

Modellierung von Guidance Curves für den Digitalen Knoten Stuttgart

Für sechs Triebzug-Familien wurden ETCS-Bremsmodelle geschaffen, die nicht nur sicher und kapazitätsschonend, sondern auch für den Triebfahrzeugführer verlässlich und komfortabel fahrbar sein sollen. Dabei wurden wesentliche Erkenntnisse gewonnen und offene Fragen und Potenziale erkannt.



Motivation

Die Modellierung von Bremskurven in anzeigeführten Zugbeeinflussungssystemen bewegt sich seit jeher in einem Spannungsfeld: Auf der einen Seite müssen Bremsungen rechtzeitig eingeleitet werden, um mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ein Anhalten vor einem Gefahrenpunkt sicherzustellen. Auf der anderen Seite sollten jedoch auch zu frühe Bremsungen, die zu Kapazitätseinbußen führen können, vermieden werden. Gleichzeitig sollten Bremskurven aber auch für Triebfahrzeugführer (Tf) gut fahrbar sein: Notwendige Bremsungen sollten rechtzeitig angekündigt werden, sodass die anschließende Bremsung entlang der dem Tf angezeigten Bremskurve – je nach Fahrzeug und dessen Charakteristik – mit etwa 80 bis 90 Prozent der zur Verfügung stehenden Vollbremsverzögerung

ausgeführt werden kann. Dies gewährleistet eine ausreichende Regelungsreserve. Schnellbremsungen, bei denen oft auch Magnetschienenbremsen (Mg-Bremsen) eingesetzt werden, sollen vermieden werden.

In diesem Spannungsfeld bewegt sich auch die Gestaltung von ETCS-Bremskurven (Abb. 1). Das europäische Zugbeeinflussungssystem bietet einen großen Gestaltungsspielraum, Bremskurven an die Bedingungen bestimmter Fahrzeuge oder Infrastrukturbetreiber anzupassen. Dazu zählen beispielsweise zwei grundverschiedene Modellierungsansätze (Lambda- und Gamma-Bremsmodell) wie auch eine Reihe fahrzeug- und infrastrukturspezifischer Korrekturfaktoren. [1, 2]

Ein besonderer Teil dieses Gestaltungsspielraums liegt in der Guidance Curve (GUI, etwa als „Sollkurve“ übersetzbar). Be-



Olaf Gröpler

Systemingenieur, NEXTRAIL GmbH, Berlin
olaf.groepler@nextrail.com



Michael Kümmling

Innovationsmanagement DLST/ Elektrotechnik, DB Projekt Stuttgart – Ulm GmbH, Stuttgart
michael.kuemmling@deutschebahn.com



Kristof Vandoorne

Referent ETCS/ATO, DB Regio AG, Plochingen
kristof.vandoorne@deutschebahn.com



Thomas Vogel

Leiter Projektgruppe „Digitale Schiene“, Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart
thomas.vogel@vm.bwl.de

treiber von Triebfahrzeugen (meist Triebzügen, Tz) können – ähnlich wie beispielsweise bei der LZB CE-II – eine beliebige GUI auf dem Fahrzeug definieren und damit die dem Tf anzuzeigenden Bremskurven gezielt beeinflussen.

Im Digitalen Knoten Stuttgart (DKS) werden ETCS und weitere darauf aufbauende Techniken erstmals in einem großen Knoten in Deutschland zur Anwendung gebracht. [3] Aus der aufeinander abge-

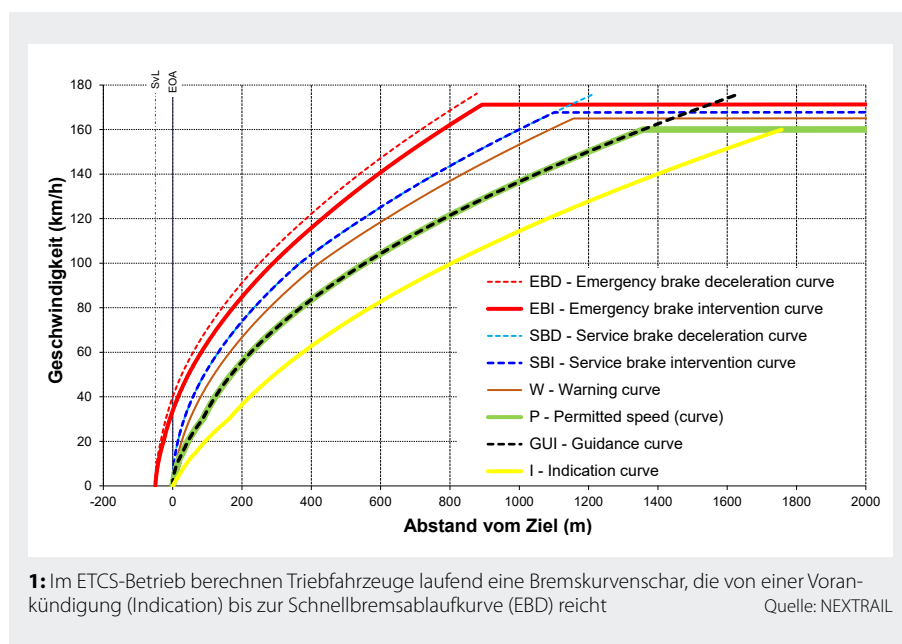


Tabelle 1: Fahrzeugfamilien, für die im Rahmen des DKS ETCS-Bremssmodelle gebildet wurden, Frontpartien Quelle: DB

