

# Einfluss der ETCS-Bremskurven auf die Infrastrukturplanung

## Charakteristik der ETCS-Bremskurven und Analyse der Auswirkungen auf zeitabhängige Streckenausrüstungen

LARS FEHLAUER | RICHARD KAHL

In den kommenden Jahren wird das europäische Zugbeeinflussungssystem ETCS (European Train Control System) bei der Aus- und Umrüstung der deutschen Eisenbahninfrastruktur eine zunehmende Rolle spielen. Ein wesentlicher Unterschied zu den konventionellen Systemen besteht in der Charakteristik der Bremskurven. Da von diesen jedoch direkt oder indirekt die Dimensionierung bzw. Projektierung von zeitabhängigen Infrastrukturkomponenten abhängt, wurden im Rahmen einer Diplomarbeit an der Professur für Verkehrssicherheitstechnik der TU Dresden mögliche betriebliche Einschränkungen analysiert und Lösungsmöglichkeiten erarbeitet.

Zukünftig wird der Einsatz von ETCS nicht mehr nur auf Neubaustrecken beschränkt, sondern vermehrt auch im Bestand das System der Wahl sein. Während zunächst die Umrüstung der LZB-Strecken sowie die Ausrüstung der TEN-Korridor im Fokus steht, wird bereits ein flächendeckender Rollout diskutiert und untersucht [1].

Auf Bestandsstrecken gibt es Ausrüstungen, deren Dimensionierung von einem festen Bremsenstartpunkt der Fahrzeuge ausgeht. Dieser ist bei ETCS nicht mehr gegeben, da die Bremswege aufgrund der unterschiedlichen Bremsvermögen und der dynamischen

Bremskurvenberechnung auf den Fahrzeugen stark variieren. Während dies einerseits zu möglichen Geschwindigkeitsanhebungen für schlecht bremsende Züge führt, müssen andererseits insbesondere die derzeitigen Blocklängen sowie Einschaltstrecken von Bahnübergängen (BÜ) und der Zuglenkung (ZL) unter der Maßgabe gleicher bzw. höherer Streckenleistungsfähigkeit sowie im Hinblick auf betriebshemmende Situationen hinterfragt und neu bewertet werden.

Hierfür ist es zunächst notwendig, die ETCS-Bremskurven mit den Überwachungskurven der LZB (Linienförmige Zugbeeinflussung) und der PZB (Punktförmige Zugbeeinflussung) zu vergleichen. In den Untersuchungen wurde zwischen ETCS signalgeführt (ESG; deutsche Ausprägung von ETCS Level 1 Limited Supervision) und ETCS Level 2 (L2) unterschieden.

### ETCS-Bremskurvenschar und maßgebende ETCS-Bremskurve

In ETCS wurden zur Geschwindigkeitsüberwachung sowie für die Zufahrt auf das Ende einer Fahrterlaubnis (MA – movement authority) eine Vielzahl von Bremskurven definiert. Diese können grundsätzlich in Bremsablauf-, Interventions- und Informationskurven eingeteilt werden (Abb. 1). Mit der Einführung der Baseline 3 sind die Bremskurven tendenziell steiler geworden und können zudem mittels nationaler Korrekturfaktoren an die Sicherheitsphilosophie und das Infrastrukturlayout des jeweiligen Infrastrukturbetreibers ange-

passt werden. Einen allgemeinen Überblick über die Bremskurvenschar sowie den aktuellen Stand ihrer Leistungsfähigkeit bietet [2]. Für einen Vergleich zwischen den Bremskurven der hier betrachteten Zugbeeinflussungssysteme sind in erster Linie die folgenden zwei Situationen relevant: Zum einen ist dies der Ort, an dem der Zug eine Zwangsbremmung erhalten würde, sollte der Triebfahrzeugführer (Tf) die Geschwindigkeit nicht selbstständig verringern. Liegt dieser Ort bei ETCS weiter vorn, muss ggf. mit betrieblichen Einschränkungen in Form von unerwünschten Zwangsbremmungen gerechnet werden. Miteinander verglichen werden muss hier also die jeweils erste Interventionskurve der Systeme. Bei der PZB sowie der LZB ist dies die gewöhnliche Überwachungskurve; bei ETCS in Deutschland die Schnellbremsenstartkurve (EBI – emergency brake intervention curve).

