

Kapazitätsmanagement für ETCS Level 2 bedingt Kenntnis über Fahrzeugeigenschaften

Die Brems- und Überwachungskurvenscharen von ETCS beeinflussen die Fahrzeit- und Belegungsrechnung einer Zugfahrt. Entsprechend wichtig sind detaillierte Kenntnisse über die hinterlegten Parameter, um realitätsnahe Berechnungen für die Fahrplankonstruktion und das Kapazitätsmanagement durchführen zu können.



1. Einleitung

Die Verkehrsnachfrage auf dem Schienennetz ist in den letzten Jahren deutlich gewachsen und soll zugunsten der Verkehrsverlagerung und des Klimaschutzes auch künftig weiter steigen. Neben Aus- und Neubau soll dies durch „Digitalisierung“ ermöglicht werden, wofür die Deutsche Bahn AG die Sektorinitiative Digitale Schiene Deutschland (DSD) gestartet hat. Zu deren Zielen gehört u. a. die flächendeckende ETCS-Level-2-Ausrüstung bei der DB Netz AG, die außerdem auf den TEN-Korridoren für bessere Interoperabilität verfolgt wird. Aufgrund dieser Entwicklungen gewinnt das Trassen- und Kapazitätsmanagement weiter an Bedeutung, wachsen gleichzeitig auch die Ansprüche an eine möglichst realitätsnahe Fahrzeit- und Belegungsrechnung im Sinne eines „wahren Fahrplans“. Um das Zusammenwirken von Infrastruktur, Fahrzeugen und Betrieb korrekt abzubilden, sind Weiterentwicklungen der Modellierung und der einfließenden Daten erforderlich. Hier soll der Fokus auf den Einfluss der Fahrzeugdaten gelegt werden.

2. ETCS Level 2 und der Kapazitätsverbrauch einer Zugfahrt

Standard zur Beschreibung des Zeit- und damit Kapazitätsverbrauchs einer Zugfahrt ist die Belegungs- bzw. Sperrzeitentheorie, die bereits 1959 in [8] eingeführt wurde. Die Belegungs- oder Sperrzeit beschreibt eine derart exklusive Belegung der Infra-

struktur, dass eine behinderungsfreie Zugfahrt gewährleistet ist. Das Modell kann auf aktuelle und auch künftige Architekturen der Leit- und Sicherungstechnik angepasst werden, wie in [4] dargelegt wird. Es bildet die Grundlage für die mikroskopische Fahrplankonstruktion sowie Kapazitätsuntersuchungen aller Art.

Für die Anwendung im Zusammenhang mit ETCS Level 2 ist die wesentliche Besonderheit, dass die Annäherungsfahrtzeit im Gegensatz zu konventioneller Außensignalisierung nicht mehr mit dem Sichtpunkt bzw. der Sichtzeit auf das Vorseignal startet. Vielmehr ergibt sich die Annäherungsfahrtzeit zu jenem Zeitpunkt, an welchem das Führerraumdisplay (DMI) die Notwendigkeit zur Einleitung einer Bremsung ankündigen würde. In Bild 1 ist das für ETCS Level 2 modifizierte Modell ersichtlich.

Der Kapazitätsverbrauch ist damit noch ausgeprägter und individueller von den lokalen Streckeneigenschaften, der nationalen ETCS-Konfiguration und dem Bremsvermögen des Fahrzeugs abhängig. Nachstehend werden Einflüsse aus der Zugsicherung sowie der Blockteilung beschrieben.

Einfluss aus der Zugsicherung

ETCS in der Betriebsart Full Supervision wirkt sich gegenüber dem Betrieb bei Außensignalisierung auf den Kapazitätsverbrauch einer Zugfahrt insbesondere über die nachfolgend dargestellten Mechanismen aus:



Dr.-Ing. Thorsten Bueker

Geschäftsführer
quattron management
consulting GmbH
thorsten.bueker@quattron.com



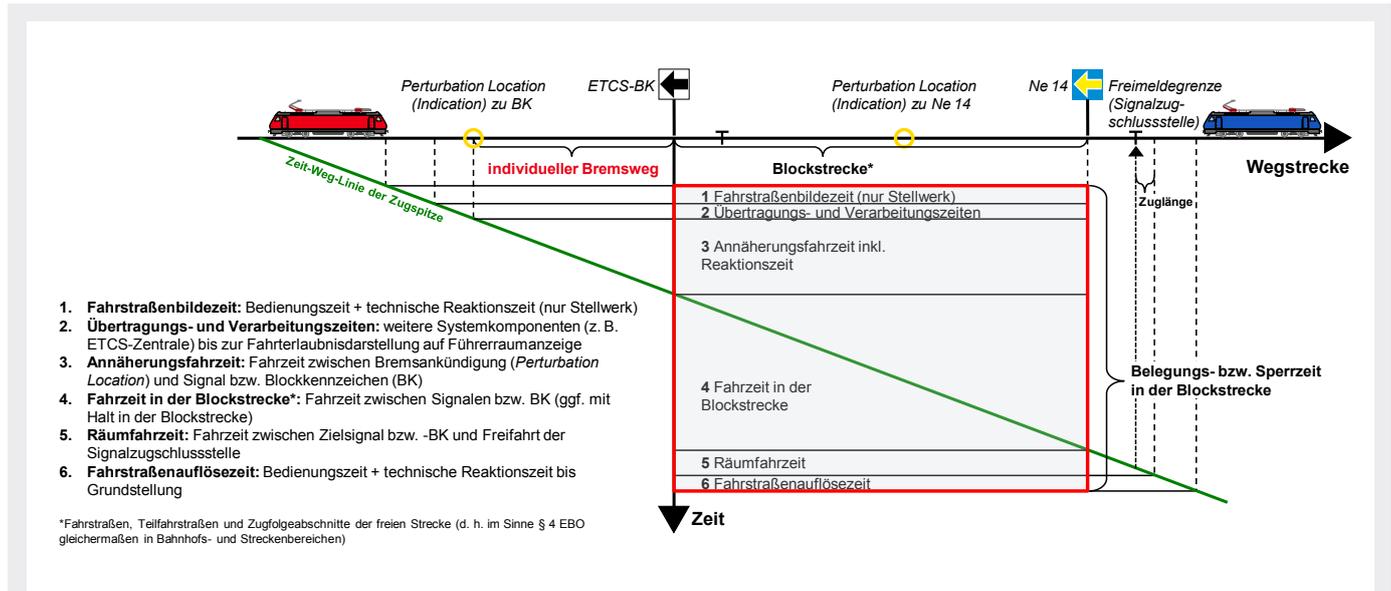
Dipl.-Ing. Sascha Hardel

Fahrwegkapazität und EBWU,
DB Netz AG
sascha.hardel@
deutschebahn.com

- 1) Zusätzliche Systemzeiten erhöhen die Vorbelegung, insbesondere wenn beteiligte Systeme nicht performant ausgestaltet sind (z. B. Abgriff der Informationen im Stellwerk und Bildung der Fahrerlaubnis (Movement Authority, MA) durch das Radio Block Centre (RBC), Übertragung der Fahrerlaubnis auf das Fahrzeug, Interpretation der Fahrerlaubnis durch das ETCS-Fahrzeuggerät).
- 2) Aus der Realisierung einer sicheren Überwachung von Zielgeschwindigkeit

Wahrer Fahrplan
benötigt korrekte Daten.





1: Zur Abbildung von ETCS Level 2 angepasstes Belegungs- bzw. Sperrzeitenmodell

ten folgt, dass diese zum Teil deutlich vor dem Ort der Zielgeschwindigkeit einzuhalten sind. Um resultierenden Fahrzeitverlängerungen entgegenzuwirken oder diese sogar zu überkompensieren, kann der Zielpunkt einer Geschwindigkeitsüberwachung „elemente fein“ projiziert werden. Dies erlaubt insbesondere, dass Geschwindigkeitsreduktionen in Bahnhöfen nicht bereits ab Signalstandort (z.B. Einfahrsignal) sondern erst ab maßgeblicher Weiche in der Fahrstraße greifen. Der Zug darf eine längere Distanz schneller verkehren. Bleibt eine Außensignalisierung erhalten, muss eine Widerspruchsfreiheit von Außensignalisierung und DMI durch Dunkel-schaltung der Geschwindigkeitssignale hergestellt werden.

3) Reduzierte Geschwindigkeiten ab vorherigem Signal bei kurzen Schutzstrecken (insb. Durchrutschweg) können entfallen. Stattdessen stellt das ETCS-Fahrzeuggerät (On-Board-Unit, OBU) unter Interpretation streckenseitiger und fahrzeugseitiger Eigenschaften (insb. Bremsvermögen) sicher, dass eine Bremsintervention ausreichend früh eingeleitet würde. Der Zug darf eine längere Distanz schneller verkehren. Auch hier muss eine Widerspruchsfreiheit zwischen Außensignalisierung und DMI gewährleistet werden.

4) Geschwindigkeitsbeschränkungen aus Bremstafeln, welche einen Zusam-

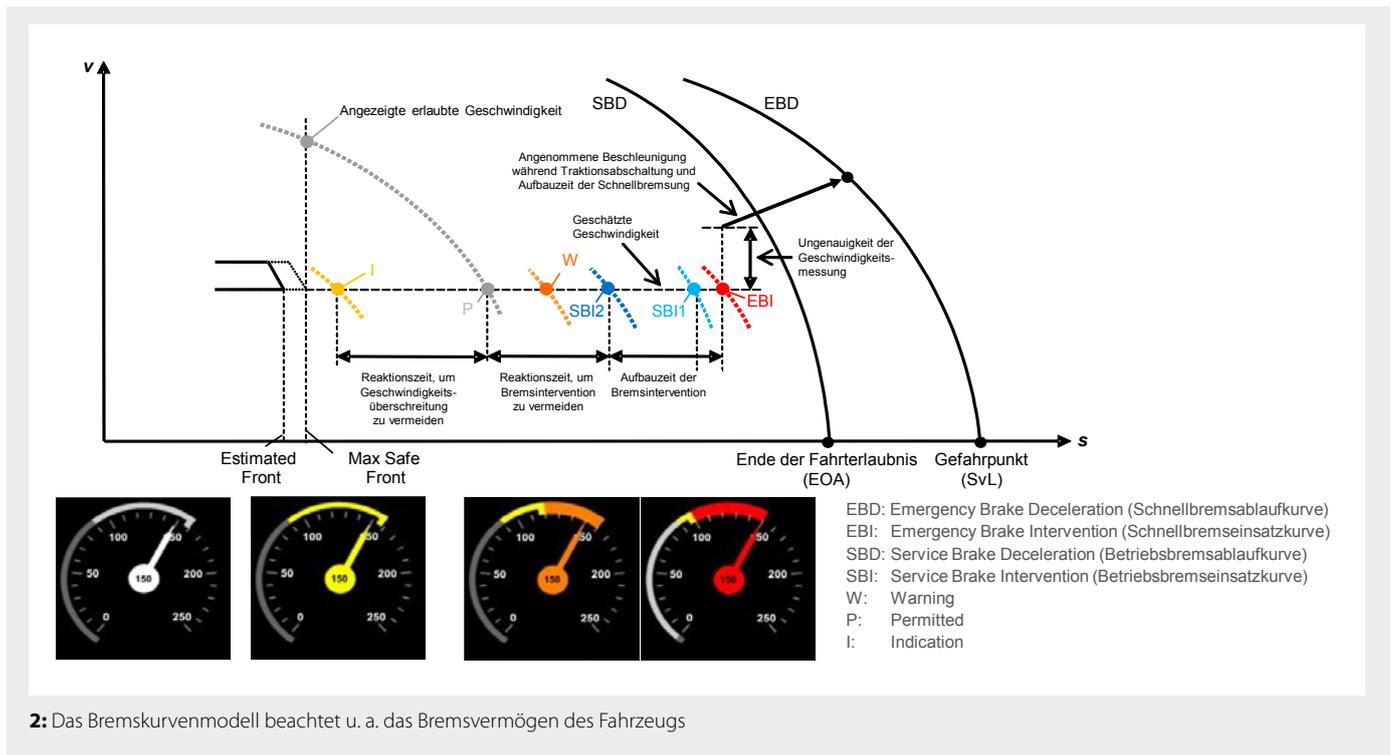
menhang zwischen Bremsvermögen des Zuges, Längsneigung und Bremsweg der Strecke herstellen, entfallen. Auch ein Zug mit vergleichsweise niedrigem Bremsvermögen darf dank „elektronischer Sicht“ schneller fahren. Dabei ist zu bedenken, dass höhere Geschwindigkeiten nicht zwangsläufig einen niedrigen Kapazitätsverbrauch bedeuten. Vielmehr kann eine größere Spreizung der Geschwindigkeiten auch gegenteilig wirken bzw. nimmt bei niedrigem Bremsvermögen die Vorbelegung bei höheren Geschwindigkeiten erheblich zu.

