

# ETCS-Bremskurvenkonflikte an Landesgrenzen

## Simulation und Diskussion des Wechsels der Nationalen Werte

ROBERT SCHWENZER | LARS BRUNE

**Bei der Grenzüberfahrt unter ETCS-Führung wechseln die Nationalen Werte, die Einfluss auf die Berechnung der ETCS-Brem- und Überwachungskurven haben. An Landesgrenzen kann daraus eine kritische Änderung der ETCS-Bremskurvenschar folgen. Besondere Beachtung verdienen dabei mögliche ETCS-Bremskurvensprünge. Eine Diplomarbeit [1] an der Professur für Verkehrssicherungstechnik der TU Dresden liefert hierzu neue Erkenntnisse, sie befasst sich mit der Entstehung und Vermeidung von ETCS-Bremskurvensprüngen an Landesgrenzen.**

Das europäische Zugbeeinflussungssystem European Train Control System (ETCS) befindet sich bereits in einigen europäischen Ländern im Einsatz. Trotzdem wird das System noch weiterentwickelt. Die 22 nationalen Zugbeeinflussungssysteme in Europa erfordern eigenständige Streckenausrüstungen, Fahrzeuggeräte und Schulungen für die Triebfahrzeugführer (Tf). Bei der technischen Standardisierung soll ETCS als einheitliches System Abhilfe schaffen, um den grenzüberschreitenden Schienenverkehr attraktiver zu gestalten. Der im letzten Jahr veröffentlichte siebte Monitoring-Bericht [2] über die Entwicklung des Eisenbahnmarktes, herausgegeben von der Europäischen Kommission,

weist ein weiteres Mal mit Nachdruck auf die Relevanz einer Verbesserung der innereuropäischen Grenzübergänge im Eisenbahnverkehr hin. ETCS soll den grenzüberschreitenden Eisenbahnverkehr vereinfachen und ist das Zugbeeinflussungssystem für den einheitlichen europäischen Eisenbahnraum. Aber auch, wenn ETCS als einheitliches System angesehen wird, gibt es Unterschiede, die zu einer Individualisierung führen. Denn es ist vorgesehen, dass einige Parameter vom Eisenbahninfrastrukturbetreiber angepasst bzw. festgelegt werden können – die sogenannten Nationalen Werte, engl. National Values (NV). Diese 35 Variablen sind in der Baseline 3 im Paket 3 definiert; 16 der Variablen haben Einfluss auf die Berechnung der Bremskurven im Regelbetrieb [7]. Dabei handelt es sich nicht um den physikalischen Bremsweg eines Fahrzeuges, sondern um das daran angelegte Brems- und Überwachungskurvenmodell des Zugbeeinflussungssystems ETCS. Es kommt aufgrund unterschiedlicher Baselines, Systemversionen und Levels zu Funktionsdifferenzen. Gerade an den europäischen Grenzbetriebsstrecken, die mit ETCS interoperabel gestaltet werden sollen, entstehen neue Schnittstellen, die aktuell noch enormen Planungsaufwand erfordern [4]. Deutschland hat als geographisch zentrales und flächenmäßig relativ großes europäisches Land die meisten direkten Nachbarländer sowie mit Abstand die meisten vorgesehenen ETCS-Grenzübergänge aller

untersuchten Länder, wie in [3] dargestellt. Standardisierte Lösungen für Grenzbetriebsstrecken sind aufgrund der landesspezifischen Ausprägungen von ETCS für Deutschland aktuell nicht anwendbar. Das macht intensive Planungen mit unterschiedlichen Nachbarländern und ebenso unterschiedlichen Regelwerken und Vorschriften notwendig. Als Beispiel kann hier die ETCS-Planung des deutsch-belgischen Grenzübergangs Aachen Süd – Hammerbrücke angeführt werden [4]. Die Untersuchung basiert unterdessen auf einem generischen Ansatz mit ETCS-Level-2-Ausrüstung.

### Problematik

Das erste Signal einer angrenzenden ETCS-Zentrale ist als RBC-Grenzsignal Radio Block Centre (RBC) definiert. Die Wirkung der neuen NV erfolgt am RBC-Grenzsignal mittels Paket 3, das dort über GSM-R sowie per Balisengruppe übertragen wird. Nach Empfang und Verarbeitung werden die ETCS-Bremskurven fortlaufend mit den neuen NV berechnet, auch wenn sich der Zug bereits im Target Speed Monitoring (TSM) befindet. Das ist der Fall, wenn sich der Zug in der Überwachung einer geringeren Geschwindigkeit befindet. Dementsprechend sind besonders die Zielbremsungen auf das darauffolgende Hauptsignal hinsichtlich der Bremskurvensprünge an Landesgrenzen für die Betrachtung relevant, wenn das Signal Halt oder eine Geschwindigkeitseinschränkung zeigt.