Zum anderen ist der Ort für eine Bewertung relevant, an dem der Tf zum ersten Mal über eine anstehende Bremsung informiert wird. Spätestens an diesem Punkt muss eine Verlängerung der Fahrterlaubnis erfolgen, damit sich der Tf nicht bereits auf eine Bremsung einstellen muss bzw. sogar bereits beginnt, diese einzuleiten. Bei der PZB und bei ESG ist dies der Signalsichtpunkt, bei der LZB und bei L2 das Überfahren der Bremsankündigungskurve (indication curve).

### Vergleich zu konventionellen Überwachungskurven

Für die Vergleiche wurden verschiedene Musterzüge definiert. Das jeweils zugrunde gelegte Bremsvermögen ergab sich aus Grenzfällen bezüglich PZB-Zugart sowie der in Deutschland verwendeten Bremsstufen. So wurden in den Betrachtungen sowohl schlecht als auch gut bremsende Personen- wie Güterzüge verschiedener Geschwindigkeitsklassen betrachtet. Die Simulation der ETCS-Bremskurven erfolgte mit dem auf einer Tabellenkalkulation basierenden Bremskurvensimulationswerkzeug der ERA (European Union Railway Agency for Railways), wobei zur besseren Vergleichbarkeit stets das Lambda-Bremssmodell unterstellt wurde.

### Vergleich zur LZB

Beim Vergleich der Bremskurven von ETCS L2 mit denen der LZB kann festgestellt werden, dass die LZB-Bremskurven im Allgemeinen etwas flacher sind. Abb. 2 stellt den Verlauf der re-

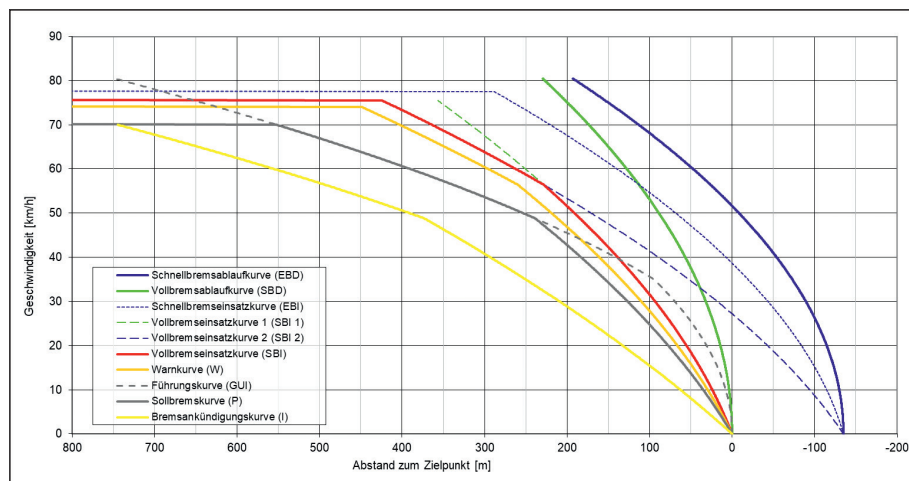


Abb. 1: Entzerrte Bremskurvenschar ETCS

levanten Bremskurven für einen ausgewählten Musterzug beispielhaft dar. Deutlich wird, dass die ETCS-Bremskurven vor allem im oberen Geschwindigkeitsbereich weniger restriktiv als die LZB-Bremskurven sind. Dies liegt vor allem daran, dass bei der untersuchten LZB-Variante für den kompletten Geschwindigkeitsbereich eine konstante Verzögerung angenommen wird, die durch die abnehmende Bremsleistung bei höheren Geschwindigkeiten limitiert ist. Lediglich im Geschwindigkeitsbereich unter ca. 60 km/h ist die ETCS-Sollkurve etwas flacher. Die getroffenen Aussagen gelten für einen Großteil der untersuchten Musterzüge und Geschwindigkeitsklassen. Der Ort der Bremsankündigung wird bei ETCS L2 in der Regel deutlich später liegen als bei der LZB.

