

Verhinderung betrieblicher Einschränkungen durch ETCS-Bremskurven an Bahnübergängen

Ansätze zur optimalen Nutzung des Leistungspotenzials von ETCS bei zeitabhängigen Streckenausrüstungen

LARS FEHLAUER | RICHARD KAHL

Aufgrund der hochdynamischen Bremskurvenberechnung variieren die Bremsensatzpunkte (BEP) zwischen ETCS-geführten Zügen teils stark. An zeitabhängigen Streckenausrüstungen wird dagegen bisher zumeist von einem festen BEP ausgegangen. Deshalb ist bei der Ausrüstung einer Bestandsstrecke mit ETCS L2 ohne Betrachtung des genannten Sachverhalts mit betrieblichen Einschränkungen zu rechnen. Dieser Beitrag stellt die im Rahmen einer Diplomarbeit [1] an der Professur für Verkehrssicherungstechnik der TU Dresden erarbeiteten Anforderungen und Lösungsmöglichkeiten vor, mit deren Hilfe die Auswirkungen der flachen Bremskurven minimiert und das Leistungspotenzial von ETCS besser genutzt werden kann.

Die Kapazitätswirkung des European Train Control System (ETCS) ist ein aktuell vielbeachtetes Untersuchungsgebiet und wird in der Fachwelt kontrovers diskutiert. Eine Zusammenstellung von Beitragsausschnitten [2] zeigt, dass z.T. eine Steigerung der Kapazität um bis zu 35 % propagiert wird. Demgegenüber stehen Untersuchungen, welche einen deutlich geringeren Gewinn von 9 bis 13 % ausweisen [3] oder bei Nutzung von ETCS Level 2 (L2) sogar von einer Reduktion der Leistungsfähigkeit ausgehen [4]. Der vorliegende Beitrag ordnet sich mit folgender Arbeitsthese ein: Eine Kapazitätserhöhung mit ETCS L2 gegenüber bestehenden Strecken mit punktförmiger Zugbeeinflussung (PZB) ist möglich, bedingt jedoch die Beachtung einiger Randbedingungen. Diese werden nachfolgend am Beispiel der Einschaltstrecken von Bahnübergängen (BÜ) erläutert.

Ausgangssituation

In einem früheren Beitrag [5] wurden bereits die Auswirkungen flacher ETCS-Bremskurven auf zeitabhängige Streckenausrüstungen analysiert. Ein Vergleich zu den Bremskurven konventioneller Systeme zeigte, dass insbesondere bei ETCS L2 gegenüber der PZB mit deutlich früheren BEP zu rechnen ist. Verstärkt wird dies aufgrund der vorgelagerten Bremsankündigungskurve (Indicationcurve). Der Zug benötigt daher für eine unbehinderte Fahrt deutlich früher eine Information über die Verlängerung der Fahrterlaubnis, als dies bisher notwendig war. Diese kann allerdings erst beim Vorliegen aller Voraussetzungen (z.B. Fahrweg eingestellt und gesichert) gesendet werden. Würde eine PZB-Strecke ohne Anpassung der bestehenden Streckenausrüstungen mit ETCS L2 ausgerüstet werden, lassen sich die Auswirkungen wie folgt zusammenfassen:

- Reduktion der Streckenleistungsfähigkeit bei gleichen Blocklängen
- Geschwindigkeitsreduktion bzw. Verhinderung einer möglichen Geschwindigkeitserhöhung von schlecht bremsenden (Güter-) Zügen vor BÜ der Überwachungsart Überwachungssignal (ÜS) bzw. hauptsignalüberwacht (Hp) mit Annäherungskontakt
- Risiko ungewollter Zwangsbremmung von Zügen bei ungesicherten BÜ der Überwachungsart ÜS (ÜS zeigt BÜ 0)
- zu späte Verlängerung der Fahrterlaubnis bei konventioneller Zuglenkung mit großen Anstoßverzögerungszeiten.