5) Durch die zug- und ortsspezifische Ermittlung der Brems-/Überwachungskurvenschar können Schutzstrecken (Abstand zu Gefahrpunkt sowie zeitabhängiger Durchrutschweg) gegenüber dem Regelwerk bei Außensignalisierung gekürzt werden. Bahnhöfe können kompakter gestaltet bzw. bei gegebenem Flächenumgriff z.B. hinsichtlich der Nutzlängen oder paralleler Fahrwege optimiert werden. Wird ETCS Level 2 also auf einer bestehenden Topologie unter Erhalt der Fahrweglogik umgesetzt, so entfallen signalisierte Einschränkungen der (Einfahr-)Geschwindigkeit. Bei sehr kurzem Abstand zwischen EoA und SvL können sich jedoch „implizite“ Einschränkungen ergeben.

6) Der Kapazitätsverbrauch ergibt sich aus der behinderungsfreien Fahrt. Es wird unterstellt, dass der Triebfahr-

zeugführer nicht mehr bei Erkennen eines restriktiven Vorsignalbegriffs (z.B. „Halt erwarten“) reagiert, sondern bei Aufleuchten der „Indication Curve“ im DMI (z. B. Abschalten der Zugkraft). Die Annäherungsfahrzeit und damit der Kapazitätsverbrauch folgen individuell für die Eigenschaften von Infrastruktur und Bremsvermögen des Fahrzeugs. Bei Außensignalisierung notwendige Margen zur Berücksichtigung der Vielzahl unterschiedlicher Fahrzeuge entfallen. Die in Deutschland gewählte Parametrisierung von ETCS Level 2 über National Values sieht im internationalen Vergleich „steile“ Brems- und Überwachungskurven vor. In vielen Fällen resultiert aus dem Mechanismus insbesondere im niedrigen und mittleren Geschwindigkeitsbereich ein geringerer Kapazitätsverbrauch. Im höheren Geschwindigkeitsbereich oder bei schlechtbremsenden Zügen kann unter ETCS Level 2 jedoch auch ein höherer Kapazitätsverbrauch eintreten (bei gleichzeitigem Zugewinn an Sicherheit).

Werden die dargestellten Mechanismen bei Ausrüstung mit ETCS Level 2 zur Optimierung der Anlage angewandt, so ergibt sich im Mittel ein zur Außensignalisierung vergleichbarer Kapazitätsverbrauch. In bestimmten Konstellationen werden zusätzliche „virtuelle“ Signale zur Verkürzung der Belegungs- bzw. Sperrzeiten unter ETCS erforderlich, um die Kapazität zu erhalten.



2: Das Bremskurvenmodell beachtet u. a. das Bremsvermögen des Fahrzeugs

Beitrag der Blockteilung

Um die Leistungsfähigkeit wesentlich zu steigern, bedarf es somit einer Verdichtung der Blockteilung unter Eingriff in Stellwerk und Außenanlage. Die Führerraumsignalisierung ermöglicht dabei erhebliche Freiheitsgrade gegenüber der Außensignalisierung, da Zwänge einer eindeutigen Zuordnung von Vor- und Hauptsignal entfallen können. Zusätzliche Signale werden in diesem Fall „virtuell“ als Blockkennzeichen (BK) oder ETCS-Halt-Tafeln (Ne 14) ausgeführt. Gegenüber der Außensignalisierung sind auch Anforderungen an die Mindestsichtdistanz auf Signale geringer, da diese allein in betrieblichen Rückfallebenen identifiziert werden müssen.

ETCS Level 2 eröffnet also die Chance, unter Anwendung elementeiferer Geschwindigkeitsprofile und Verdichtung der Blockteilung zum „Hochleistungsblock“ den Kapazitätsverbrauch einer Zugfahrt zu senken. Dieser Mechanismus wird im ersten Umsetzungsschritt von DSD verfolgt. Die erwartbaren Effekte auf die Leistungsfähigkeit (als mittlerer Nutzungsgrad) oder auf die Betriebsqualität (als Pünktlichkeit) sind in [2] dargestellt.