### Vergleich zur PZB

Den Vergleich zwischen der Schnellbremsensatzkurve von ETCS signalgeführt mit der PZB-Überwachung stellt Abb. 3 dar. Erkennbar ist, dass sich bei einem angenommenen Vorsignalabstand von 1000 m die ESG-Bremskurve deutlich vor der PZB-Überwachungskurve absenkt, bei einigen Konstellationen sogar bereits vor dem Vorsignal. Da diese Kurve aber erst am Vorsignal „aktiviert“ wird und der Tf eines Zuges mit derartigem Bremsvermögen in der Regel kurz hinter dem Signalsichtpunkt die Bremsung einleiten wird, sind aus fahrdynamischer Sicht zunächst keine Einschränkungen zu erwarten. Zudem fällt die Entlassungsgeschwindigkeit etwas niedriger aus als bei der PZB. Dieses Verhalten lässt sich besonders bei schnellen Güterzügen beobachten.

Ein ähnliches Bild ergibt sich für den Vergleich zwischen den Bremskurven von ETCS L2 mit den PZB-Überwachungskurven (Abb. 4). Die ETCS-Bremskurven sind in den meisten untersuchten Fällen, bei Personen- sowie Güterzügen, restriktiver. Hervorzuheben ist hier die vorhandene Bremsankündigungskurve, die teilweise wesentlich vor dem konventionellen Signalsichtpunkt erreicht wird. Eine mögliche und anzustrebende Geschwindigkeitsanhebung schlecht bremsender (Güter-)Züge wurde dabei noch gar nicht berücksichtigt. Weitere, ausführlichere Vergleiche zwischen den Bremskurven von ESG, ETCS L2, PZB sowie LZB können [3] entnommen werden.

### Betriebliche Einschränkungen

Durch den Vergleich der Bremskurven ist erkennbar, dass sich sowohl der notwendige Bremsensatzpunkt als auch der Ort der ersten Information über eine anstehende Bremsung bei ETCS in vielen Fällen vor den bisherigen Standorten befindet. Hieraus sind verschiedene betrieblich unerwünschte Folgen ableitbar. Anhand der nachfolgenden Beispiele wird der Anpassungsbedarf gewisser Dimensionierungsregeln zeitabhängiger Streckenausrüstungen deutlich, sofern mit ETCS die bisherige Streckenleistungsfähigkeit mindestens beibehalten werden soll.

### Dimensionierung von Blocklängen

Die Prämisse für eine unbehinderte Fahrt des Zuges aus Sicht der Eisenbahnbetriebswirtschaft ist, dass der Tf spätestens beim Er-

reichen des Signalsichtpunktes (beim Fahren nach ortsfester Signalisierung; PZB, ESG) bzw. beim Erreichen der Bremsankündigung (bei Führerraumsignalisierung; LZB, ETCS L2) eine