Abb. 1 veranschaulicht die betrieblichen Einschränkungen am Beispiel der Einschaltstrecke eines BÜ der Überwachungsart ÜS. Die Dimensionierung der Einschaltstrecke sowie die Standorte der ETCS L2 Datenpunkte (DP) entsprechen den Vorgaben der aktuell gültigen Planungsvorschriften. Die Berechnung der dargestellten ETCS-Bremskurven erfolgte mit dem Bremskurvensimulationswerkzeug der europäischen Eisenbahngesellschaft (European Railway Agency, ERA). Am Ort des DP-Typ 43 wird die Information über den Sicherungszustand des BÜ an das ETCS-Fahrzeuggerät übertragen. Aufgrund der dynamischen Bremskurvenberechnung unter ETCS L2 muss sichergestellt werden, dass der Zug im Fall eines nicht gesicherten BÜ rechtzeitig zum Still-

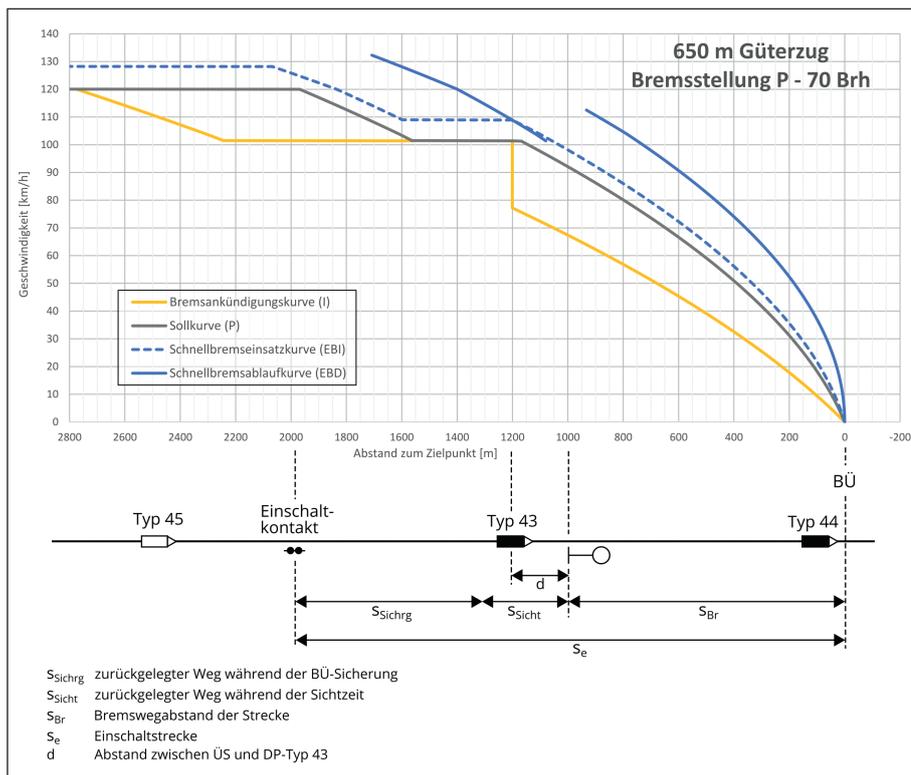


Abb. 1: Erzwungenes Herunterbremsen eines Zuges vor ÜS-BÜ

Quelle alle Abb.: Lars Fehlauer

stand gebracht wird. Dies erfolgt mittels der ETCS-Funktion „zulässiger Bremsweg“ (permitted braking distance, PBD), die Bestandteil der Fahrerlaubnis (movement authority, MA) ist. Im Beispiel der Abb. 1 führt dies dazu, dass der Musterzug bis zum Ort des DP-Typ 43 seine Geschwindigkeit bereits um etwa 20 km/h ermäßigen muss – unabhängig vom Sicherungszustand des BÜ. Ist der BÜ nicht gesichert, erfolgt am DP-Typ 43 die Übertragung einer neuen Limit of Authority (LoA) mit überwachtem Halt vor dem BÜ und infolgedessen eine Neuberechnung der Bremskurven auf dem Fahrzeug. Dies führt zu einem Sprung in den Bremskurven, weshalb der Triebfahrzeugführer (Tf) keine ausreichende Reaktionszeit mehr hat, den Zug selbsttätig abzubremesen. Eine Zwangsbremung durch ETCS wird kaum vermeidbar sein. Bei zusätzlicher Annahme eines Gefälles verstärken sich die Einschränkungen und entsprechend mehr Zugkonfigurationen sind betroffen.