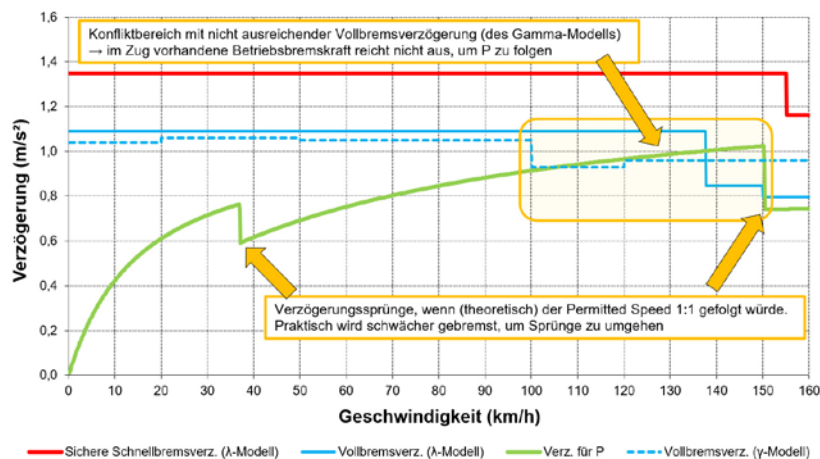
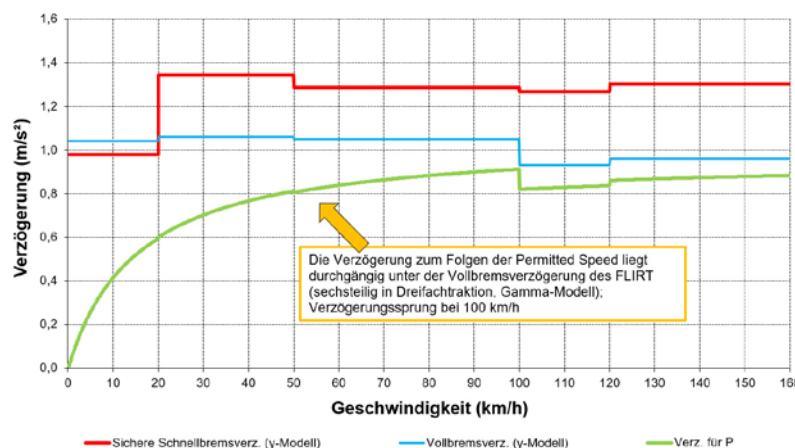
Typ	Anzahl Tz	Hersteller	Eigentümer	Vmax in km/h	Brh	Charakteristik
 Baureihe 423	60	Bombardier / Alstom	DB Regio	140	142	Scheibenbremsen, elektrodynamische Bremsen (nicht bei Schnellbremsung), nur 80 % der Radsätze gebremst
 Baureihe 430.0/430.2	155			140	150	Scheibenbremsen, Mg-Bremsen (nicht angerechnet), elektrodynamische Bremsen (nicht bei Schnellbremsung)
 FLIRT 3	66	Stadler	SFBW	160	194 FLIRT XL: 201	Scheibenbremsen, Mg-Bremsen, elektrodynamische Bremsen (nicht bei Schnellbremsung)
 TALENT 3	52			160	194	
 Coradia Max	161	Alstom		200	> 200	
 Mireo	28	Siemens		160	201	

stimmten Ausrüstung und Optimierung von rund 500 Streckenkilometern und zunächst mehr als 500 Tz ergeben sich zahlreiche Herausforderungen und Chancen für „digitale“ Kapazitätssteigerungen. [4, 5, 6, 7] Eine wesentliche Rolle kommt dabei auch den ETCS-Bremskurven zu. [8] Vor diesem Hintergrund wurden für 522 Tz der Landesanstalt Schienenfahrzeuge Baden-Württemberg (SFBW) und der DB Regio (S-Bahn Stuttgart) optimierte ETCS-Bremssmodelle aufgestellt und GUIs gebildet (Tab. 1). Die Modelle sind bzw. werden veröffentlicht. [9] Daneben waren für ICE-Tz, die den Knoten anfahren, bereits im Rahmen ihrer ETCS-Ausrüstung Gamma-Bremssmodelle gebildet worden. Deren GUIs wurden aus LZB-Sollkurven abgeleitet.

