

DIN EN 17997-1



ICS 45.060.01

Einsprüche bis 2023-11-01

Entwurf**Bahnanwendungen –
Bremsen –****Bestimmung der ETCS-Bremskurvenparameter für Gamma-Züge –
Teil 1: Schnellbremskurvenparameter;
Deutsche und Englische Fassung prEN 17997-1:2023**

Railway applications –

Braking –

Definition of ETCS brake curve parameters for Gamma trains –

Part 1: Emergency brake curve parameters;

German and English version prEN 17997-1:2023

Applications ferroviaires –

Freinage –

Détermination des paramètres des courbes de freinage ETCS pour les trains au Gamma –

Partie 1: Paramètres pour les courbes de freinage d'urgence;

Version allemande et anglaise prEN 17997-1:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-09-01 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an fsf@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF), Rolandstr. 4, 34131 Kassel.

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 233 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17997-1:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 087-00-03 AA „Bremse“ im DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

<i>Titel de:</i>	Bahnanwendungen — Bremsen — Bestimmung der ETCS-Bremskurvenparameter für Gamma-Züge — Teil 1: Schnellbremskurvenparameter
<i>Titel en:</i>	Railway applications — Braking — Definition of ETCS brake curve parameters for Gamma trains — Part 1: Emergency brake curve parameters
<i>Titel fr:</i>	Applications ferroviaires — Freinage — Détermination des paramètres des courbes de freinage ETCS pour les trains au Gamma — Partie 1: Paramètres pour les courbes de freinage d'urgence

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe, Definitionen, Symbole und Abkürzungen	8
3.1 Begriffe	8
3.2 Symbole und Abkürzungen	9
4 Fahrzeugspezifische Parameter des ETCS-Bremsmodells	11
4.1 Fahrzeugspezifische Parameter des ETCS-Schnellbremsmodells	11
4.1.1 Nominale Schnellbremsverzögerung A_{nominal}	11
4.1.2 Korrekturfaktor $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$	11
4.1.3 Korrekturfaktor $K_{\text{wet}}(C, V)$	11
4.1.4 Ansprechzeit bei Schnellbremsung	12
4.1.5 Abschaltzeit der Traktion	12
4.2 Fahrzeugspezifische Parameter des ETCS-Betriebsbremsmodells	12
4.2.1 Allgemeines	12
4.2.2 Nominale Vollbremsverzögerung $A_{\text{nominalSB}}$	12
4.2.3 Ansprechzeit bei Vollbremsung	12
4.2.4 Normale Betriebsbremsverzögerung und Korrekturfaktoren K_n	12
5 Bremssystemarchitekturmodell	12
5.1 Allgemeines	12
5.2 Allgemeine Verfahrensbeschreibung für die Bestimmung von $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$	14
5.2.1 Allgemeines	14
5.2.2 Schritt 1: Bottom-up-Funktionsanalyse	14
5.2.3 Schritt 2: Top-Down-Wirkungsanalyse	16
5.2.4 Schritt 3: Modellvereinfachung	17
5.3 Mathematische Modellbildung basierend auf Schritt 1-3	18
6 Eingangsgrößen	20
6.1 Allgemeines	20
6.2 Herkunft der statistischen Definition der Eingangsgrößen	21
6.3 Gültigkeit der Eingangsgrößen	21
7 Bestimmung der Parameter des ETCS-Schnellbremsmodells	22
7.1 Parameter	22
7.1.1 Allgemeines	22
7.1.2 ETCS-Bremsparametersätze	24
7.1.3 Abhängigkeit des Ansatzes	25
7.1.4 Genauigkeit der ETCS-Bremsparameter	26
7.2 Nominale Verzögerung für Schnellbremsungen	26
7.2.1 Allgemeines	26
7.2.2 Ermittlung durch dynamische Bremsversuche	27
7.2.3 Ermittlung durch Berechnung	33
7.2.4 Ermittlung für Betrieb unter eingeschränkten Bedingungen	35
7.2.5 Ermittlung für den Mehrfachtraktionsbetrieb	35
7.3 Korrekturfaktor $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$	36