Bei Full Supervision kann bei schlechtbremsenden Zügen der Schnittpunkt mit der „Indication Curve“ früher als der Sichtpunkt auf das Vorsignal liegen (siehe

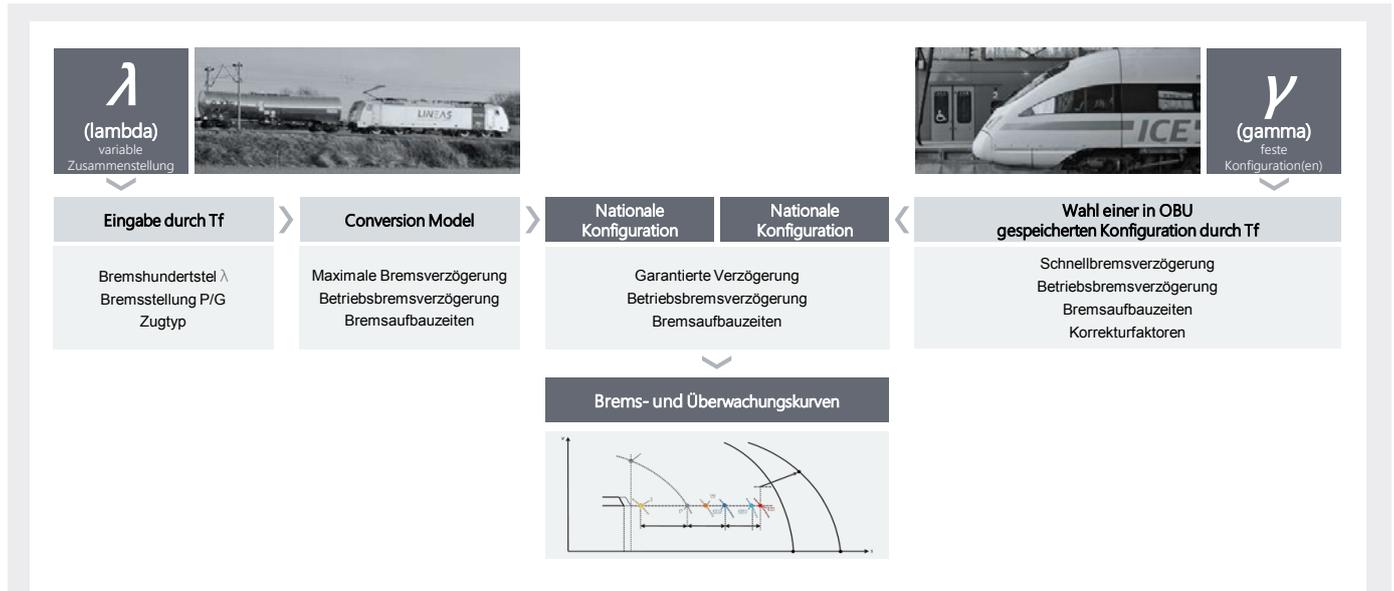
Beschreibung oben). Dies bedingt eine frühere Bildung der nächsten Fahrstraße, um daraus die Fahrerlaubnis abzuleiten. Erfolgt dies nicht, kommt es zur Behinderung der Zugfahrt. Diesem Umstand wird in der Architektur aus RBC und Zuglenkung bereits Sorge getragen, da die OBU über einen MA-Request rechtzeitig beim RBC die nächste Fahrerlaubnis anfragt. Zu verfolgen ist eine örtlich angemessene Parametrisierung dieses zeitlichen Anstoßes gemäß im Lastenheft bereits angelegten Mechanismen, um lokale Gegebenheiten zu berücksichtigen.

Wird eine dichte Blockteilung umgesetzt, so ist die Überwachung von Bahnübergängen (BÜ) kritisch zu hinterfragen. Dies betrifft einerseits die Position des Anrückmelders, beispielsweise wenn (wie oben beschrieben) die zulässige Geschwindigkeit steigt. Insbesondere kann aber bei Hp-überwachten BÜ der Fall eintreten, dass die Integration der Bahnübergangssicherungsanlage (BÜSA) in die Fahrstraßenlogik die Fahrstraßenbildungszeit und damit die Belegungs- bzw. Sperrzeiten derart erhöht, dass Vorteile aus dichter Blockteilung eliminiert werden. Diesem Umstand sollte bei der Entwicklung der neuen BÜSA-Überwachungsart FSÜ begegnet werden. Zugleich ist zu bedenken, dass bei wesentlicher Steigerung von Leistungsfähigkeit und Zugzahl manche BÜ baulich zu beseitigen

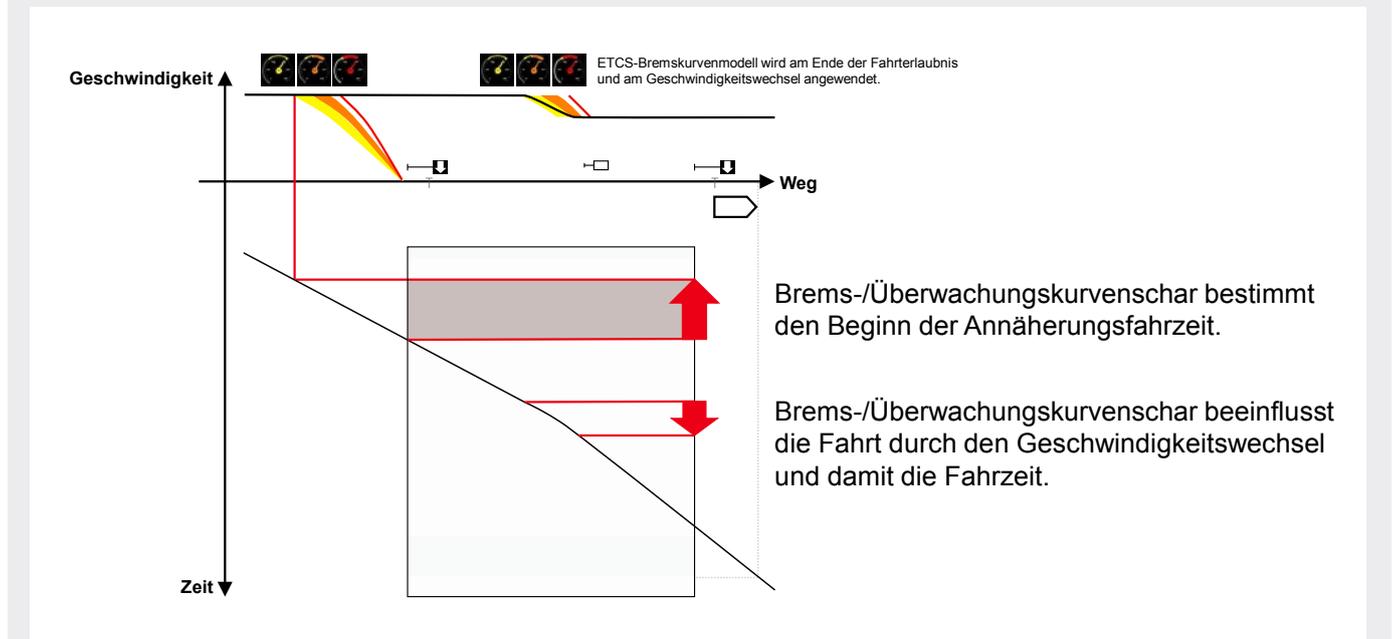
sind, um problematisch lange Schließzeiten zu vermeiden. Ebenso zeigt sich, dass die Umsetzung einer idealen Blockteilung in den Bahnhofsköpfen durch Einschränkungen aus der Oberleitungsanlage (OLA) behindert wird, da die elektrische Schaltabschnittsgrenze häufig in Bereichen möglichst dichter Blockteilung liegt und ein Stillstand von Zügen mit gehobenem Stromabnehmer dort zu vermeiden ist. Die unter Umsetzung der DSD-Zielarchitektur nebst Anwenderhinweisen erreichbare Leistungsfähigkeit kann somit erheblich verfehlt werden, wie in [9] quantifiziert ist. Begleitend zur Umsetzung einer dichten Blockteilung sind daher entweder (aufwendige) Anpassungen der OLA oder Lösungen in der Leittechnik zu verfolgen, welche diesen Zielkonflikt auflösen. Im Falle einer Doppelausrüstung mit PZB können z.B. wegen der zugehörigen Regeln für Schutzstrecken nicht alle Potenziale einer ETCS-Blockverdichtung realisiert werden.