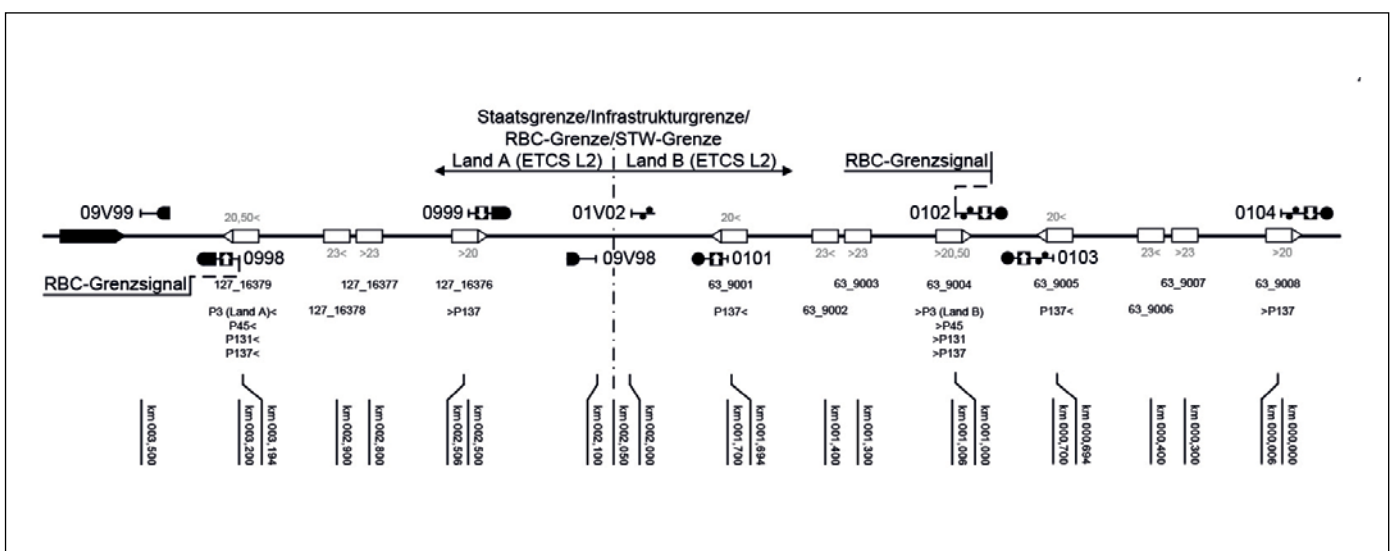


Abb. 1: ETCS-Streckenband der Musterstrecke

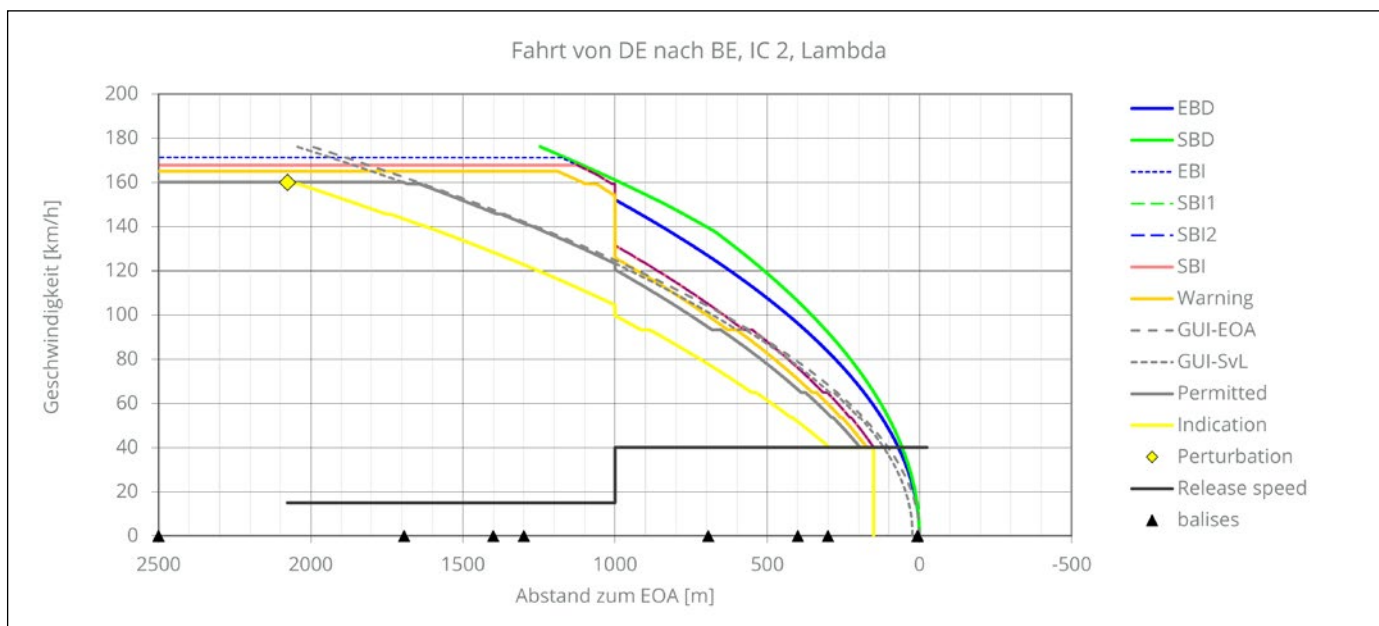


Abb. 2: ETCS-Bremskurvenschar mit Bremskurvensprüngen bei der Fahrt von Deutschland nach Belgien