7.3.1	Allgemeines	36
7.3.2	Bestimmung der Gewichtungsfaktoren $\alpha_j(C,V)$	37
7.3.3	Bestimmung der Faktoren $\beta_j(i, C, V)$	38
7.3.4	Bestimmung der Faktoren $\alpha'_k(C,V)$ und $\beta'_k(C,V)$	40
7.3.5	Korrekturfaktor $K_{dry}(C, V, EBCL)$ mit Monte-Carlo-Methode	40
7.4	Korrekturfaktor $K_{wet}(C, V)$	41
7.4.1	Bestimmung des Korrekturfaktors $K_{wet}(C,V)$	41
7.4.2	Ermittlung des Korrekturfaktors $K_{wet}(C,V)$ falls vom Kraftschluss Rad/Schiene unabhängige Bremsseinheiten zum Einsatz kommen	42
7.5	Aufbauzeit der Schnellbremsung	42
7.5.1	Allgemeines	42
7.5.2	Mehrfachtraktion	43
7.6	Abschaltzeit der Traktion	43
7.6.1	Allgemeines	43
7.6.2	Mehrfachtraktion	44
8	Bestimmung der Parameter des ETCS-Betriebsbremsmodells	45
8.1	Allgemeines	45
8.2	Nominale Verzögerung für Vollbremsungen	45
8.3	Ansprechzeit bei Vollbremsungen	45
8.4	Normale Betriebsbremsverzögerung und Korrekturfaktoren K_n	45
9	Gemeinsamer Parametersatz	46
10	Validierung des Berechnungstools	46
10.1	Allgemeines	46
10.2	Verifizierung anhand eines vereinfachten Modells	47
10.3	Validierung durch Beispielrechnungen	47
11	Dokumentation	48
11.1	Allgemeines	48
11.2	Modell der Bremssystemarchitektur	48
11.3	Eingangsgrößen	48
11.4	Nominale Werte	48
11.5	Korrekturfaktoren	49
11.6	Quellenverzeichnis	49
11.7	Quellenverzeichnis	49
Anhang A (informativ) Grundgleichungen für die gebräuchlichsten Arten von Bremsseinheiten		50
A.1	Allgemeines	50
A.2	Faktor $\beta_j(i, C, V)$	50
A.2.1	Interne und externe Parameter für die Klotzbremseinheit	50
A.2.2	Interne und externe Parameter für die Scheibenbremseinheit	52
A.2.3	Interne und externe Parameter für die Magnetschienenbremseinheit	54
A.2.4	Interne und externe Parameter für die Wirbelstrombremse	55
A.2.5	Interne und externe Parameter für die elektrodynamische Bremse	57
A.3	Faktor $\beta'_j(i, C, V)$	59
Anhang B (informativ) Herleitung der Gleichungen für $K_{dry}(C, V, EBCL)$		60
B.1	Allgemeines	60
B.2	Lineare und nichtlineare Eingangsvariablen	60
B.3	Betrachtung des kompletten Zuges	62
B.4	Berücksichtigung der Struktur des Zuges und der Teilsysteme	63
B.4.1	Allgemeines	63
B.4.2	Übergeordnete Struktur des Zuges und der Teilsysteme	63
B.4.3	Struktur der Bremssteuerung ohne Redundanzen	65
B.4.4	Berücksichtigung von Redundanzen	66
B.4.5	Systemübergreifende Variablen	68