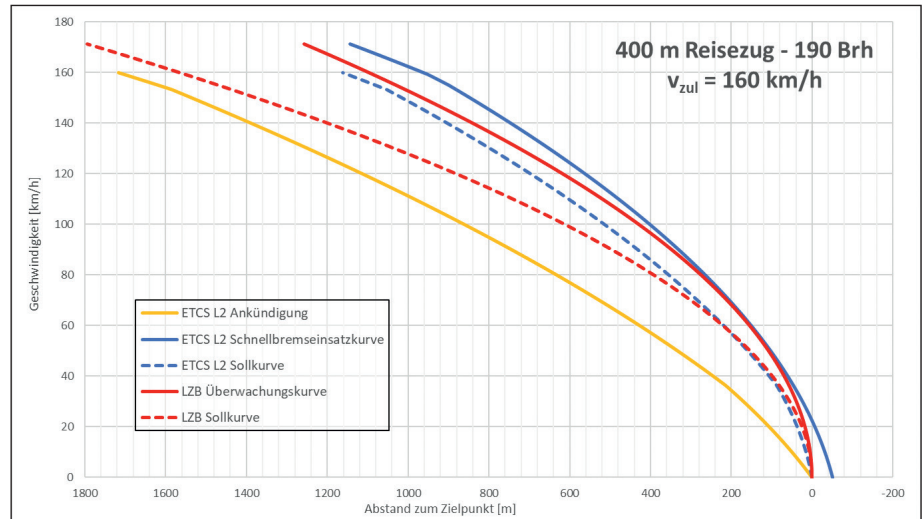


Abb. 2: Vergleich der Bremskurven von LZB und ETCS L2

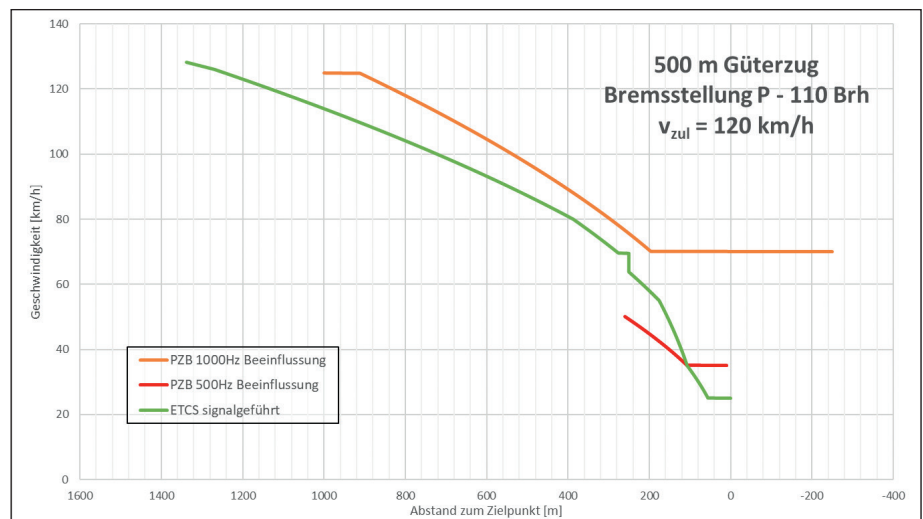


Abb. 3: Vergleich der Bremskurven von ESG und PZB

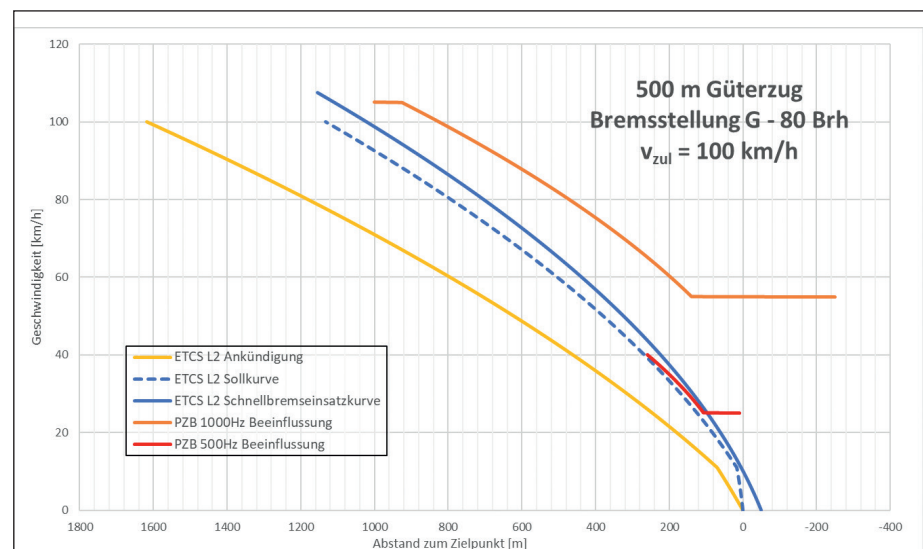


Abb. 4: Vergleich der Bremskurven von PZB und ETCS L2

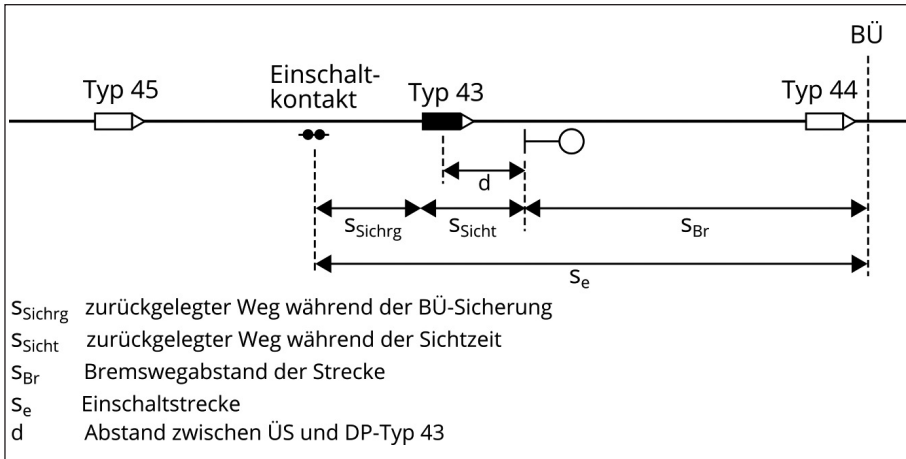


Abb. 5: ETCS L2-Planung für BÜ der Überwachungsart ÜS

Information über die Verlängerung der Fahrterlaubnis erhalten muss.