### Musterstrecke als Grundlage der Simulation

Für die Berechnung war es notwendig, eine Musterstrecke (Abb. 1) zu erstellen, die generisch verwendbar ist. Diese generische Strecke soll Grundanforderungen erfüllen, ohne zu weit ins Detail und auf nationale Eigenschaften einzugehen. Vielmehr ist das Ziel, weitgehend realistische Signal- und Balisenstandorte zur Rücksetzung des Ortungsfehlers zu projektieren. Die Allgemeingültigkeit erlaubt es, dass alle Simulationsberechnungen auf der Musterstrecke in gleicher Befahrungsrichtung (Land A nach Land B) durchgeführt werden, da die Werte der Variablen Land A und Land B flexibel ersetzt sowie getauscht werden können. Als Signalabstand ist der Regelbremswegabstand von 1000 m umgesetzt.

Abb. 2 zeigt eine simulierte Bremskurvenschar eines Reisezuges des Typs Intercity 2 (IC 2) von Deutschland nach Belgien auf der Musterstrecke. Von links kommend, erreicht der Zug das RBC-Grenzsignal mit den deutschen NV. An dieser Stelle (1000 m vor dem folgenden Hauptsignal 0104) werden mittels Paket 3 die belgischen NV übertragen und innerhalb einer Sekunde für die ETCS-Bremskurvenberechnung verwendet [5].

### Arten von Bremskurvensprüngen

Die Simulation mit dem Braking Curves Simulation Tool v.4.2 der European Railway Agency (ERA) [6] für diverse Fahrzeug- und Grenzkombinationen zeigt allgemein zwei unterschiedliche Arten von Bremskurvensprüngen, die bei Empfang und Wirkung der neuen NV durch das Paket 3 auftreten können. Bei der Fahrt von Land A nach Land B sind sowohl Bremskurvensprünge nach oben wie auch nach unten möglich. Teilweise treten in einer ETCS-Bremskurvenschar Sprünge beider Arten auf.

Ein Bremskurvensprung nach oben bedeutet, dass die Bremskurve von Land A restriktiver ist als die von Land B. Mitunter hat der Tf dadurch in Land A bereits eine Beeinflussung durch ETCS erhalten, die bei der Überfahrt in Land B nichtig wird. In diesem Fall ist von einer Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit zu sprechen. Für die Zielbremsung an das dem RBC-Grenzsignal folgende Hauptsignal (Signal 0104 der Musterstrecke) sind für die Berechnung der Bremskurve restriktivere Werte verwendet worden, als für den Infrastrukturbetreiber von Land B erforderlich gewesen wären.

Andererseits kommt es zuweilen auch zu Bremskurvensprüngen nach unten, wie in Abb. 1 zu sehen. Die Fahrt verläuft also im Land A mit einer weniger restriktiven Bremskurve als im Land B. Zwar bremst der Zug identisch, durch veränderte Sicherheitsanforderungen werden die Bremskurven aber flacher. Fast unmittelbar nach dem Lesen des Paketes 3 ist ein teilweise drastischer negativer Bremskurvensprung zu verzeichnen. Die von der Bremskurve zugelassene Geschwindigkeit hat sich von einem auf den anderen Moment abgesenkt. Das heißt, das Fahrzeug fährt im Land A beispielsweise noch unter der Sollbremskurve (P) und überschreitet bei der Grenzüberfahrt zu Land B plötzlich und ohne weitere Vorwarnung die Schnellbrems-Einsatzkurve (EBI). Eine sofortige Zwangs-Schnellbremsung würde eingeleitet.

### Sicherheitsrelevanz

Bei der Analyse der berechneten ETCS-Bremskurven an Landesgrenzen liegt der Fokus auf den Bremskurvensprüngen, die Sicherheitsrelevanz haben. Die sicherheitsrelevanten ETCS-Bremskurven sind die EBI sowie die Schnellbrems-Ablaufkurve (EBD). Für die Berechnung

beider Kurven kommen die sicherheitsrelevanten Parameter zum Einsatz. Die EBI bzw. EBD sollen als letzte Instanz eine sichere Bremsung des Zuges garantieren. Jedes Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) beeinflusst mittels der NV die Bremskurvenberechnung so, dass die Anforderungen dem individuellen Sicherheitsniveau, Betriebsvorschriften und anderen Annahmen im Land entsprechen. Oftmals werden damit die tradierten Class-B-Systeme nachgebildet. Bremskurvensprünge nach unten sind aus Sicht der EIU somit inakzeptabel, da sie für die Infrastrukturbetreiber ein Sicherheitsrisiko bedeuten.