3. Beschreibung des Bremsvermögens des Fahrzeugs

Wie zuvor dargestellt, ist das individuelle Bremsvermögen des Fahrzeugs von Relevanz, um Fahrzeit und Kapazitätsverbrauch einer Zugfahrt unter ETCS Level 2 zu beschreiben. Die Formalisierung des Bremsvermögens hat also nicht nur sicherheitliche



3: Das Bremsvermögen des Fahrzeugs kann über zwei Modelle beschrieben werden



4: Das Bremsvermögen beeinflusst die Fahrzeit und den Kapazitätsverbrauch

Relevanz, sondern wirkt auch in Planung und Betrieb. Bild 2 ist eine angepasste Darstellung aus [7]. Es wird ersichtlich, wie sich die Brems- und Überwachungskurvenschar „rückwärts“ aus Betriebsbremsablaufkurve (SBD) und Zwangsbremsablaufkurve (EBD) ergibt.

Zur Ermittlung von SBI1 und EBI ist Kenntnis über zwei Sätze (für SBD bzw. EBD) von Bremsverzögerungen sowie jeweiligen Bremsaufbauzeiten notwendig. Dazu stehen zwei Modelle zur Verfügung:

- Im Lambda-Modell wird das aus [11] abgeleitete Conversion Model genutzt, um

Bremsverzögerungen und Bremsaufbauzeiten aus Bremswertstel, Bremsstellung, Zuglänge und Zugart abzuleiten. Steht nicht das gesamte Bremssystem zur Verfügung (z.B. bei Ausfall der Bremsen an einem Drehgestell), ändern sich die Bremswertstel. Werden mehrere identische Triebzüge in Mehrfachtraktion gefahren, so verhalten sich Zuggewicht und Bremsgewicht additiv, sodass die Bremswertstel und das abgeleitete Bremsvermögen identisch bleiben.

- Im Gamma-Modell wird hingegen eine explizite Beschreibung des Bremsver-

mögens des gesamten Zugverbands verfolgt. Auf dem Fahrzeug sind Schnellbremsverzögerung, Betriebsbremsverzögerung, Bremsaufbauzeiten und Korrekturfaktoren (für nasse Schienen) für verschiedene Eintrittswahrscheinlichkeiten gespeichert. Diese vordefinierten Wertesätze bestehen für verschiedene Fahrzeugkonfigurationen, d.h. für Mehrfachtraktionen sowie für Situationen mit teilweisem Ausfall der Bremsanlage. Sie berücksichtigen die Ausfallwahrscheinlichkeit einzelner Komponenten des Bremssystems und die Konsequenz des

Ausfalls auf das Bremsvermögen, wie in [10] dargestellt wird. Prinzipbedingt kann das Gamma-Modell nur für feste bzw. vordefinierte Zugkonfigurationen gewählt werden.

In Bild 3 ist zusammengestellt, wie die Brems- und Überwachungskurvenschar in beiden Modellen aus den Eingangsdaten folgt. Das Gamma-Modell muss angewendet werden bei Fahrzeugen, welche eine Zulassung für >200 km/h haben. Durch die stochastische Betrachtung des Ausfallverhaltens kann das Gamma-Modell bei Zugkonfigurationen mit redundanter Auslegung der Komponenten betrieblich vorteilhaft gegenüber dem Lambda-Modell sein, wenn die implizite Mehrfachanwendung von Margen entfällt und „steilere“ Bremskurven sicherheitlich belastbar sind. Entsprechend empfahl [1] die Ermittlung von Wertesätzen für die betroffenen Fahrzeuge. In [6] ist dargestellt, wie dieser Gedanke für das Retrofitting der Fahrzeuge aufgenommen wurde. Wie durch eine ge-

samtheitliche Betrachtung von Bremsvermögen und Infrastruktur ein betrieblicher Vorteil erzielt werden kann, zeigt [3].

In Bild 4 ist zusammengefasst, wie der Kapazitätsverbrauch der Zugfahrt unmittelbar vom Bremsvermögen des Zuges abhängt. Um die Belegungs- bzw. Sperrzeit präzise ermitteln zu können, ist Kenntnis über das angewendete Bremsmodell (Lambda oder Gamma) sowie über die darin zugrunde liegenden Parameter notwendig.