Mögliche Lösungsansätze zur Verbesserung der beschriebenen Situation liegen einerseits in der Anpassung der (nationalen) ETCS-Konfiguration selbst und andererseits in der Determinierung spezifischer Anforderungen an die Planung und Projektierung zeitabhängiger Streckenausrüstungen.

Potenzial in der ETCS-Konfiguration

Der Infrastrukturbetreiber hat unter ETCS die Möglichkeit, mittels nationaler Werte das System an seine Bedürfnisse und die entsprechende Infrastruktur sowie Betriebsweisen anzupassen. Seit Einführung der Baseline 3 existieren zudem Korrekturfaktoren zur Beeinflussung der Steilheit der Bremskurven. Daher wurde untersucht, inwieweit durch Änderungen an der ETCS-Konfiguration die betrieblichen Einschränkungen vermieden werden können.

Leistungspotenzial der ETCS-Bremskurven

Die meisten der von den Auswirkungen betroffenen Züge nutzen das sogenannte Lambda-Bremsmodell (Bremsbewertung mit Bremsleistung). Hier steht ein geschwindigkeitsabhängiger, ein zuglängenabhängiger sowie ein Korrekturfaktor der Bremsaufbauzeit zur Beeinflussung der Bremskurven zur Verfügung. Es bleibt jedoch festzustellen, dass die Wahl insbesondere des geschwindigkeitsabhängigen Korrekturfaktors in Deutschland bereits derart erfolgte, dass in etwa die gleiche Bremswegesicherheit wie bei den konventionellen Zugbeeinflussungssystemen resultiert. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass unter dem Blickwinkel des Nachweises gleicher Sicherheit durch seine Veränderung keine signifikanten Verbesserungen zu erwarten sind. Geringes Potenzial liegt allerdings im zuglängenabhängigen Korrekturfaktor, welcher hierzulande aktuell nicht verwendet wird. Da sich die Bremsversuche zur Ermittlung der Bremsleistung meist auf 500 m lange Güterzüge

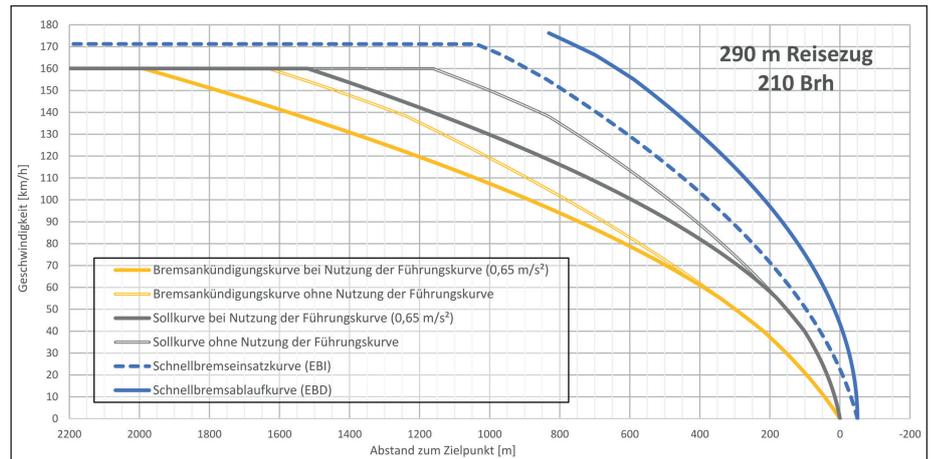


Abb. 2: Einfluss der ETCS-Führungskurve auf den Ort der Bremsankündigung

beziehungen, ergibt sich bei kürzeren Zügen eine zusätzliche Sicherheitsmarge, die bisher ungenutzt blieb.