### Untersuchungsergebnisse

Es wurden sechs verschiedene Musterzüge betrachtet, fünf davon mit dem Lambda-Modell. Der 12-teilige ICE 4 ist der einzige Zug, der mit dem Gamma-Modell berechnet werden konnte, da nur dieses Modell vorlag. Ganz im Sinne der Sicherheitsrelevanz bezieht sich Abb. 3 auf die EBI der zehn untersuchten Länder, für die der Parametersatz der NV verfügbar war. Orange markierte Konstellationen sind nicht eindeutig Bremskurvensprüngen nach unten oder oben zuzuordnen, da es je nach Musterzug unterschiedliche Auswirkungen gibt.

Die EBI der untersuchten Länder sind ausnahmslos verschieden. Es kommt dadurch also in jeden Fall zu Bremskurvensprüngen. Sicherheitskritische Bremskurvensprünge an deutschen Grenzübergängen zeigen sich in punkto Befahrungsrichtung meist bei der Fahrt von Deutschland ins Nachbarland. Mit Blick auf Deutschland waren für die untersuchten Züge nur bei der Fahrt in Richtung Niederlande immer positive Bremskurvensprünge der EBI zu beobachten. Grund dafür ist, dass die niederländischen EBI steiler sind als die ohnehin schon relativ stark ansteigen-

von/nach	BE	CH	DE	DK	FR	IT	LU	NL	NO	UK
BE	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
CH	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
DE	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
DK	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
FR	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
IT	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
LU	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
NL	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
NO	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
UK	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

### Legende

- nicht sicherheitskritisch
- teilw. sicherheitskritisch
- sicherheitskritisch
- ohne gem. Grenze

Abb. 3: Matrix kritischer Bremskurvensprünge

den deutschen EBI. Für die Simulation einer Fahrt von Deutschland in die Schweiz sowie nach Frankreich zeigten sich Unterschiede in der Sprungrichtung je nach Musterzug, wobei der Großteil der simulierten Züge in der genannten Richtung dennoch sicherheitskritische Bremskurvensprünge offenbarte.

Auffällig ist, dass die Vollbrems-Ablaufkurve (SBD), anders als alle anderen ETCS-Bremskurven, am km 1000 nie einen Sprung aufweist, da für die Berechnung der SBD keinerlei NV Einfluss haben.

### Konstellationen mit hohem Konfliktpotenzial

Besonders tückisch sind Grenzübergangsfahrten, bei denen die Sollbremskurve (P) des Landes A die EBI des Landes B tangiert bzw. schneidet. Hält sich der Tf aus Land A kommend genau an die Sollbremskurve (P), erwartet ihn am RBC-Grenzsignal eine Zwangs-Schnellbremsung ohne vorherige Ankündigung oder Warnung. Bei der Simulation der ausgewählten Varianten ist dieses Phänomen bei den folgenden Grenzübergangsfahrten zu beobachten:

- Frankreich nach Italien (simuliert mit typisch bremsendem Güterzug)
- Italien nach Frankreich (simuliert mit IC 2)
- Frankreich nach Luxemburg (simuliert mit typisch bremsendem Güterzug)
- Niederlande nach Belgien (simuliert mit IC 2)
- Schweiz nach Italien (simuliert mit ICE 4).

Insgesamt fallen die sicherheitskritischen Bremskurvensprünge der EBI unterschiedlich stark aus. Die Spannweite in den simulierten Ergebnissen reicht von Abweichungen weniger km/h bis zu Sprüngen von 34 km/h beim IC 2 mit einer Reisegeschwindigkeit von 160 km/h.

Die eingangs genannten auftretenden Bremskurvensprünge nach unten und oben

innerhalb einer einzigen Bremskurvenschar sind zum Beispiel bei der simulierten Fahrt von Deutschland in die Schweiz zu beobachten. Hier weisen die Ankündigungskurve (I) und die Sollbremskurve (P) einen positiven Sprung nach oben auf, in Deutschland sind diese Kurven also restriktiver als in der Schweiz. Ursache dafür ist die Nutzung der Führungskurve (GUI) in Deutschland durch die Variable Q\_NVGUIPERM. Anders sieht es bei nachfolgenden Kurven aus. Warnkurve (W), Vollbrems-Einsatzkurve (SBI), SBI2, EBI und EBD fallen in der Schweiz restriktiver aus als in Deutschland. Die Folgen sind Sprünge nach unten. Die SBD ist, wie auch die SBI1, in beiden Ländern identisch. Im Regelfall wird bei der Grenzübergangsfahrt die deutsche Sollbremskurve (P) nicht überschritten, mit Wirkung der schweizerischen NV folgt sogar ein Sprung dieser Kurve nach oben. Der Regelfall scheint also zunächst unproblematisch, zumindest für die simulierten Fälle. Allerdings wird auch hier die Sicherheitsphilosophie eines Landes – in diesem Fall die der Schweiz – verletzt. Denn wird die EBI tatsächlich durch einen Sprung plötzlich um mehrere km/h überschritten, besteht ein Risiko, das Fahrzeug könnte nicht vor der Supervised Location (SvL) zum Halten gebracht werden.