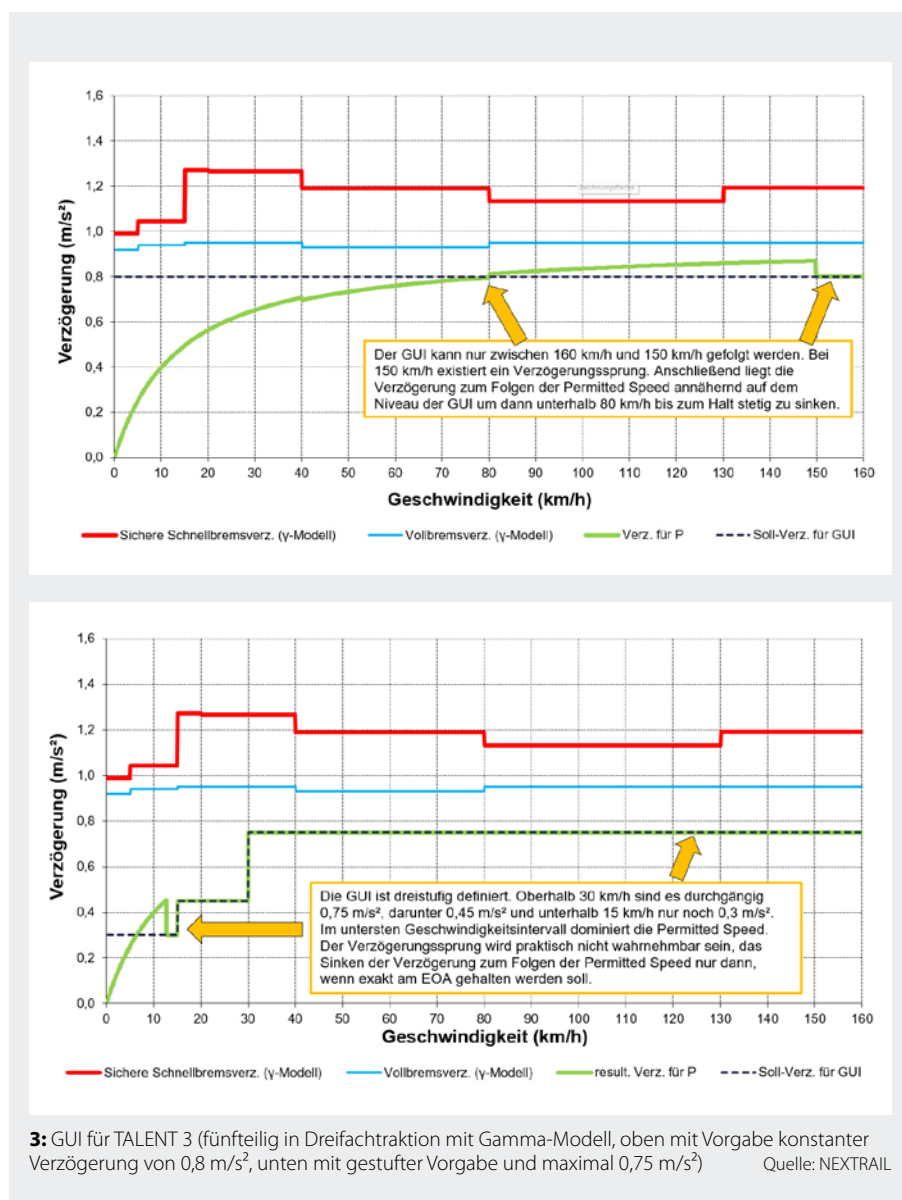
ETCS-Bremskurven

Grundlagen

Im Gegensatz zum recht einfachen System der LZB-Bremskurven (mit drei Bremskurven, drei Verzögerungsstufen und tabellierten Verzögerungen [10]) ist die ETCS-Bremskurvenberechnung wesentlich komplexer: Mit den beiden grundverschiedenen Bremsmodellen (Lambda und Gamma) werden für Voll- und Schnellbremsung jeweils eine Einsatz- und eine Ablaufkurve berechnet (SBI/SBD bzw. EBI/EBD, siehe Abb. 1). Die übrigen Bremskurven werden der niedrigeren der beiden Einsatzkurven (SBI oder EBI) in festen zeitlichen Abständen



2: P-Kurve ohne GUI des FLIRT (sechsteilig in Dreifachtraktion): oben für das Gamma-Modell, unten für das Lambda-Modell
Quelle: NEXTRAIL



den vorgelagert, soweit keine GUI verwendet wird. Ist hingegen eine GUI auf dem Fahrzeug hinterlegt – und deren Nutzung durch den Infrastrukturbetreiber auch zugelassen [11], wie für ETCS Level 2 im DB-Netz –, so ersetzt die GUI die Sollgeschwindigkeitskurve (Permitted Speed, P), sofern sie niedriger liegt und flacht diese somit ab. [12] Auch die Bremsankündigung (Indication Curve, I), die der P-Kurve bzw. GUI um eine Tf-Reaktionszeit vorgelagert ist, erfolgt damit früher.

