETCS Level 1 (FS) in future so that no unwanted brake initiations will occur. ■

Tobias Walke, M. Sc. RWTH

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Verkehrswissenschaftlichen Institut,
RWTH Aachen University
Anschrift /Address: Mies-van-der-Rohe-Str. 1, D-52074 Aachen
E-Mail: walke@via.rwth-aachen.de

Dr. rer. nat. Jürgen Jacobs

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Verkehrswissenschaftlichen Institut,
RWTH Aachen University
Anschrift /Address: Mies-van-der-Rohe-Str. 1, D-52074 Aachen
E-Mail: jacobs@via.rwth-aachen.de