### Einfluss der Baselines

Aufgrund der laufenden Fortschreibung der ETCS-Spezifikationen sind über die Jahre verschiedene Versionen mit unterschiedlichen Systemdefinitionen entstanden. Levelübergreifend werden die Versionen in System Requirement Specifications (SRS) gegliedert. Größere Änderungen der SRS werden dann mit ETCS Baselines in der Funktion von Hauptversionen beschrieben. Der genaue Einfluss der Baseline 2 auf die Berechnung der ETCS-Bremskurven war aufgrund fehlender

Berechnungsnormen nicht zu ermitteln. Es sind Unterschiede zwischen den Baselines 2 (SRS 2.3.0d), 3 (SRS 3.4.0) und 3 (SRS 3.6.0) vorhanden. Lediglich die Differenzen zwischen der SRS 3.4.0 und SRS 3.6.0 konnten tiefergehend untersucht werden. Dabei zeigten sich nur Abweichungen bei der Pre-Indication Location, Perturbation Location sowie der Ankündigungskurve (I) und somit keine sicherheitskritischen Auswirkungen.

### NV als Ursache der Konflikte

Eines der Ergebnisse der Simulation der ETCS-Bremskurven für zehn Länder ist, dass die NV sowie der Abstand zwischen dem End Of Authority (EOA) und SvL erheblichen Einfluss haben. Das Konzept der NV erlaubt es ausgewählte ETCS-Funktionen zu steuern, anzupassen, zu erlauben bzw. zu verbieten. Aufgrund der historischen, national unterschiedlichen Entwicklung der Betriebsregelwerke und Sicherheitsphilosophien gab es dazu die Notwendigkeit.

### Bremsmodelle arbeiten mit unterschiedlichen NV

Die Berechnung der ETCS-Bremskurven ist ab Baseline 3 standardisiert und kann mit zwei unterschiedlichen Modellen erfolgen. Um das Bremsvermögen eines Zuges für ETCS abzubilden, wird meist das Lambda-Modell verwendet. Dieses beruft sich dabei auf die mit Formelzeichen  $\lambda$  abgekürzten Bremshundertstel (Brh) eines Zuges. Mit dem Modell sind beliebige Fahrzeugkombinationen in ETCS abbildbar. Während das Lambda-Modell die Eingangsparameter für jede Zugkonstellation anhand der eingestellten Zugdaten neu konvertiert, verfolgt das Gamma-Modell einen anderen Ansatz. Es enthält programmierte Parametersätze, die der Fahrzeughersteller direkt für die entsprechenden Fahr-

Variable	Beschreibung	Standardwert	Bremsmodell	
			$\lambda$	$\gamma$
V_NVREL	Release Speed (Freigabegeschwindigkeit)	40 km/h	X	X
Q_NVSBTSMPerm	Erlaubnis zur Nutzung der Vollbremsung für TSM-Zielbremsungen	Ja	X	X
Q_NVGUIPERM	Erlaubnis zur Nutzung der Führungskurve (GUI)	Nein	X	X
Q_NVINHSMICPERM	Erlaubnis, die Kompensation der Ungenauigkeit der Geschwindigkeitsmessung zu sperren	Nein	X	X
M_NVAADH	Korrekturfaktor für den Rad-Schiene-Kraftschluss bei der Schnellbremsverzögerung	0	-	X
M_NVEBCL	Konfidenzniveau für die sichere Verzögerung der Schnellbremsung auf trockener Schiene	9	-	X
L_NVKRINT	Zuglängenintervalle zur Definition des integrierten Korrekturfaktors $Kr_{int}$	N/A	X	-
M_NVKRINT	Zuglängenabhängiger Korrekturfaktor $Kr_{int}$	0,9	X	-
V_NVKVINT	Geschwindigkeitsintervalle zur Definition des integrierten Korrekturfaktors $Kv_{int}$	N/A	X	-
M_NVKVINT	Geschwindigkeitsabhängiger Korrekturfaktor $Kv_{int}$	0,7	X	-
M_NVKTINT	Integrierter Korrekturfaktor $Kt_{int}$ für die Bremsaufbauzeit	1,1	X	-
A_NVMAXREDADH1	Maximaler Verzögerungswert bei reduzierten Kraftschlussbedingungen (gültig für Reisezüge in Bremsstellung P mit speziellen / zusätzlichen kraftschlussunabhängigen Bremsen)	1,0 m/s <sup>2</sup>	X	X
A_NVMAXREDADH2	Maximaler Verzögerungswert bei reduzierten Kraftschlussbedingungen (gültig für Reisezüge in Bremsstellung P ohne speziellen / zusätzlichen kraftschlussunabhängigen Bremsen)	0,7 m/s <sup>2</sup>	X	X
A_NVMAXREDADH3	Maximaler Verzögerungswert bei reduzierten Kraftschlussbedingungen (gültig für Güterzüge in Bremsstellung P oder G)	0,7 m/s <sup>2</sup>	X	X
A_NVP12	Untere Verzögerungsgrenze zur Bestimmung des zu verwendenden $Kv_{int}$ -Wertesatzes (nur für Reisezüge relevant)	N/A	X	-
A_NVP23	Obere Verzögerungsgrenze zur Bestimmung des zu verwendenden $Kv_{int}$ -Wertesatzes (nur für Reisezüge relevant)	N/A	X	-