Anhang C (informativ) Beispiel für die Anwendung der Gleichung für $K_{dry}(C, V, EBCL)$	70
C.1 Allgemeines	70
C.2 Beispiel 1: Elektrischer Triebzug mit drei Fahrzeugen.....	71
C.2.1 Beschreibung des Zuges zum Beispiel 1.....	71
C.2.2 Bremsarchitekturmodell.....	75
C.2.3 Gewichtungsfaktor.....	75
C.2.4 Bestimmung der Faktoren $\beta_j(i, C, V)$	75
C.2.5 $K_i(C, V)$ Gleichungen.....	79
C.2.6 Ergebnisse	80
C.3 Beispiel 2: Architektur definiert in EN 14531-1	80
C.3.1 Beschreibung des Zuges zum Beispiel 2.....	80
C.3.2 Bremsarchitekturmodell.....	83
C.3.3 Gewichtungsfaktor.....	85
C.3.4 Bestimmung der Faktoren $\beta_j(i, C, V)$	86
C.3.5 K_i Gleichungen	87
C.3.6 Ergebnisse	89
Anhang D (informativ) Gleichung zur Bestimmung von $K_{dry}(C, V, EBCL)$ unter Verwendung der Monte-Carlo-Methode in Abhängigkeit von der Anzahl der Monte-Carlo-Iterationen.....	90
D.1 Definitionen.....	90
D.2 Bestimmung von $K_{dry}(C, V, EBCL)$ in Abhängigkeit von der Anzahl der Monte-Carlo-Iterationen	90
D.3 Beispiele.....	91
Anhang E (informativ) Methoden zur Vereinfachung des Bremssystemarchitekturmodells.....	93
E.1 Allgemeines	93
E.2 Strukturgruppierung.....	94
E.2.1 Serielle Struktur.....	94
E.2.2 Parallel-redundante Struktur	95
E.2.3 Parallel verzweigte Struktur	96
E.2.4 Doppelter Fehler in parallel verzweigter Struktur	97
E.3 Vereinfachungsbeispiel.....	98
E.3.1 Beispielsystem.....	98
E.3.2 Doppelfehlerprüfung	99
E.3.3 Gruppierung parallel verzweigter Struktur	100
E.3.4 Gruppierung parallel redundanter Struktur.....	101
E.3.5 Gruppierung von Serienkonstruktionen	103
E.4 Erweiterte Beschreibung der in 5.2.4 genannten Methoden.....	104
E.4.1 S-1 Gruppierung von Komponenten und technischen Funktionen.....	104
E.4.2 S-2 Betrachtung des ungünstigsten Falls (en: Worst Case)	105
E.4.3 S-3 Ausschluss eines sehr unwahrscheinlichen Ausfallsreignisses.....	106
E.4.4 S-4 Reduzierung von Modellebenen	107
E.4.5 S-5 Annahme dauerhaft ausgefallener Komponenten.....	107
Anhang F (informativ) Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit mittels FIT-Ratenanalyse	108
F.1 Allgemeines	108
F.2 Umrechnung von FIT-Raten in Ausfallwahrscheinlichkeiten	108
Anhang G (informativ) Vereinfachtes Modell zur Validierung eines Berechnungstools	109
G.1 Allgemeines	109
G.2 Zugmodell.....	109
G.2.1 Allgemeines	109
G.2.2 Statistische Daten für Druckluftbremse C11111 - C23222	112
G.2.3 Statistische Daten für Magnetschienenbremse MTB112 - MTB222	113
G.2.4 Statistische Daten für elektrodynamische Bremse ED111 - ED232	113
G.2.5 Statistische Daten für Traktionseinheiten TU111 - TU232.....	114
G.3 Beispiele für Validierung der korrekten Verwendung von Parameterinformationen.....	114

G.3.1	Massestreuungen.....	114
G.3.2	Koeffizient des Raddurchmessers.....	114
G.3.3	Streuung der MTB-Bremskraft.....	115
G.3.4	Streuung der ED-Bremskraft.....	115
G.3.5	Ausfallwahrscheinlichkeit der Traktionsabschaltung.....	116
G.4	Beispiel für die Verifizierung der korrekten Verwendung von Strukturinformationen.....	116
G.4.1	Ausfallwahrscheinlichkeit auf Drehgestellebene für PB.....	116
G.4.2	Ausfallwahrscheinlichkeit auf Fahrzeugtypebene für MTB.....	117
	Literaturhinweise.....	118

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17997-1:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Mandates erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben.

Einleitung

Die Spezifikationen des European Train Control System (ETCS) sind Teil der Technischen Spezifikationen für Interoperabilität (TSI) für Zugsteuerungs- und Zugsicherungssysteme von Eisenbahnen geworden oder es wird auf diese verwiesen, als Teil der europäischen Gesetzgebung, organisiert von der Eisenbahnagentur der Europäischen Union (ERA).

Die Spezifikation des Bremsmodells in diesem Dokument basiert auf der Definition in der System Requirements Specification (SRS) SUBSET-026, Version 3.6.0 vom 13.05.2016, veröffentlicht von der Eisenbahnagentur der Europäischen Union: ETCS B3 R2 GSM-R B1.

Basierend auf einem generischen „Bremsystem-Architekturmodell“ wird ein Verfahren zum Entwurf eines zugspezifischen Softwaremodells beschrieben, das zur Berechnung der fahrzeugspezifischen Korrekturfaktoren angewendet wird. Es wird auch ein Verfahren zur Bestimmung der nominalen Schnell- und Betriebsbremsverzögerung für den normalen Betrieb und den Betrieb mit gestörten Bremsen beschrieben. Darüber hinaus wird die Ableitung aller erforderlichen Parameter des Traktions- und des Bremsmodells spezifiziert.

Dieses Dokument beschreibt die verschiedenen Schritte zur Definition von ETCS-Schnellbremsparametern für Züge, welche das ETCS-Gammamodell verwenden und die auf Strecken betrieben werden sollen, die mit ETCS Baseline 3 ausgestattet sind [10].

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Methodik zur Definition des zugbezogenen Bremsmodells und erforderlichen fahrzeugspezifischen Bremsparameter fest, um Geschwindigkeits- und Wegberwachung für Züge zu ermöglichen, die auf Eisenbahnstrecken mit ETCS Baseline 3 ausgestattet sind und betrieben werden.