Die Bremskurvenvergleiche ergeben, dass aus fahrdynamischer Sicht keine nennenswerten Einschränkungen durch die etwas restriktivere ESG-Bremskurve zu erwarten sind. Dies ist auch zu berücksichtigen, wenn die angewendeten Blocklängen mit dem Vorsignalabstand zusammenfallen (Mehrabschnittssignalisierung). Dadurch kann bei der Umrüstung einer bestehenden Strecke von PZB zu ESG die Blockteilung beibehalten werden, ohne Einbußen bei der Streckenkapazität hinnehmen zu müssen.

Selbiges gilt für die Umrüstung von Strecken mit LZB auf ETCS L2. Da hier die LZB-Bremskurven sogar leicht restriktiver sind als die von ETCS, bleibt bei gleicher Blockteilung die Leistungsfähigkeit etwa gleich. Dies gilt auch für die optimierte Blockteilung. Die Blockteilung einer Hochleistungsausfahrt muss jedoch individuell betrachtet werden, da bei ETCS die wirkende Zugbeschleunigung in die Berechnung der Bremskurven einbezogen wird und diese dadurch flacher als bei der LZB werden können.

Hinsichtlich der Streckenleistungsfähigkeit wird es vor allem dann kritisch, wenn auf einer bestehenden PZB-Strecke ETCS L2 nachgerüstet werden soll. Da die Bremskurvenvergleiche zeigen, dass hier die Bremsankündigungskurve wesentlich früher als der konventionelle

Signalsichtpunkt erreicht wird, kann die bisherige Leistungsfähigkeit nicht beibehalten geschweige denn gesteigert werden. Eine Verkürzung der Blockabschnitte bzw. das Einrichten von Teilblöcken wäre erforderlich.

**Einschaltstrecken von Bahnübergängen**

Auch an Bahnübergängen (BÜ) kann es durch das Aufsetzen von ETCS auf eine nicht angepasste Streckenausrüstung, bei Anwendung der aktuellen ETCS-Planungsrichtlinien, zu betrieblichen Einschränkungen bzw. zum „Nichtausnutzen“ des Leistungspotenzials kommen. Die Planungsvorschrift für ESG an BÜ mit Überwachungssignal (ÜS) sieht vor, dass 1500 m vor dem BÜ immer eine Langsamfahrstelle (TSR) mit Beginn am BÜ übertragen wird. Diese wird am Ort des ÜS und somit im Bremswegabstand der Strecke vor dem BÜ zurückgenommen, sollte dieser gesichert sein und das ÜS „BÜ 1“ zeigen. Da sich die Bremskurve von ESG bei einigen Zügen bereits vor dem ÜS senken kann, würden diese trotz gesichertem BÜ eine Zwangsbremmung erhalten.

Abb. 5 zeigt die Realisierung nach aktuell gültiger Planungsvorschrift für ÜS-BÜ unter ETCS L2. Am Ort des Datenpunkttyps 43 wird mit der ETCS-Funktion „zulässiger Bremsweg“ (Paket 52) sichergestellt, dass der Zug bis zum BÜ zum Stehen kommen könnte, wobei in Deutschland die Schnellbremseinsatzkurve zugrunde gelegt wird. Die in Abb. 5 darge-

stellte Anordnung hat zur Folge, dass Züge mit schlechtem Bremsvermögen und Züge, die durch ETCS schneller als bisher fahren könnten, vor jedem BÜ auf eine geringere Geschwindigkeit heruntergebremst werden würden – unabhängig von dessen Sicherungszustand. Das Ziel einer Leistungssteigerung durch ETCS wird so klar verfehlt. Zudem steht bei ungesichertem BÜ dem Tf keine ausreichende Reaktionszeit zur Verfügung, wenn er mit der durch ETCS berechneten, zulässigen Geschwindigkeit aufgrund des „erlaubten Bremsweges“ den Datenpunkttyp 43 befährt. Züge werden so bei ungesichertem BÜ direkt in eine Zwangsbremmung geleitet.