Für die Berechnung der von der GUI unabhängigen, übergeordneten Einsatz- und Ablaufkurven nutzt das Lambda-Modell vier ohnehin bekannte Parameter als Eingangsgrößen: Bremshundertstel (Brh), Zuggattung (Reise- bzw. Güterzug), Bremsstellung (G/P) und Zuglänge. [2, 13] Oberhalb von 135 Brh wird das Wirken von

Mg-Bremsen angenommen und die Vollbremsverzögerung gedeckelt, während die modellierte Schnellbremsverzögerung weiter ansteigt. [14] Das Gamma-Modell basiert hingegen auf zugspezifisch ermittelten Momentanverzögerungen bei Schnellbremsungen und den darauf einwirkenden Korrekturfaktoren (K_{dry_rst}), den Vollbremsverzögerungen sowie den jeweiligen Bremsaufbauzeiten. Je größer die Zuglänge, desto größer (optimistischer) fallen die Korrekturfaktoren aus und desto größer ist dann die sichere Schnellbremsverzögerung. [2]

Die Perspektive des Triebfahrzeugführers

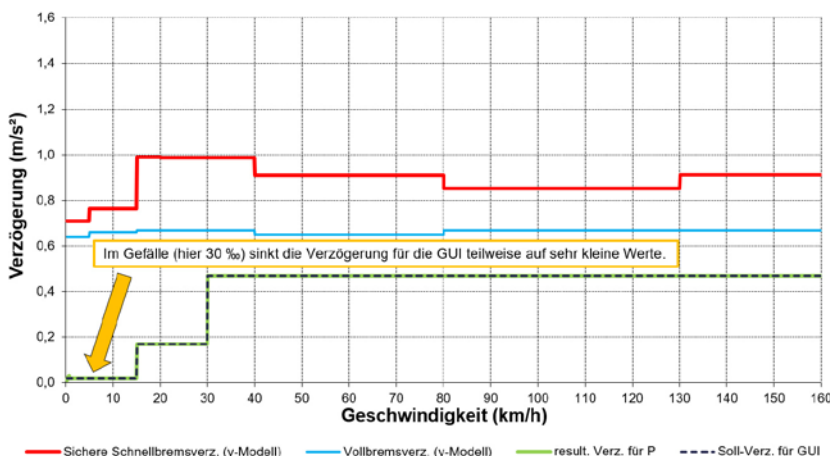
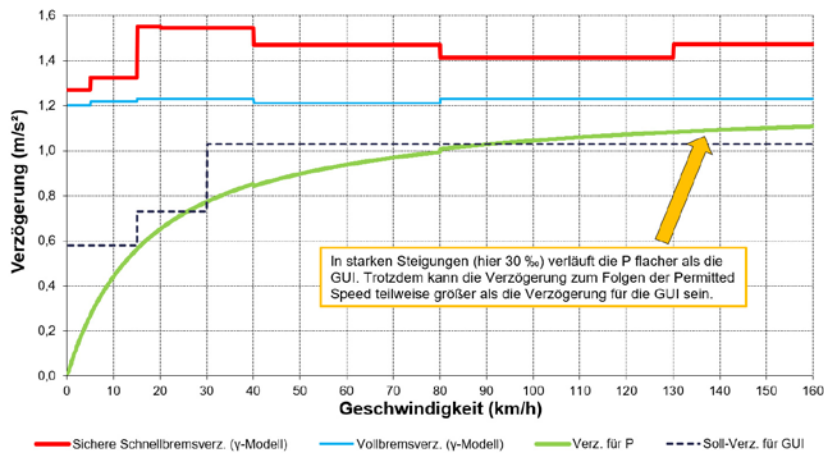
Mit der GUI auf den DKS-Tz soll dem Tf jederzeit eine klare und verlässliche Bremskurve als Orientierung („Guidance“) ange-

boten werden. Ziel ist, dass der Tf dieser unter allen Bedingungen gut folgen und darauf vertrauen kann, dass sowohl eine ausreichende Regelungsreserve zur Verfügung steht als auch unerwartete Bremskurvensprünge vermieden werden.