Weiterhin sollte für Züge mit fester Zugkomposition (Güterganzzüge inbegriffen) die weitgehende Verwendung des Gamma-Bremsmodells (Bremsbewertung durch Momentanverzögerungen) angestrebt werden. Durch eine möglichst realitätsnahe Modellierung des Bremsvermögens und der Bremsaufbauzeiten kann der Wechsel vom Ceiling Speed Monitoring zum Target Speed Monitoring verzögert werden. Zusätzliche Verfügbarkeitssteigerungen an den Bremsanlagen der Fahrzeuge verstärken diesen Effekt.

Schließlich können kleinere Verbesserungen mittelfristig auch über eine Optimierung der in der ETCS-Spezifikation beschriebenen Bremsmodelle herbeigeführt werden. Dies betrifft z.B. die Berücksichtigung mehrerer Längsneigungen bei Neigungswechseln unter dem Zug. Zudem ließe sich der mögliche Regelungsspielraum des Tf bei Einbeziehung der aktuellen Bremsverzögerung bereits bremsender Züge erhöhen [6]. In der Folge könnte zumindest die oben beschriebene, ungewollte Zwangsbremung bei gestörtem BÜ verhindert werden.

Verzögerung der Bremsankündigung

Der Ort der Bremsankündigung wirkt sich maßgeblich auf die theoretische Leistungsfähigkeit der Strecke aus. Eine mögliche Verschiebung in Richtung Bremszielort kann dazu beitragen, die Ausdehnung der ETCS-Bremskurvenschar insgesamt zu reduzieren. Hieraus resultiert die Empfehlung, zumindest für die Fahrzeuggeräte die derzeit aktuelle ETCS-Spezifikation SRS 3.6.0 zu verwenden. Gegenüber den vorherigen Versionen ist der Bremsvorankündigungspunkt entfallen, der 7 Sekunden vor der Bremsankündigungskurve lag. Stattdessen wird in letzterer nun dem Tf eine Reaktionszeit von 4 Sekunden eingeräumt. Die gewonnenen 3 Sekunden führen zu einer direkten Verbesserung der technischen Zugfolgezeit.

Des Weiteren hat die ETCS-Führungskurve einen starken Einfluss auf den Ort der ersten

Bremsankündigung. Durch den Fahrzeugbetreiber werden Soll-Bremsverzögerungen definiert, die hinsichtlich Fahrkomfort und Verschleiß der Bremsen optimiert sind. Der Infrastrukturbetreiber kann mittels einer nationalen ETCS-Variablen festlegen, ob die Nutzung der Führungskurve für die Bremskurvenberechnung zulässig ist oder nicht. Für ETCS L2 in Deutschland wird die Nutzung der Führungskurve grundsätzlich erlaubt. Bei gut bremsenden Zügen bzw. geringen Soll-Bremsverzögerungen verschiebt sich somit die Bremsankündigungskurve signifikant nach vorn (Abb. 2). Dies ist damit zu begründen, dass in diesen Fällen die in der Führungskurve berücksichtigten Bremsverzögerungen restriktiver sind als das tatsächliche Bremsvermögen der Züge. Für den Musterzug in Abb. 2 ergibt sich eine Differenz von ca. 360 m bzw. 8,1 Sekunden. Daher ist empfehlenswert, für kapazitätskritische Streckenabschnitte und in Bereichen vor BÜ die Berücksichtigung der Führungskurve auszuschließen.

Anforderungen an Planung und Projektierung

In Bezug auf das eingeführte Beispiel der betrieblichen Einschränkungen an BÜ muss konstatiert werden, dass die beschriebenen Anpassungen auf Seiten der ETCS-Konfiguration nicht ausreichen, um alle Auswirkungen zu kompensieren. Dies liegt am zu geringen Abstand zwischen dem Ort der Übertragung des BÜ-Sicherungszustandes (DP-Typ 43) und dem Bremszielort (BÜ). Um mögliche Geschwindigkeitserhöhungen schlecht bremsender Züge zu realisieren, sind daher auch Anpassungen der bestehenden Streckenausrüstungen erforderlich.