Nachteile ergeben sich auch unter ETCS L2 bei hauptsignalüberwachtem BÜ (Hp-BÜ). Hier kommt es zwar nicht zu unerwünschten Zwangsbremmungen, jedoch wird in vielen Fällen der Hp-BÜ für einen ETCS-Zug zu spät eingeschaltet. Dieser benötigt, wie der Bremskurvenvergleich zeigt, früher die Verlängerung der Fahrterlaubnis als konventionelle Züge. Werden an der bestehenden Anlage keine Änderungen vorgenommen, müsste der ETCS-Zug zunächst unnötig anfangen zu bremsen. Fernüberwachte BÜ sind nicht von Einschränkungen betroffen.

**Abhängigkeiten zur Zuglenkung**

Etwa 45 Sekunden, bevor ein Zug unter ETCS L2 die Bremsankündigungskurve erreichen würde, sendet die ETCS-Streckenzentrale einen Anstoß über das Stellwerk an die Zuglenkung. Diese ermittelt die zum Anstoß zugehörige Zugnummer und sendet anschließend sofort einen entsprechenden Stellanstoß an das Stellwerk. Dies unterscheidet sich vom konventionellen Verfahren, bei dem nach Befahrung eines Einschaltpunktes (meist Auswertung eines Signalhaltfalls) zunächst eine zur Geschwindigkeitsklasse projizierte Anstoßverzögerungszeit abläuft, bevor der Stellanstoß an das Stellwerk ausgegeben wird. Ein Konflikt entsteht nun dadurch, dass die Zuglenkung jeweils nur die erste Einschaltung auswertet. Der später eintreffende Anstoß wird ignoriert. Bei hohen Geschwindigkeiten erfolgt der Anstoß durch ETCS in der Regel immer eher, als der konventionelle Einschaltpunkt befahren wird, was unkritisch ist. Bei Geschwindigkeiten unter 160 km/h kann es bei gut bremsenden Zügen und großen Anstoßverzögerungszeiten jedoch dazu kommen, dass zuerst der konventionelle Einschaltpunkt befahren wird. Dann läuft zunächst die volle projizierte Anstoßverzögerungszeit ab – der später eintreffende ETCS-Anstoß wird ignoriert, obwohl dieser früher eine Fahrstraßeneinstellung verlangen würde (Abb. 6). Infolgedessen erhält der ETCS-Zug zu spät die Verlängerung der Fahrterlaubnis und muss unnötigerweise mit einer Bremsung beginnen. Dies führt zu einer verminderten Streckenleistungsfähigkeit, erhöhtem Bremsverschleiß und Energiemehrbedarf zur Wiederbeschleunigung.

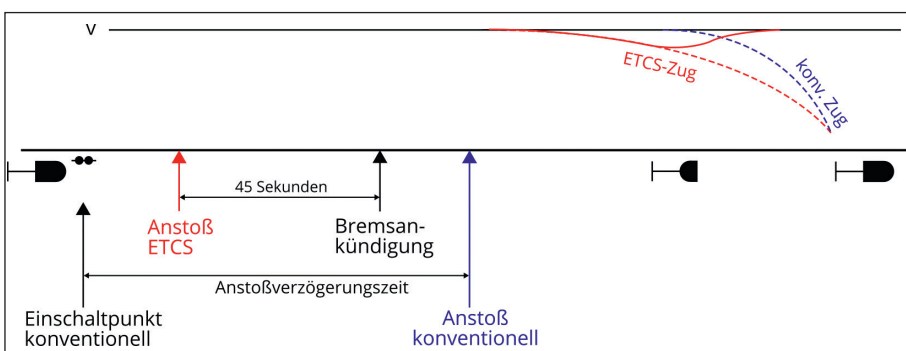


Abb. 6: Auswirkung einer langen Anstoßverzögerungszeit der Zuglenkung

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für TU Dresden / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt von DW Media Group, 2019

nigung. Bestehende Anstoßverzögerungszeiten müssen daher bei einer Nachrüstung von Strecken mit ETCS L2 individuell überprüft und gegebenenfalls mit geeigneten Mitteln reduziert werden (z.B. zugselektive Einschaltung), damit der ETCS-Anstoß in jedem Fall zuerst eintrifft.