Dieser Ansatz basiert auf einer Reihe von Erfahrungen im In- und Ausland, wonach Tf auf Tz mit sehr hohem Bremsvermögen ohne Verwendung einer GUI oft bereits vor Erreichen der I-Kurve defensiv bremsen. Die wesentliche Ursache hierfür liegt in Mg-Bremsen, auf die viele Tz einen wesentlichen Teil ihrer Bremskraft (bei Schnellbremsungen) stützen. Dadurch werden neben hohen Brh auch steile ETCS-Schnellbremskurven erreicht. Der daraus abgeleiteten P-Kurve kann oftmals sogar mit einer Vollbremsung kaum oder gar nicht gefolgt werden. Solche Erfahrungen führen dazu, dass viele Tf defensiv, unnötig früh und auch früher als im Fahrplan angenommen bremsen. Fahrzeitzerserven werden damit verringert bzw. Fahrzeiten (geringfügig) verlängert, gleichzeitig wird der Betrieb weniger planbar.

Bei Betriebsbremsungen soll der Tf der P-Kurve folgen, die (ohne GUI) der Vollbrems- bzw. Schnellbremsen- bzw. Einsatzkurve (SBI, EBI) um vier Sekunden [15] vorgelagert ist. Weil SBI und EBI aus der Perspektive der Sicherheit entwickelt sind, kann die Fahrbarkeit bzw. der Verlauf der P-Kurve nicht direkt beeinflusst werden. Diese kann aus vier Gründen im Widerspruch zum natürlichen Bremsverhalten eines Tf stehen:

1. Bei beiden Modellen ist die normale P-Kurve so, dass sie bei der Höchstgeschwindigkeit in der Regel eine hohe Bremskraft fordert und dann mit sinkender Geschwindigkeit wegen der festen Zeitunterschiede zwischen SBI/EBI und P-Kurve kontinuierlich abnimmt (Abb. 2).
2. Es kann zu Sprüngen in den Kurven kommen, die ein Tf in der Praxis nicht so umsetzen kann, weil diese für den Tf im DMI nicht ersichtlich sind (Abb. 2 und 3). Dazu kommt es beispielsweise im Lambda-Modell am Schnittpunkt der ohne Sicherheitsmarge berechneten SBI und der mit Sicherheitsmarge berechneten EBI (Abb. 2, Sprung unten bei ca. 38 km/h).
3. Die synthetische Art des Lambda-Modells [16] kann zu einer zu steilen P-Kurve führen, der selbst mit einer Vollbremsung nicht zuverlässig gefolgt werden



4: GUI für TALENT 3 (fünfteilig in Dreifachtraktion mit Gamma-Modell), oben in 30 ‰ Steigung, unten in 30 ‰ Gefälle
Quelle: NEXTRAIL

kann und die somit eine Schnellbremsung erfordert. (Gleichzeitig sind die modellierten Bremsaufbauzeiten bei Tz wesentlich größer als erforderlich.)

4. Wenn, wie im DKS, optimierte Bremskurven von der Zuglänge abhängig sind [2], sähen sich T_f beispielsweise nach dem Stärken und Schwächen anderen Bremskurven gegenüber, die für sie nicht transparent sind.

Durch eine geeignete GUI können diese Effekte ausgeglichen werden.

Modellbildung

Der langjährige LZB-Betrieb mit Führer-
raumsignalisierung in Deutschland (und

Österreich) hat viele positive Erfahrungen mit dem anzeigegeführten Fahren hervorgebracht. Die Spanne reicht vom Hochgeschwindigkeitsverkehr bis zum S-Bahn-Betrieb in München [17]. Die Erfahrungen mit den LZB-Sollkurven bezüglich der Fahrbarkeit und deren Verzögerungsniveaus waren wertvolle Grundlagen für die Parametrisierung der GUI.

Basierend auf einer genaueren Analyse des Bremssystems sowie Abwägungen mit den Fahrzeugherstellern von FLIRT und TALENT wurde zunächst eine GUI mit konstant 0,80 m/s² erwogen. Diese wäre jedoch wegen der Designphilosophie der ETCS-Bremskurven weitestgehend unwirksam gewesen (Abb. 3 oben). Bei den ETCS-Bremskurven sind die einzelnen Kurven mit festen Zeitunterschieden festgelegt,

was sich in einer abnehmenden Sollverzögerung für die P-Kurve näher zum Halt niederschlägt. Unter ca. 150 km/h ist die konventionelle P-Kurve restriktiver als die GUI, wobei sie bei dieser Geschwindigkeit sogar eine etwas höhere Sollverzögerung vorgibt, um dann kontinuierlich abzusinken.