4. Fahrplankonstruktion und Kapazitätsmanagement

Bei der DB Netz AG wird die bewährte Programmfamilie DaViT (Datenverarbeitung im Trassenmanagement) eingesetzt. Dabei stellt z.B. das System Spurplan ein mikroskopisches Infrastrukturabbild bereit und es werden grundlegende Angaben zu Triebfahrzeugen (z.B. zulässige Geschwindigkeit, Masse, Zugkraftverhalten) in Stammdaten vorgehalten. Darauf greift das System RUT-K (Rechnerunterstütztes Tras-

senmanagement – Konstruktion) für die produktive Kapazitätsallokation bei Netz-, Gelegenheits- und Baufahrplanung zurück. Die Fahrzeit- und Belegungsrechnung darin beruht auf der oben eingeführten Belegungs- bzw. Sperrzeitentheorie.

Zur Bearbeitung von Trassenbestellungen werden vom EVU (Eisenbahnverkehrsunternehmen) konkrete Angaben zur beabsichtigten Zugfahrt bereitgestellt: Hierzu zählen u.a. der Laufweg und gewünschte Verkehrshalte; aber besonders auch das Triebfahrzeug, Masse und Länge des Wagenzuges, Bremsstellung und Bremshundertstel. Sofern ein Triebfahrzeug noch nicht in den Stammdaten hinterlegt ist, können die zugehörigen Angaben mit einem Formular für fahrdynamische Triebfahrzeugdaten übermittelt werden [5].

Im Zusammenwirken von Eisenbahnverkehrs- und -infrastrukturunternehmen erfolgt auf dieser Basis v.a. die Netzfahrplanerstellung, d.h. Zugfahrten werden anhand ihres zu erwartenden Kapazitätsverbrauchs geplant. Je genauer die dabei

Für Ihre Werbeplanung – die kommenden Ausgaben im Überblick



THEMEN

7+8/2023

- Digitalisierung und Automatisierung (im Personen- und Güterverkehr)
- Bau und Instandhaltung von Infrastruktur und Fahrzeugen
- Fertigung: Additive Manufacturing
- Fernverkehrs- und Nachtzüge

9/2023

- Nachbetrachtung Rad-Schiene-Tagung 2023 Dresden
- Wissenschaft und Forschung rund um die Schienenfahrzeugtechnik
- Antriebstechnik, Bremstechnik, Fahrwerktechnik, Radsatztechnik
- Konstruktiver Ingenieurbau
- Naturgefahrenmanagement
- Mit ETR-Austria 3/2023

Erscheinungstermin: 08.08.2023

Anzeigenschluss: 11.07.2023

Druckunterlagenschluss: 18.07.2023

Erscheinungstermin: 12.09.2023

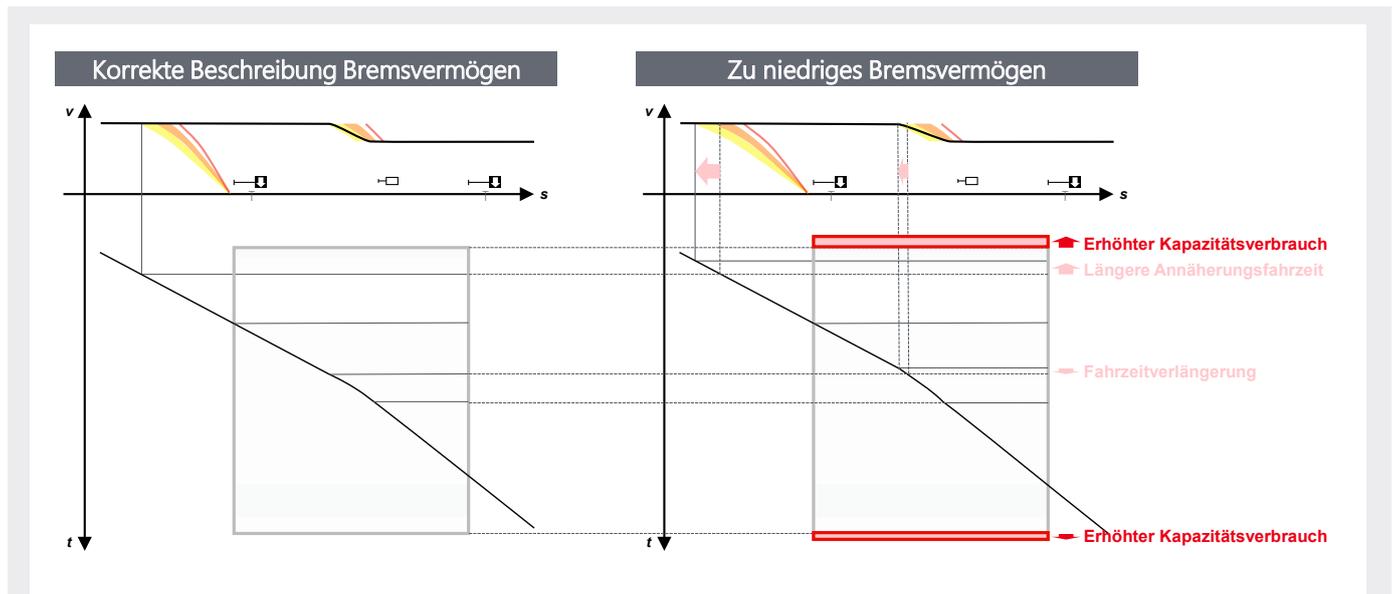
Anzeigenschluss: 15.08.2023

Druckunterlagenschluss: 22.08.2023



Tim Feindt • 040/23 714-220 • tim.feindt@dvvmedia.com





5: Fehlerhafte Informationen beeinflussen Konstruierbarkeit und / oder Durchführbarkeit von Trassen

zugelieferten und berücksichtigten Angaben sind, desto besser kann der Fahrplan die spätere Betriebsdurchführung erfassen und somit einen Beitrag zu einer möglichst hohen Betriebsqualität leisten. Wegen der noch überschaubaren Verbreitung ist die ETCS-Modellierung bislang grob gehalten.