Tab. 1: Relevante NV für die ETCS-Bremskurvenberechnung

zeugkombinationen erstellt hat. Ein Teil der Parameter wurde dabei auch durch Bremsversuche bestimmt.

Nicht alle NV haben Auswirkungen auf die Berechnung der ETCS-Bremskurven bzw. nur für ein bestimmtes Bremsmodell. Alle NV, die für die Berechnung berücksichtigt wurden, sind in Tab. 1 erläutert.

### Integrierte Korrekturfaktoren im Lambda-Modell

Die geschwindigkeits- und zuglängenabhängigen integrierten Korrekturfaktoren  $Kv_{int}$  und  $Kr_{int}$  werden für die Berechnung der sicheren Schnellbremsverzögerung  $A_{brake\_safe}$  im Lambda-Modell benötigt. Beide Korrekturfaktoren sind dafür mit der geschwindigkeitsabhängigen Schnellbremsverzögerung  $A_{brake\_emergency}$  zu multiplizieren [7]. Je kleiner die Korrekturfaktoren gewählt werden, desto kleiner ist letztendlich  $A_{brake\_safe}$ .  $Kt_{int}$  wirkt sich als integrierter Korrekturfaktor auf die sichere Bremsaufbauzeit  $T_{be}$  aus. Dazu wird der

Faktor direkt mit der Schnellbremsaufbauzeit  $T_{brake\_emergency}$  multipliziert [7].

### M\_NVEBCL und M\_NVAADH im Gamma-Modell

Den größten Einfluss auf die EBI hat bei der Simulation für den ICE 4 (Abb. 2) der NV M\_NVAADH.  $Kwet_{rst}$  repräsentiert den Verzögerungsverlust in Bezug auf die Schnellbremsung auf trockener Schiene, wenn die Schnellbremsung auf nasser Schiene ausgelöst wird. Je größer der Wert für M\_NVAADH, desto geringer der Einfluss von  $Kwet_{rst}$  bei der Berechnung für die sichere Schnellbremsverzögerung  $A_{brake\_safe}$  und desto besser die Leistungsfähigkeit. Diese Wirkung zeigt sich klar beim Blick auf Tab. 2.

Das Konfidenzniveau M\_NVEBCL wirkt sich auch auf die Schnellbremskurven aus. Je höher der Wert für M\_NVEBCL desto kleiner die tolerierte Ausfallwahrscheinlichkeit und damit größer die geforderte Ausfallsicherheit. Dementsprechend steigen mit höherer garantierter Sicherheit auch die Sicherheitsmargen bei der