Verlängerung von Einschaltstrecken

Im ersten Schritt scheint es zweckmäßig, die Einschaltstrecken von BÜ der Überwachungsarten ÜS und Hp derart zu verlängern, dass für den Zug mit dem längsten anzunehmenden Bremsweg unter Beachtung der jeweiligen möglichen Höchstgeschwindigkeit ein not-

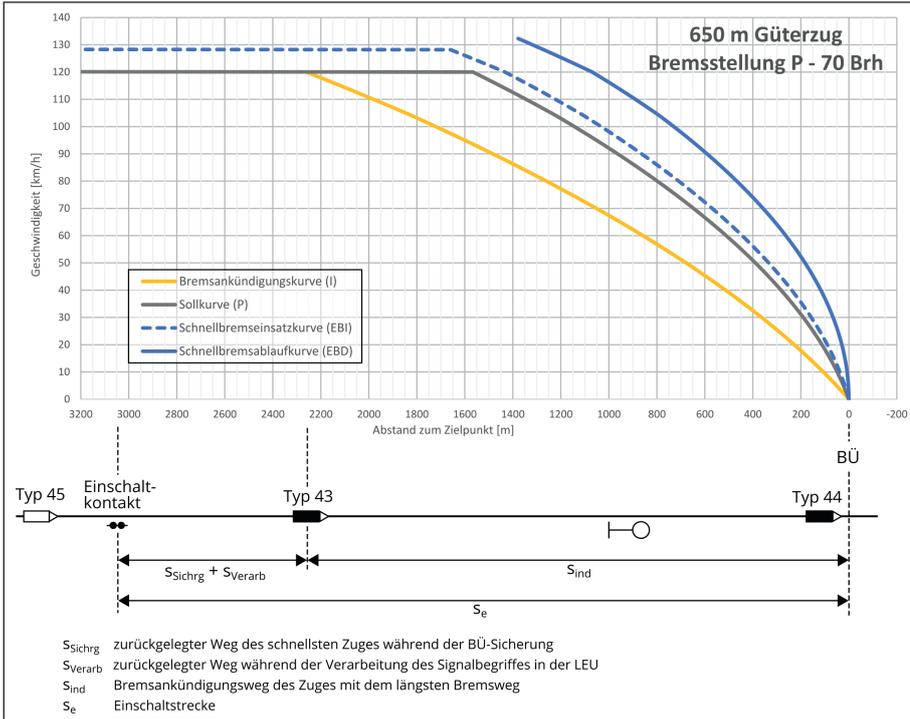


Abb. 3: Anforderung an die Einschaltstrecke bei ÜS-BÜ

wendiges Herunterbremsen vor bzw. die nicht rechtzeitige Verlängerung der MA über den BÜ ausgeschlossen wird. Abb. 3 zeigt die theoretischen Anforderungen an die Planung der Streckenausrüstung. Als Richtwert für ÜS-BÜ sollte der DP-Typ 43 im Abstand der ersten Bremsankündigung des maßgebenden Zuges (Indikationsweg) vor dem BÜ positioniert werden. Nur dann ist sichergestellt, dass bei einer BÜ-Störung der Tf noch ausreichend Reaktionszeit hat, um den Zug selbstständig und ohne Eingriff durch ETCS zum Halten zu bringen.

Im Ergebnis resultieren gegenüber heute deutlich längere Einschaltstrecken. Soll lediglich das erzwungene Herunterbremsen des Zuges verhindert werden, nicht jedoch die möglichen Zwangsbremungen bei gestörtem BÜ, genügt es, den DP-Typ 43 am Ort der Absenkung der Schnellbremseinsatzkurve zu positionieren. Im

Beispiel der Abb. 3 verkürzt sich die Einschaltstrecke dann wieder um ca. 600 m.

Bei Hp-BÜ ist die Einschaltstrecke analog zu verlängern. Hier ist jedoch zwingend die Absenkung der Bremsankündigungskurve maßgebend, da der Tf bei Ausbleiben der MA-Verlängerung sonst ggf. bereits zu bremsen beginnt. Statt der Verarbeitung des Signalbegriffes in der Lineside Electronic Unit (LEU) ist zudem die ETCS-Systemlaufzeit zu berücksichtigen. Diese beinhaltet alle Zeitanteile vom Ende der Fahrstraßeneinstellung (d. h. BÜ gesichert) bis zur tatsächlichen Anzeige der MA im Fahrzeug.