Darum wurden bei den Regionalzügen im unteren Geschwindigkeitsbereich (0 bis 30 km/h) zwei bis drei Stufen mit einer geringeren Verzögerung hinzugefügt, um dem T_f über einen weiten Geschwindigkeitsbereich (30 bis 160 km/h) eine konstante Verzögerung von 0,75 m/s² vorzugeben, die so groß wie möglich ist (siehe Abb. 3). Für die S-Bahn-Baureihen 423 und 430 wurden in ähnlicher Weise Verzögerungen mit weitgehend 0,70 m/s² definiert. Für die besonders spurtstarken und sehr gut bremsenden Coradia-Max-Tz [18], deren Vollbremsverzögerung mit rund 1,1 m/s² vergleichsweise hoch liegt und für die auch eine ETCS-bezogene Anforderung an das Bremssystem besteht [2], wurden anhand eines vorläufigen und noch nicht validierten Gamma-Bremssmodells 0,80 m/s² vorgesehen.

Mit ihrer weitgehend konstanten Verzögerung wirkt die GUI den Möglichkeiten des Gammamodells, das Bremssystem mit bis zu sieben Verzögerungsstufen realitätsnah zu modellieren, ein Stück weit entgegen. Nicht beeinflusst wird hingegen die ebenfalls präzise Modellierung der Bremsaufbauzeit, die bei DKS-Tz bei rund 1 bis 2 s und somit deutlich unter dem sicheren Mindestwert des Lambda-Modells von 5,77 s [19] liegt. Bremsungen an sämtlichen Geschwindigkeitsschwellen nach unten können daher rund 4 s später beginnen und auch Einfahrten in teilbesetzte Gleise beschleunigt werden. Daher werden im DKS bei den meisten Zugkonfigurationen Gamma- statt Lambda-Modelle verwendet. [2]

Bei der Berechnung von SBD, EBD und GUI werden die Längsneigungen berücksichtigt. [20] Im Gefälle werden die Bremskurven deswegen länger, in der Steigung kürzer. Theoretisch wäre die erforderliche Bremskraft zum Folgen der GUI neigungsunabhängig und damit nur geschwindigkeitsabhängig. In der Praxis sind allerdings zwei Aspekte von Bedeutung: Mit zunehmendem Gefälle wird die Verzögerung der GUI immer kleiner (Abb. 4 unten). In sehr starkem Gefälle würde diese Verzögerung sogar negativ werden und kann zu einem ETCS-Systemfehler (System Failure) führen. In Steigungen würde die P-Kurve hingegen flacher als

die GUI verlaufen, die GUI also unwirksam sein (Abb. 4 oben).

Deswegen werden die Verzögerungen der GUI im Gefälle mittels Korrekturfaktoren (K_n +/ K_n - in bis zu fünf Stufen [21]) erhöht und in Steigungen abgeflacht, damit die GUI auch dort wirksam bleibt. Diese Faktoren werden erstmals in Deutschland verwendet. Im Gefälle muss der Tf etwas stärker als in der Ebene bremsen, in der Steigung dagegen etwas schwächer.

Resümee und Ausblick

Die seit 2022 erarbeiteten GUIs für die DKS-Tz wurden inzwischen in mehr als 100 ETCS-Fahrzeuggeräte eingespielt. Eine Reihe von Tf haben damit inzwischen über 25.000 km an Testfahrten absolviert. Laut ersten Rückmeldungen seien die Bremskurven bei FLIRT und TALENT „sportlich“, aber fahrbar. Die Bremskurven stoßen damit nach ersten Erfahrungen auf die erhoffte Akzeptanz.

Gleichzeitig scheinen die Auswirkungen der verminderten oder teils geringen Verzögerungen auf die Fahrwegkapazität (Sperrzeiten) sehr überschaubar: An den meisten ETCS-Zielpunkten (End of Authority, EOA) im DKS ist ohnehin eine Release Speed von 15 km/h projektiert, unterhalb derer die Bremskurvenüberwachung ausgesetzt ist. Darüber hinaus führt eine dichte Blockteilung – auf der besonders hochbelasteten Stammstrecke sogar mit ein oder zwei kurzen Blöcken hinter dem „Ausfahrtsignal“ am Bahnsteigende – dazu, dass das EOA bei Zielbremsungen ohnehin meist hinter dem Bahnsteig liegt. [22] Eine Quantifizierung steht noch aus, da ein im Hinblick auf die GUI-Korrekturfaktoren validiertes Modellierungs- bzw. Simulationswerkzeug bei der DB noch nicht zur Verfügung steht.

Wesentliche Veränderungen wird das hochautomatisierte Fahren (ATO GoA 2) bringen, das im DKS aufbauend auf ETCS

eingeführt werden soll. Anhand von Vorgaben der Infrastruktur regelt dabei das Bordgerät (ATO-OB), unter Aufsicht des Triebfahrzeugführers, Traktion und Bremse selbstständig. [8] Der Zug kann sich dabei innerhalb der durch ETCS überwachten Vollbrems- bzw. Schnellbremsen einkurve (SBI/EBI) frei bewegen – die vorgelagerten Bremskurven spielen dabei keine Rolle mehr und auch optische und akustische Warnungen werden unterdrückt. [23] Die ATO-OB hat somit mehr Möglichkeiten und einen größeren Spielraum, gleichwohl weiterhin gewisse Reaktionszeiten und Regelungsreserven erforderlich und abrupte Verzögerungssprünge zu vermeiden sind. Eine weitgehend offene Frage ist dabei auch, welche Verzögerung und welcher Ruck von Nahverkehrsfahrgästen als komfortabel bzw. noch akzeptabel wahrgenommen werden. Die bislang im Fernverkehr mit ca. $0,7 \text{ m/s}^2$ [24] angenommene Komfortgrenze, durch die beispielsweise