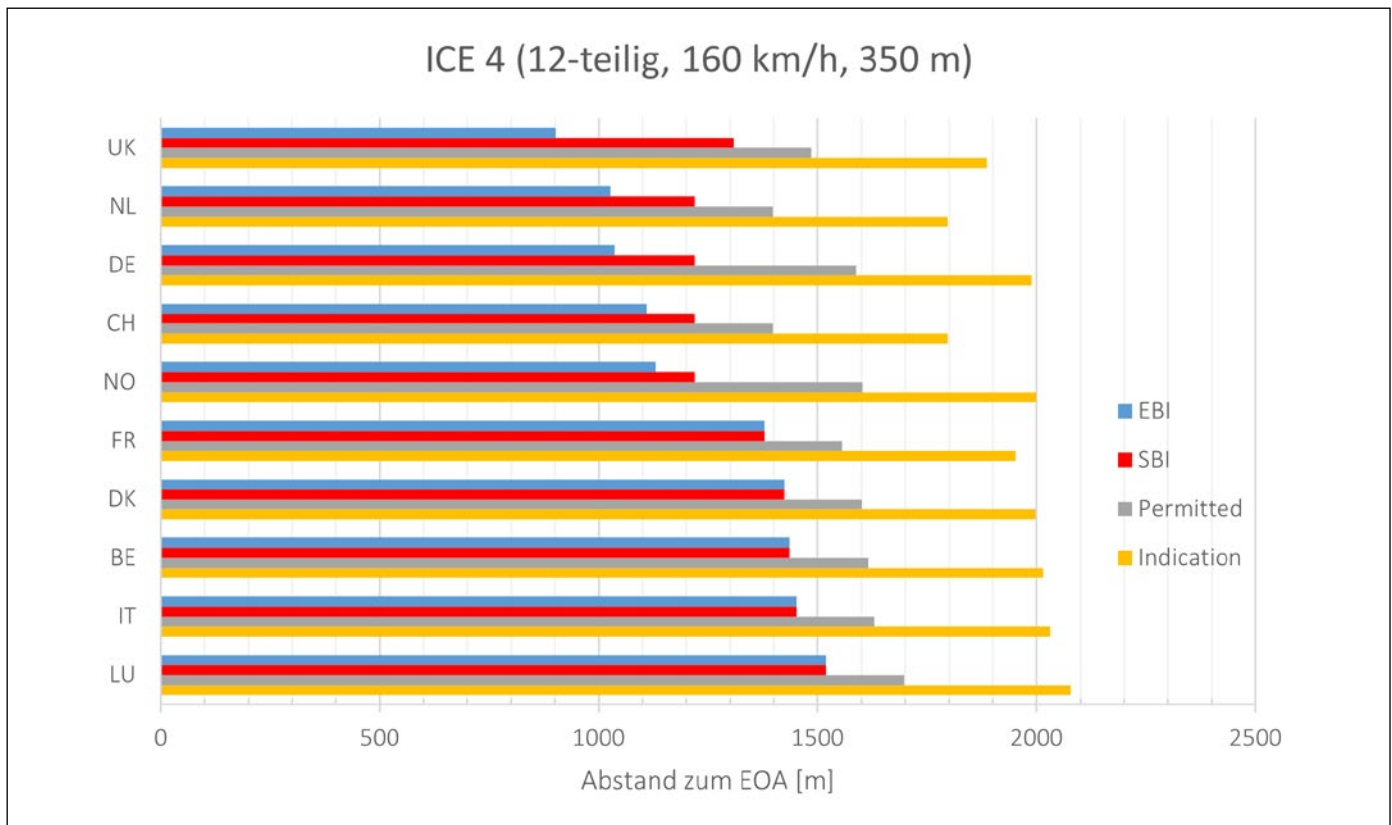
Berechnung. So liegt beispielsweise der Unterschied zwischen den französischen und den luxemburgischen Bremskurven allein in den verschiedenen Werten von M\_NVEBCL begründet.

### Lösungsmöglichkeiten

Aktuell fehlen Mechanismen in der ETCS-Funktionalität zur Eindämmung sicherheitskritischer Auswirkungen von ETCS-Bremskurvensprüngen. Kurzfristig ist es geboten, regulatorische Maßnahmen, wie ständige Langsamfahrstellen oder betriebliche Anordnungen an Tf, zu ergreifen. Mittelfristig könnten die nationalen Richtlinienautoren einen Mindestabstand zwischen RBC-Grenzsignal und Folgesignal in die ETCS-Planungsregelwerke aufnehmen. Aus den Simulationsergebnissen ist hier ein Wert von 1755 m notwendig, um zumindest die kritischen Sprünge zu eliminieren. Dazu sollten aber weitere Randbedingungen, wie die Neigung oder die Paketverarbeitungszeit, berücksichtigt werden. Grundsätzlich ist es eine gute Lösungsmöglichkeit, die auf lange Sicht jedoch mit der

Land	UK	NL	DE	CH	NO	FR	DK	BE	IT	LU
M_NVEBCL	2	4	7	5	8	6	9	7	9	9
M_NVAADH	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
D_EOASVL [m]	120	0	70	0	0	0	80	0	50	0

Tab. 2: Vergleich der Werte M\_NVEBCL, M\_NVAADH und D\_EOASVL



**Abb. 4:** Bremskurvenvergleich ICE 4 (sortiert nach EBI)

fehlenden Möglichkeit einer Blockverdichtung für die Streckenleistungsfähigkeit Einschränkungen bedeuten kann. Langfristig könnte über eine Funktionserweiterung auf Ebene der ETCS-Entwicklung Abhilfe geschaffen werden, indem die am RBC-Grenzsinal empfangenen NV zwischengespeichert werden, solange sich das Fahrzeug nicht im Ceiling Speed Monitoring (CSM) befindet. Die Beseitigung der Bremskurvensprünge bedeutet in dem Fall in erster Linie eine Verbesserung für die Tf und die Streckenleistungsfähigkeit. Das Problem der unterschiedlichen Sicherheitsniveaus wird damit direkt an das Folgesignal verlagert. Sicherheitsnachweise für diese begrenzte Anzahl an Signalen können hier Abhilfe schaffen.