### Zusammenfassung

Am Beispiel der Dimensionierung von Blocklängen sowie der Einschaltstrecken von Bahnübergängen und Zuglenkanlagen konnte gezeigt werden, dass in bestimmten Fällen mit betrieblichen Einschränkungen aufgrund der eher restriktiven ETCS-Bremskurven zu rechnen ist. Diese treten dann auf, wenn mit der Ausrüstung einer Strecke mit ETCS keine Anpassung der bestehenden Infrastrukturkomponenten einhergeht. Von den Leistungseinbußen betroffen sind insbesondere schlecht bremsende Güterzüge. Um dennoch das Ziel zu erreichen, mithilfe von ETCS die Kapazität der Eisenbahninfrastruktur signifikant zu erhöhen, sind Änderungen an den Planungsvorschriften sowie Verbesserungen bei den Bremskurven selbst zwingend erforderlich. Zudem ist aufgrund des vielfältigen und individuellen Bremsverhaltens verschiedener Züge keine allgemeingültige Aussage über das Verhalten an zeitabhängigen Infrastrukturkomponenten möglich. Bei optimierten Anwendungen und hohen Leistungsanforderungen ist daher immer eine detaillierte Betrachtung der verkehrenden Züge zu empfehlen. ■

### QUELLEN

[1] McKinsey&Company: Machbarkeitsstudie zum Rollout von ETCS/DSTW – Zusammenfassung der Ergebnisse. Dezember 2018. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/machbarkeitsstudie-digitalisierung-schiene.pdf> aufgerufen am 29.04.2019, 19:30 Uhr

[2] Gröpler, O.: Bremswege und Bremswegesicherheit bei ETCS. In: ZEVrail, Heft 1-2/2008, S. 31–39

[3] Fehlauer, L.: Auswirkungen flacher ETCS Bremskurven auf zeitabhängige Streckenausrüstungen. Diplomarbeit, TU Dresden Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, 2018. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-338010> aufgerufen am 02.05.2019, 20:36 Uhr



#### Dipl.-Ing. Lars Fehlauer

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



#### Dipl.-Ing. Richard Kahl

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

## Fachtagung Cyber Security

05. – 06. September 2019

Ort: **pentahotel Leipzig**  
**Großer Brockhaus 3, 04103 Leipzig**

Die steigende Digitalisierung bietet viele Chancen und reichlich neue Herausforderungen für die Cyber Security in sicherheitskritischen Infrastrukturen. Fahrzeuge sowie Leit- und Sicherungstechnik sind gleichermaßen vor Manipulationen zu schützen. Um sicherheits- und betriebsrelevante Funktionen effektiv aufrecht zu erhalten, müssen Hard- und Software auf dem neuesten Stand der Technik – im besten Fall immer einen Schritt voraus – sein.

Experten aus Industrie und Wissenschaft arbeiten stetig an neuen Abwehrtechniken und Gegenmaßnahmen, um kritischen Infrastrukturen eine bessere Resilienz gegen Cyberattacken zu geben.

### Programm:

#### 05. September 2019

- Begrüßung & Eröffnung
- Schutz kritischer Infrastrukturen - Aufgabe von Staat und Wirtschaft
- Security 4 Safety: Digitalisierung von kritischen Eisenbahn-Infrastrukturen
- Security Lifecycle – Schutz kritischer Infrastrukturen als ganzheitlicher Ansatz
- Kaffeepause
- Veränderungen der Sicherheitsanforderungen auf Komponenten im Eisenbahnwesen (Arbeitstitel)
- Resilienz und Normen
- Podiumsdiskussion
- Interdisziplinärer Branchendialog

#### 06. September 2019

- Begriffs- und Normen-Wirr-Warr der Sicherheit (Arbeitstitel),
- Moderne Videoüberwachungssysteme in Bahnhöfen und Cyber-Security
- Kaffeepause
- IT-Sicherheit bei „Digitaler Instandhaltung“ (Arbeitstitel)
- IT-Sicherheit bei der Bahnenergieversorgung
- Zusammenfassung & Schlusswort

Mitarbeiter der Deutschen Bahn AG können sich direkt bei DB Training unter der Produktnummer Hk5080 anmelden.

Weitere Informationen zu allen Veranstaltungen und die Anmeldeunterlagen finden Sie unter:

> [www.vdei-akademie.de](http://www.vdei-akademie.de)