Mit Social Media zur TOP-REICHWEITE

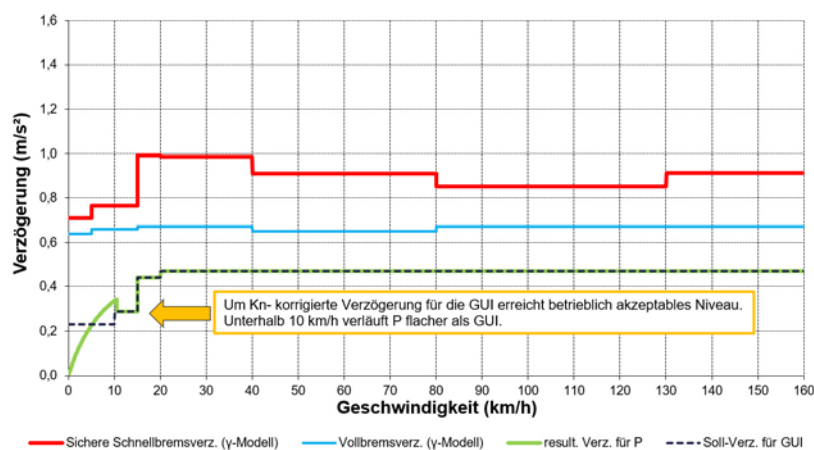
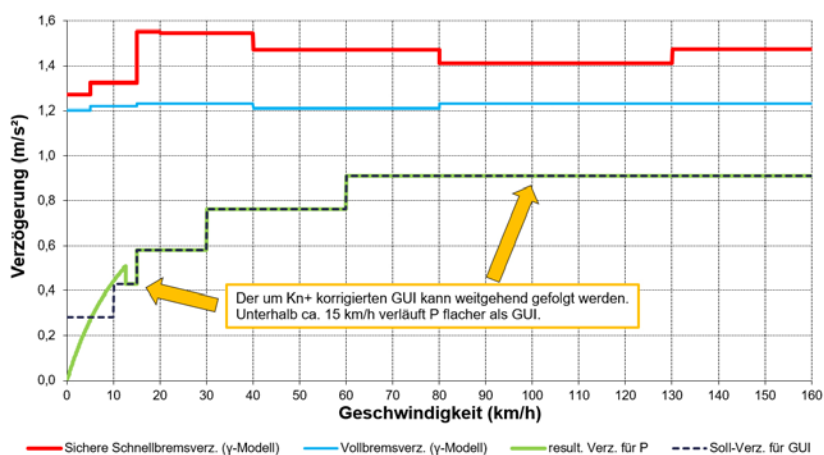


Werben Sie auf unseren Kanälen und nutzen Sie unseren günstigen Einstiegspreis!



Ihr Ansprechpartner: Tim Feindt
tim.feindt@dvvmedia.com ■ Telefon +49 40 237 14 220





5: Mittels Kn+/Kn- korrigierte GUI für TALENT 3 (fünfteilig in Dreifachtraktion mit Gamma-Modell), oben in 30 ‰ Steigung, unten in 30 ‰ Gefälle
Quelle: NEXTRAIL

Kaffeetassen im Speisewagen nicht in Bewegung geraten sollen, muss nicht unbedingt übertragbar sein.

Die weitere Gestaltung von Bremskurven, die zugleich sicher, komfortabel und fahrbar sind, bleibt ein unscheinbares, aber wichtiges Thema auf dem Weg zur weiteren Digitalisierung des Bahnbetriebs. ●