Generell gilt es zu beachten, dass die jeweils resultierenden Standorte für Balisen und Einschaltkontakte bei dieser Herangehensweise sehr zugindividuell optimiert sind. Deswegen muss bereits die betriebliche Aufgabenstellung Vorgaben enthalten, für welche (kriti-

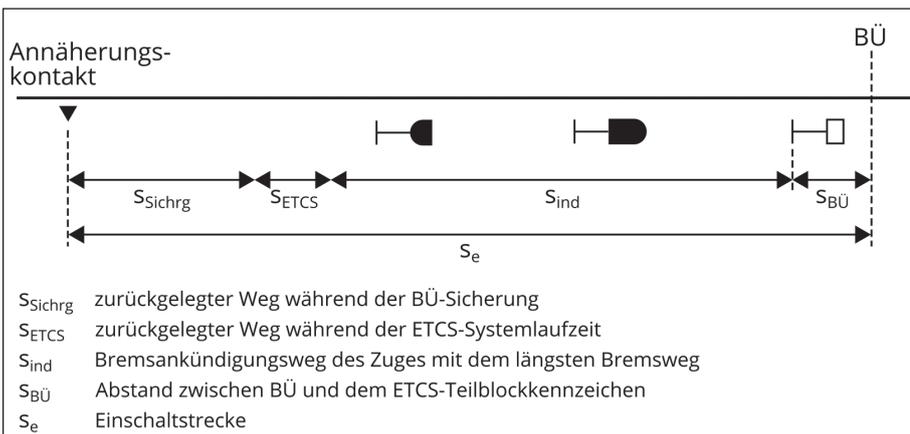


Abb. 4: Anordnung eines Blockkennzeichens vor dem BÜ

schen) Zugkonfigurationen die Strecke unter ETCS L2 ausgelegt werden soll bzw. bei welchen Zügen betriebliche Einschränkungen akzeptiert werden. Nichtsdestotrotz sollte die BÜ-Planung zukünftig die Rückwirkungen auf ETCS-geführte Züge berücksichtigen und ETCS als das führende System ansehen. Dafür ist es erforderlich, die sich aus dem verwendeten Zugbeeinflussungssystem ergebenden Anforderungen in der Dimensionierungsrichtlinie für BÜ (Ril 815.0033) aufzunehmen.

Wechsel der BÜ-Überwachungsart

Durch die Verlängerung der Einschaltstrecke von ÜS-BÜ kann es vorkommen, dass sich der Einschaltkontakt in der Folge vor dem rückliegenden Hauptsignal befindet. In diesem Fall ist die Überwachungsart ÜS nicht mehr zulässig und muss zu Hp geändert werden. Da eine Integration ins Stellwerk erforderlich wird, sind die Kosten einer solchen Umrüstung nicht zu vernachlässigen.

Dies und die eingeführten theoretischen Anforderungen an die Einschaltstrecke bei BÜ der Überwachungsarten ÜS und Hp bedingen durch die Versetzung der Einschaltkontakte auch deutlich längere Sperrzeiten für Straßenverkehrsteilnehmer. Das steht entgegen der Forderung von z.B. [7], durch Verkürzung der Schließzeiten die Sicherheit an BÜ mit Halbschranken zu erhöhen. Deshalb sollte generell geprüft werden, inwieweit ÜS-BÜ bei Ausrüstung der Strecke mit ETCS L2 in die Überwachungsart ÜS_{OE} (optimierte Einschaltung) umgerüstet werden können. Da das ÜS dann lediglich die Einschaltbereitschaft der BÜ-Sicherung signalisiert und dadurch die Einschaltstrecken unabhängig von der Geschwindigkeitsüberwachung durch ETCS sind, kann der DP-Typ 43 in ausreichendem Abstand vor dem BÜ positioniert werden. Somit ließe sich das Leistungspotenzial von ETCS voll nutzen. Hierfür muss allerdings zunächst der Zulassungsprozess zur Verwendung von ÜS_{OE} unter ETCS erfolgreich beendet werden.