Im Rahmen von Stuttgart 21 bzw. des Digitalen Knotens Stuttgart wird ETCS Level 2 („ohne Signale“) erstmals in Deutschland flächendeckend in einem Großknoten eingesetzt werden. Die bevorstehende Inbetriebnahme und die dafür erforderliche korrekte Kapazitätsvermarktung ist der Anlass, die ETCS-Modellierung in der Fahrplan-IT weiterzuentwickeln und realitätsnäher auszuprägen. Schwerpunkt soll die Präzisierung der Fahrzeit- und Belegungsrechnung sein, v.a. durch die Berücksichtigung der ETCS-Bremsmodelle. Zudem werden einige Ergänzungen im Infrastrukturmodell stattfinden und muss der Trassenbestellvorgang

so erweitert werden, dass die erforderlichen neuen Daten vom EVU überhaupt übergeben werden können.

Eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchungen (EBWU) haben meist einen mittel- bis langfristigen Charakter, weswegen die bei der DB Netz AG dafür eingesetzten Tools (LUKS® und RailSys®) schon lange eine detaillierte ETCS-Modellierung beherrschen. Die vollständige Ausnutzung ist allerdings an die Verfügbarkeit korrekter bzw. wahrscheinlicher Eingangsdaten gebunden.

5. Notwendigkeit vollständiger Fahrzeuginformationen

Mit der zunehmenden Umsetzung von ETCS auf der Infrastruktur wird es also notwendig, eine exaktere Kenntnis über die Bremseigenschaften des Fahrzeugs als bislang üblich in Studien, aber insbesondere in den Regelprozess der Kapazitätsallokation einfließen zu lassen. Gelingt dies nicht und das Bremsvermögen wird über- oder unterschätzt, so treten die in Bild 5 dargestellten Effekte ein.

Um die resultierenden Fehler zu quantifizieren, werden Testrechnungen auf einem Teilnetz durchgeführt. Dieses sieht Mischverkehr in verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen sowie betrieblich anspruchsvolle Situationen vor. Es wird eine netzweite Ausrüstung mit ETCS Level 2 unterstellt. Betrachtet werden folgende Konstellationen, die eine unvollständige

Informationslage bei Durchführung der Kapazitätsrechnung repräsentieren:

- Fahrzeuge des Fernverkehrs, des Regionalverkehrs (Einfach- und Mehrfachtraktion) und der S-Bahn (Einfach- und Mehrfachtraktion)
- Fahrzeuge werden mit dem tatsächlichen Wertesatz gemäß Gamma-Modell beschrieben
- Fahrzeuge werden hilfsweise mit Wertesätzen anderer Fahrzeuge gleicher Art beschrieben
- Fahrzeuge werden hilfsweise in Parametern gemäß Lambda-Modell beschrieben

Verfügen die Fahrzeuge über eine vom Betreiber definierbare Guidance Curve (z.B. zur Vermeidung großer, verschleißbehafteter Bremsverzögerungen), so wird diese in den Betrachtungen zunächst bewusst nicht beachtet. Ermittelt werden die Abweichungen, welche sich auf Fahrzeiten sowie auf Mindestzugfolgezeiten ergeben. Folgende Fehler und Erkenntnisse lassen sich aus den Testrechnungen ableiten:

- Regelfahrzeiten weichen um bis zu 1,2% ab. Mit einer Ausnahme ist das Gamma-Modell bei Fahrzeugen des Fernverkehrs vorteilhafter als das Lambda-Modell. Im Regional- und S-Bahn-Verkehr ist zu sehen, dass bei Einfachtraktion kein Modell immer besser abschneidet, während bei Doppeltraktion das Gamma-Modell immer zu kürzeren Fahrzeiten führt.

Eine belastbare Kapazitätsvermarktung bedingt Wissen über die vollständigen Bremseigenschaften des Fahrzeugs.



Eigenschaft		Mit Trassenbestellung individuell zu übermitteln	Kapazitätseffekt
Lambda	Bremshundertstel		zu hoch: Kapazitätsverbrauch zu niedrig zu niedrig: Kapazitätsverbrauch zu hoch
	Bremsstellung	P statt G: Kapazitätsverbrauch zu niedrig G statt P: Kapazitätsverbrauch zu hoch	
	Zuglänge	zu kurz: Kapazitätsverbrauch zu niedrig zu lang: Kapazitätsverbrauch zu hoch	
Gamma	Schnellbremsverzögerung Betriebsbremsverzögerung Bremsaufbauzeiten Korrekturfaktoren	unbekannt: Nutzung des Lambda-Modells (Fahrzeuge bis 200 km/h) bzw. keine Fahrzeit- und Belegungsrechnung möglich (Fahrzeuge über 200 km/h)	
	Guidance Curve (wenn genutzt)	unbekannt: Kapazitätsverbrauch zu niedrig (steilere, normale Permitted Curve aus Lambda/Gamma-Modell wird verwendet)	
SRS-Version		3.4.0 auf Fahrzeug: höhere Vorbelegung, da Pre-Indication maßgebend 3.6.0 auf Fahrzeug: geringere Vorbelegung, da Indication maßgebend	
Datenfunktüchtigkeit		nicht vorhanden: keine Führung in ETCS Level 2 möglich (Rückfall in andere Zugsicherung, wenn vorhanden)	

6: Belastbare Kapazitätsvermarktung bedingt Wissen über die folgenden Parameter

- Mindestzugfolgezeiten weichen um bis zu 15% (mit Trassenspreizung) bzw. 5% (bereinigt um Trassenspreizung) ab. In den verschiedenen Szenarien lässt sich kein eindeutiger Trend erkennen. Je Fahrzeug, Linie und Richtung werden unterschiedliche Ergebnisse ermittelt.