#### Fazit und Ausblick

Während Bremskurvensprünge nach oben nur einen leistungsmindernden Charakter haben, sind Bremskurvensprünge der EBI nach unten als sicherheitskritisch anzusehen. Die nationalen Sicherheitsphilosophien gelten als integer und sind von den Eisenbahninfrastrukturbetreibern an das Sicherheitsniveau des Betriebs auf der Infrastruktur angepasst. Bei den simulierten EBI-Sprüngen von bis zu 34 km/h ist die Sorge vor sicherheitskritischen Auswirkungen bei der Grenzüberfahrt nachvollziehbar und aus zuvor genannten Gründen als sicherheitskritisch zu bewerten. Nichtsdestotrotz gelten die physikalischen Gesetze grenzüberschreitend. Dementsprechend scheint es angebracht, die bislang national geregelten Korrek-

turfaktoren zu vereinheitlichen. Dazu wären zentral angeordnete intensive Forschungen auf dem Gebiet der Fahrdynamik und Risikobetrachtung notwendig. Ein langfristiges Ziel kann es also sein, die bremskurvenrelevanten NV abzuschaffen und durch europaweit anerkannte einheitliche Werte zu ersetzen. ■

#### QUELLEN

- [1] Schwenzer, R.: Auswirkungen unterschiedlicher ETCS-Bremskurven an Landesgrenzen, Diplomarbeit, TU Dresden, online verfügbar unter <https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-760975>, zuletzt geprüft am 22.02.2022, 2021
- [2] Europäische Kommission: Report from the Commission to the European Parliament and the Council. Seventh monitoring report on the development of the rail market under Article 15(4) of Directive 2012/34/EU of the European Parliament and of the Council, Brüssel, 2021, online verfügbar unter [https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/market/rail-market-monitoring-rmms\\_en](https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/market/rail-market-monitoring-rmms_en), zuletzt geprüft am 22.02.2022
- [3] Schwenzer, R.: Map-Overview of relevant ETCS border crossings, 2021, online verfügbar unter [https://umap.openstreetmap.de/de/map/overview-of-relevant-etsc-border-crossings\\_7500](https://umap.openstreetmap.de/de/map/overview-of-relevant-etsc-border-crossings_7500), zuletzt aktualisiert am 01.03.2022, zuletzt geprüft am 01.03.2022
- [4] Brune, L.; Kahmert, P.; Kalkreiber, J.; Lens, B.: ETCS an Landesgrenzen: Interoperabilität und Ausrüstungsvarianten, SIGNAL+DRAHT (113), 7+8/2021, S. 23–35, online verfügbar unter [https://fahrweg.dbnetze.com/resource/blob/6355844/b17da390c35216b9c6fc8728d0a5be5a/ETCS-an-Landesgrenzen-Brune\\_Kahmert\\_Kalkreiber\\_Lens--data.pdf](https://fahrweg.dbnetze.com/resource/blob/6355844/b17da390c35216b9c6fc8728d0a5be5a/ETCS-an-Landesgrenzen-Brune_Kahmert_Kalkreiber_Lens--data.pdf), zuletzt geprüft am 27.02.2022
- [5] Union Industry of Signalling (Hrsg.): ERTMS/ETCS: Performance Requirements for Interoperability. SUBSET-041. Version 3.2.0, 2015, online verfügbar unter [https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-3-etsc-b3-r2-gsm-r-b1\\_en](https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-3-etsc-b3-r2-gsm-r-b1_en), zuletzt geprüft am 01.03.2022
- [6] European Railway Agency (Hrsg.): Braking Curves Simulation Tool v.4.2, online verfügbar unter [https://www.era.europa.eu/activities/european-rail-traffic-management-system-ertms\\_en](https://www.era.europa.eu/activities/european-rail-traffic-management-system-ertms_en), zuletzt geprüft am 01.03.2022
- [7] European Railway Agency (Hrsg.): ERTMS/ETCS: System Requirements Specification. SUBSET-026. Version 3.6.0, 2016, online verfügbar unter [https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-3-etsc-b3-r2-gsm-r-b1\\_en](https://www.era.europa.eu/content/set-specifications-3-etsc-b3-r2-gsm-r-b1_en), zuletzt geprüft am 01.03.2022



#### Dipl.-Ing. Robert Schwenzer

Absolvent Verkehrswissenschaften  
TU Dresden  
Triebfahrzeugführer  
DB Fernverkehr AG, Leipzig  
robert.schwenzer@deutschebahn.com



#### M. Sc. Lars Brune

Dozent Duale Hochschule  
Baden-Württemberg  
Experte ETCS  
Systemqualifizierung und  
Entwicklungsprojekte ETCS  
DB Netz AG, Köln  
lars.brune@deutschebahn.com