Um die betrieblichen Einschränkungen für ETCS-geführte Züge an Hp-BÜ zu minimieren, ohne die Sperrzeit des BÜ zu groß werden zu lassen, besteht die Möglichkeit, im kleinstmöglichen Sicherheitsabstand zum BÜ ein Blockkennzeichen aufzustellen. Somit verschiebt sich der Bremsankündigungspunkt für ETCS-Züge näher in Richtung BÜ, da der Bremszielpunkt nunmehr das Blockkennzeichen und nicht das Hauptsignal ist. Die theoretische Anforderung an die Streckenausrüstung zeigt Abb. 4. Der tatsächliche Einbauort des Annäherungskontaktes ergibt sich aus dem Maximum der Einschaltstreckenlänge basierend auf dem Bremsvorankündigungsweg oder der Berechnung mit dem konventionellen Sichtpunkt. Um die Sperrzeit für alle Zugkonfigurationen zu optimieren, sollten zudem Möglichkeiten zur direkten Ansteuerung der BÜ-Sicherungsanlage durch ETCS untersucht und Schienenkontakte lediglich als Rückfallebene verwendet werden.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für TU Dresden / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DW Media Group GmbH 2020

Überwachungsart	Anordnung der Streckenausrüstung	Länge Einschaltstrecke	Mögliche betriebliche Einschränkungen
ÜS	gemäß aktuellem Regelwerk	1980 m	Herunterbremsen des Zuges vor BÜ unabhängig vom Sicherungszustand und ggf. Zwangsbremmung bei ungesichertem BÜ
	DP-Typ 43 am Ort der Absenkung der Bremsan-kündigungs-kurve	3040 m	keine
	DP-Typ 43 am Ort der Absenkung der Schnell-bremseinsatzkurve	2440 m	ggf. Zwangsbremmung bei ungesichertem BÜ
Hp (Hauptsignal ca. 1000 m vor BÜ)	gemäß aktuellem Regelwerk	3820 m	Herunterbremsen des Zuges durch zu späte Verlängerung der MA
	Verlängerung der Einschaltstrecke	4430 m	keine
	Einrichtung Teilblockkennzeichen (Tbk) vor BÜ	3820 m	keine
ÜS _{OE} und FÜ	gemäß aktuellem Regelwerk	1600 m	keine

Tab. 1: Vergleich der Einschaltstrecken verschiedener Lösungsansätze

Vergleich der Lösungsansätze

Tab. 1 gibt einen Überblick über die Unterschiede der Einschaltstreckenlängen und betrieblichen Einschränkungen ETCS-geführter Züge, untergliedert nach Überwachungsart sowie Art und Umfang der Anpassungen der Streckenausrüstung. Die Berechnungen beziehen sich auf den Musterzug aus Abb. 1, einen BÜ mit Halbschranken und einer Entwurfsgeschwindigkeit der ebenen Strecke von 160 km/h. Aus Tab. 1 lassen sich Rückschlüsse auf die resultierende Sperrzeit des BÜ für Straßenverkehrsteilnehmer ziehen. Deutlich wird, dass sich Hp-BÜ verlängernd auf die Schließzeiten auswirken und daher möglichst zu vermeiden sind. Die optimale Variante muss im Einzelfall und unter Berücksichtigung der dynamischen Bremskurvenberechnung ermittelt werden. Hierbei kann ein zu erstellender Handlungsleitfaden für BÜ- und ETCS-Planer mit Hinweisen zur Ausrüstung von Bestandsstrecken mit ETCS L2 helfen.