Das Projekt wird kofinanziert von der Europäischen Union

Literatur

- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/ETCS-Bremskurven>, gesichtet in der Fassung vom 25. Dezember 2025, 21:10 Uhr.
- [2] Förster, J.; Kümmling, M.; Olesch, M.; Reinhart, P.; Vandoorne, K.; Vogel, T.: ETCS-Bremskurven im Spiegel der Praxis. EI – Der Eisenbahningenieur 6/2023 (<https://bit.ly/3plqlhR>).
- [3] Bitzer, F.; Dietrich, F.; Grell, A.; Lammerskitten, C.; Lück, B.; Schunke-Mau, C.; von Schaper, M.-L.; Vogel, T.; Wanstrath, S.: Sachstandsbericht Digitaler Knoten Stuttgart. EI – Der Eisenbahningenieur 1/2025 (<https://bit.ly/40EhUg3>).
- [4] Schunke-Mau, C.; Vogel, T.: Quo vadis DSD-Fahrzeugausrüstung? ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 6/2024 (<https://bit.ly/4bZ4VJI>).
- [5] Dietrich, F.; Molterer, L.; Philippsen, F.; Reinhart, P.; Schunke-Mau, C.; Vogel, T.; Wester-Ebbinghaus, H.: Förderung der DSD-Fahrzeugausrüstung im Digitalen Knoten Stuttgart. EI – Der Eisenbahningenieur 4/2023 (<https://bit.ly/3N24h5o>).
- [6] Eckhardt, M.; Glaß, T.; Vogel, T.: Erfahrungen mit der Digitalen Schiene Deutschland in Baden-Württemberg. EI – Der Eisenbahningenieur 6/2024 (<https://bit.ly/4cQKLt3>).
- [7] Dietrich, F.; Pätzold, J.; Schiller, F.; Schunke-Mau, C.;

Reinhart, P.: Die Umrüstung von S-Bahn-Triebzügen für den Digitalen Knoten Stuttgart. Eisenbahn-Revue International 3/2025 (<https://bit.ly/3HlofqI>) und 4/2025 (<https://bit.ly/4kiJNly>).

[8] Kümmling, M.; Wanstrath, S.: „Digitale“ Kapazitätssteigerungen: ein Sachstand. Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2024 (<https://bit.ly/4cHBOfi>), insbesondere Abschnitt 2.4.

[9] siehe <https://bit.ly/4oJSoBV> (Das finale Bremsmodell der Coradia Max liegt noch nicht vor und folgt noch.)

[10] https://de.wikipedia.org/wiki/Linienförmige_Zugbeeinflussung#Bremskurvenberechnung (gesichtet in der Fassung vom 4. Juni 2026) und Verweise von dort.

[11] ETCS-Spezifikation, SUBSET-026-3, Version 4.0.0, A.3.2: Q_NVGUIPERM.

[12] DB Netz: Übersicht der nationalen Werte für ETCS auf den Strecken der DB Netz AG, Schreiben vom 27. Januar 2022 (<https://bit.ly/4vCYBBA>).

[13] SUBSET-026-3, Version 4.0.0, 3.13.3.3.

[14] SUBSET-026-3, Version 4.0.0, A.3.7.1.

[15] SUBSET-026-3, Version 4.0.0, 3.13.9.3.5.

[16] EN16834:2019, Anhang F.1: „Die durch das Modell gegebene momentane Verzögerung spiegelt nicht unbedingt die tatsächlichen physikalischen Merkmale der Züge oder einzelner Fahrzeuge wider. Sie ist deshalb als ein theoretischer Wert anzusehen, der zusammen mit der vorgegebenen Bremsansprechzeit die Gewähr bietet, dass die Anhaltewege sicher berechnet werden können.“

[17] Hornemann, K.: Neue LZB bei der S-Bahn München. Signal+Draht 9/2005.

[18] Druckenbrod, C.; Glass, T.; Klust, M.: Neue Doppelstocktriebzüge für den Digitalen Knoten Stuttgart. EI – Der Eisenbahningenieur 2/2023 (<https://bit.ly/3HD0M1c>).

[19] Mindestwert von 5,02 s mit Sicherheitsfaktor $K_{t_int}=1,15$ gemäß [2]

[20] SUBSET-026-3, Version 4.0.0, 3.13.6.2.1.3, 3.13.6.3.1.3 und 3.13.6.4.3.

[21] SUBSET-026-3, Version 4.0.0, 3.13.2.9.2 und 3.13.6.4.3.

[22] Denißen, J.; Flieger, M.; Kümmling, M.; Küpper, M.; Wanstrath, S.: Optimierung der Blockteilung mit ETCS Level 2 im Digitalen Knoten Stuttgart. Signal+Draht 7+8/2021 (<https://bit.ly/4IQDneh>).

[23] ETCS-Spezifikation, ERA_ERTMS_015560, Version 4.0.0, 7.2.3.3, 7.4.1.1, 7.4.3.3, 7.4.4.3, 7.5.1.1, 8.2.2.5.7 sowie Tabellen 8, 9 und 11

[24] Singer, A.; Voß, G.: Bremskurven für den Hochgeschwindigkeitsverkehr mit Funkzugbeeinflussung. ZEVrail, 2/1999, S. 56.

Summary

Modelling of Guidance Curves for the Stuttgart Digital Node

In modern multiple units, the ETCS braking curve calculation can result in braking curves that train drivers find almost impossible to follow. This leads to premature and defensive braking. This can be counteracted by designing Guidance Curves (GUI). The introduction of deceleration stages and correction factors for longitudinal gradients further contributes to drivability.