Die Größenordnung der Fehler ist für die praktische Anwendung relevant und es besteht kein eindeutiger Trend, eine Abschätzung zur sicheren Seite durchzuführen. Für eine belastbare Fahrplankonstruktion im Netz-, Gelegenheits- und Baufahrplan, Konflikterkennung und -lösung in Dispositionssystemen sowie auch eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchungen (EBWU) werden vollständige Eigenschaften des Fahrzeugs benötigt.

Ergänzend wird für das Set von Fahrzeugen betrachtet, inwieweit die oben eingeführten Kennwerte abweichen, wenn fälschlicherweise eine existierende Guidance Curve ignoriert wird. Erste Betrachtungen lassen geringere Fehler als bei Fehlen/Nähern der Wertesätze des Gamma-Modells erwarten. Die Fehler können jedoch mindestens einen nennenswerten Anteil des Regelzuschlags aufzehren und sollten somit ebenfalls ausgeschlossen werden.

Entsprechend zeichnet sich ab, dass der Prozess der Trassenbestellung um Informationen zum genutzten ETCS-Bremsmodell und dessen Parametrierung ergänzt werden muss. Werden keine vollständigen Informationen bei der Trassenbestellung übergeben, so muss künftig eine hohe Fahrzeit und hoher Kapazitätsverbrauch

der Trasse angenommen werden. Im Extremfall wären vom EVU bestellte Trassen damit im Fahrplangefüge nicht bzw. nicht marktgerecht konstruierbar.

Künftige Entwicklungen lassen erwarten, dass ihretwegen zu gegebener Zeit die IT-Systeme erneut ergänzt werden müssen. Denkbare Beispiele sind der automatische Fahrbetrieb (ATO over ETCS) mit Einfluss auf Reaktionszeiten und Sollbremskurven sowie Zugintegritätsinformationen bei ETCS Hybrid Level 3.

6. Zusammenfassung

Aus den oben dargestellten Wirkzusammenhängen sowie den präsentierten Rechenbeispielen zeigt sich, dass eine valide Trassenkonstruktion diverse Informationen zum Bremsvermögen des Fahrzeugs benötigt. Ist dies nicht gegeben, müsste zugunsten der Realisierbarkeit des Fahrplans und der Betriebsqualität der Fahrzeit- und Kapazitätsverbrauch der Zugfahrt derart konservativ abgeschätzt werden, dass eine Gefahr besteht, die Trasse abzulehnen und zugleich Kapazität ungenutzt zu lassen.

In Bild 6 sind jene Parameter zusammengestellt, welche für eine belastbare Berechnung sowohl mit der Trassenbestellung als auch mit Beginn der Zugfahrt zwischen EVU und EIU auszutauschen sind. Diese betreffen noch weitere, in diesem Artikel nicht im Detail adressierte Zusammenhänge.

Auf den ersten Blick suggeriert die Länge der Liste, dass das System komplexer wird. Zugleich wird aber auch deutlich,

dass die Wirkzusammenhänge zwischen Infrastruktur und Fahrzeugen neue Möglichkeiten zur Optimierung im Gesamtsystem eröffnen. Deshalb ist es angezeigt, die genannten Fahrzeugparameter von den EVU abzufragen und ggf. die Netznutzungsbedingungen entsprechend anzupassen. •

Literatur

[1] Becker, M., Büker, Th., Jurtz, S. et al.: „Untersuchung zur Einführung von ETCS im Kernnetz der S-Bahn Stuttgart“ – Abschlussbericht im Auftrag der DB Netz AG, 31. Jan. 2019.

[2] Bührs, P.; Büker, Th.; Schotten, S.; Hardel, S.: „Vorteile und Nutzen von ETCS L2oS und DSTW im Schienenverkehr“ – In: Eisenbahn Ingenieur Kompendium (EIK) 2022.

[3] Büker, K., Fischer, M., Gräber, J.: „Verbesserung von Kapazität und Betriebsqualität durch reduzierte Streuung der Bremswege“ – In: Eisenbahntechnische Rundschau (ETR) 71 (2022), Ausgabe 11.

[4] Büker, Th., Graffagnino, Th., Hennig, E., Kuckelberg, A.: „Enhancement of Blocking-time theory to represent future interlocking architectures“ – In: Proc. Of the 8th International Conference on Railway Operations Modeling and Analysis, Norrköping, 17.-20.6.2019.

[5] DB Netz AG: „Anforderungsprofil für fahrdynamische Triebfahrzeugdaten“ – In: Richtlinie 402.0202V05

[6] Dietrich, F., Meyer, M., Neuhäuser, R., Rohr, F., Vogel, Th., Wenkel, N.: „Fahrzeugnachrüstung für den Digitalen Knoten Stuttgart“ – In: Eisenbahningenieur (EI) 72 (2021) Ausgabe 9.

[7] ERA, UNISIG, EEIF ERTMS USERS GROUP: „ERTMS/ETCS System Requirements Specification, Chapter 3“ – SUBSET-026-3.

[8] Happel, O.: „Sperrzeiten als Grundlage für die Fahrplankonstruktion“ – In: Eisenbahntechnische Rundschau (ETR) 8 (1959), Ausgabe 2.

[9] Hardel, S., Hernandez, L.: „Einfluss von Restriktionen in Bereichen von Schaltabschnittsgrenzen der Oberleitung und Bahnübergängen auf Kapazitätssteigerungen durch ETCS-L2-Ausrüstungen“ – In: SIGNAL+DRAHT (S+D) 115 (2023), Ausgabe 1+2.

[10] Horn, S., Pavlovic, O.: „Chancen und Möglichkeiten der Monte-Carlo-Methode bei der Bestimmung der ETCS-Bremskurven“ – In: Eisenbahntechnische Rundschau (ETR) 66 (2017), Ausgabe 9.

[11] UIC: „Bremsen – Bremsleistung“ – Merkblatt 544-1, Oktober 2014.

Summary

Capacity management for ETCS Level 2 requires knowledge of vehicle properties

Brake and monitoring cam sections of the ETCS have an influence on travel time and occupancy calculation of a train ride. For this reason, it is important to have detailed knowledge on the defined parameter to perform realistic calculations for capacity management and scheduling.