Zusammenfassung

Mit der Nachrüstung von ETCS L2 auf Bestandsstrecken mit PZB besteht die Möglichkeit, die Leistungsfähigkeit der Strecke trotz restriktiverer Bremskurven zu erhöhen. Um dieses Ziel auch tatsächlich zu erreichen, ist jedoch ein Paradigmenwechsel notwendig: Statt ETCS auf die bestehende Infrastruktur „einfach aufzusetzen“, sind auch Änderungen an der Infrastruktur selbst

zwingend erforderlich. Nur dann können betriebliche Einschränkungen ausgeschlossen werden. Ein anschauliches Beispiel bildet die in diesem Beitrag vertiefte Betrachtung der Einschaltstrecken von BÜ. Erst mit Verlängerung der Einschaltstrecke oder der Umrüstung des BÜ auf eine andere Überwachungsart lässt sich das Leistungspotenzial von ETCS voll nutzen, vielfach aber unter Inkaufnahme einer verlängerten Sperrzeit für den Straßenverkehr. Zukünftig gilt es daher, die Rückwirkungen einer ETCS L2-Ausrüstung auf bestehende, zeitabhängige Streckenausrüstungen in den geltenden Planungsrichtlinien angemessen zu berücksichtigen. Ein gewerkeübergreifender Handlungsleitfaden mit einem Maßnahmenkatalog zur Realisierung einer Leistungssteigerung und zur streckenspezifischen

Betrachtung der individuellen Bremsparameter wird dringend empfohlen.

QUELLEN

- [1] Fehlauer, L.: Auswirkungen flacher ETCS Bremskurven auf zeitabhängige Streckenausrüstungen. Diplomarbeit, TU Dresden Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, 2018. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-338010>, abgerufen am 01.05.2020
- [2] Reinhart, P.: ETCS&Co für „maximale Leistungsfähigkeit“ – Ein Werkstattbericht zum Digitalen Knoten Stuttgart. https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ibv/ressourcen/dateien/bsk/2019_Digitaler-Knoten-Stuttgart.pdf, abgerufen am 01.05.2020
- [3] Trinckauf, J.; Buder, J.; Menzel, D.: Moderne Zugsicherung – Anforderungen und Grenzen. In: SIGNAL+DRAHT 1+2/2020, S. 14-23
- [4] Wirth, M.; Schöbel, A.: Mindestzugfolgezeiten bei ETCS Level 2 und Level 3 auf der Wiener S-Bahn-Stammstrecke. In: SIGNAL+DRAHT 4/2020, S. 21-26
- [5] Fehlauer, L.; Kahl, R.: Einfluss der ETCS-Bremskurven auf die Infrastrukturplanung. In: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 8/2019, S. 34-37
- [6] Marek, J.; Myslivec, I.; Drápal, B.: Modell der ETCS-Bremskurven: Verbesserungsvorschlag für bereits bremsende Züge. In: SIGNAL+DRAHT 3/2020, S. 36-46
- [7] Oelsner, J.: Optimierungspotenziale der Bahnübergangssicherung. In: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 8/2019, S. 30-33



Dipl.-Ing. Lars Fehlauer

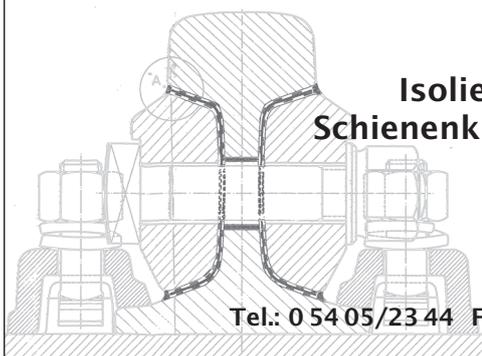
Projektingenieur
Planung Zugsicherungstechnik
Hamburger Hochbahn AG, Hamburg
lars.fehlauer@hochbahn.de



Dipl.-Ing. Richard Kahl

Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der
Professur für Verkehrssicherungstechnik
Fakultät Verkehrswissenschaften
„Friedrich List“
TU Dresden, Dresden
richard.kahl@tu-dresden.de

Technische Formteile aus Kunststoffen



Isolierausrüstung für die Schienenklebestoßverbindung

Bauart «S»

kkv
kassebaum
Kunststoffverarbeitung

KKV Kassebaum GmbH Chemnitzer Straße 1 A 49078 Osnabrück
Tel.: 0 54 05/23 44 Fax: 0 54 05/33 39 www.kkv-kassebaum.de info@kkv-kassebaum.de

Qualitätssicherung nach DIN EN ISO 9001 : 2015 HPQ + Q 1-Lieferant der Deutschen Bahn AG