Dieses Dokument gilt nur für Züge, welche das ETCS-Gammamodell verwenden (d. h. der Zug wird als „Gamma“-Zug bezeichnet). In diesem Dokument wird nicht spezifiziert, wie diese Parameter an das ETCS-Bordsystem übertragen und von diesem verwendet werden können (z. B. vor Beginn der Zugfahrt (en: Start of Mission – SoM)).

Die ETCS-Umwandlungsmodelle werden von diesem Dokument nicht abgedeckt und sind in EN 16834:2019, Anhang F beschrieben. Die ETCS-Umwandlungsmodelle sind für die Verwendung mit Zügen vorgesehen, bei denen das Bremsvermögen durch Bremsgewichtsprozentsätze ausgedrückt wird („Lambda“-Zug).

Alle streckenbezogenen Eingangsgrößen, einschließlich nationaler Werte, werden in diesem Dokument nicht behandelt. Informationen finden sich im SUBSET-026 (siehe [11]).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 15595:2018+AC:2021, *Bahnanwendungen — Bremse — Gleitschutz*

EN 16834:2019, *Bahnanwendungen — Bremse — Bremsvermögen*

EN 17343:2020, *Bahnanwendungen — Allgemeine Begriffe*

ISO 24478:2023, *Railway applications — Braking — General vocabulary*

3 Begriffe, Definitionen, Symbole und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 17343:2020, ISO 24478:2023 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online-Browsing-Plattform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1.1

Basiseinheit

kleinste betrachtete Einheit eines bestimmten Systems auf der untersten Ebene des Ebenenmodells

3.1.2

Baustein

validierte Informationen über die Eigenschaften eines Teilbremssystems (z. B. Magnetschienenbremse), die aus den Unterschieden zwischen Versuchsergebnissen von Konfigurationen mit und ohne Teilbremssystem abgeleitet werden

3.1.3

sehr unwahrscheinliches Ereignis

Ereignis, dessen Eintritt äußerst unwahrscheinlich ist und das vernachlässigt werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe auch EN 50126-1:2017, Tabelle C.1 [5].

3.1.4

Bremssystemarchitekturmodell

Berechnungsmodell zur Berechnung einiger für K_{dry} anwendbarer ETCS-Bremssparameter, Definition mit Monte-Carlo-Simulation

3.1.5

Ebenenmodell

Modell, das die Berücksichtigung struktureller Informationen des Fahrzeugs im Bremssystemarchitekturmodell ermöglicht

3.1.6

technische Funktion

Funktion, die von einer einzelnen Komponente oder einem kompletten System generiert werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Die technische Funktion des Bremssystems besteht darin, Bremskraft zu erzeugen.

3.1.7

Strukturinformationen

Informationen über die in einem Bremssystem verwendeten Ebenen, Einheiten und Struktur

3.1.8

statistische Informationen

Informationen, die den Ausfall oder/und das Abweichungsverhalten einer technischen Funktion beschreiben

3.1.9

Ausfallkoeffizient

Koeffizient, der die Auswirkung des Ausfalls einer technischen Funktion auf die Bremskraft einer Bremsseinheit/Bremseinheitengruppe darstellt und sich auf die Ausfallwahrscheinlichkeit der technischen Funktion bezieht

3.1.10

Abweichungskoeffizient

Koeffizient, der die Auswirkung der Abweichung einer technischen Funktion auf die Bremskraft einer Bremsseinheit/Bremseinheitengruppe darstellt und sich auf die statistische Verteilung der Abweichung der technischen Funktion bezieht

3.2 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in Tabelle 1 angegebenen Symbole und abgekürzten Begriffe.

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen

Symbol	Definition	Einheit
$A_{\text{brake safe}}(C, V, \text{EBCL})$	Sichere Schnellbremsverzögerung, in SUBSET-026-3 auch $A_{\text{brake_safe}}$ genannt [11]	m/s^2
$A_{\text{brake safe dry}}(C, V, \text{EBCL})$	Sichere Schnellbremsverzögerung auf trockenen Schienen	m/s^2
$A_{\text{nominal}}(C, V)$	Nominale Verzögerung bei Schnellbremsungen, in SUBSET-026-3 auch $A_{\text{brake_emergency}}$ genannt [11]	m/s^2
$A_{\text{nominalSB}}(C, V)$	Nominale Verzögerung bei Vollbremsungen, in SUBSET 026-3 auch $A_{\text{brake_normal_service}}$ genannt [11]	m/s^2
$A_{\text{normal}}(C, V)$	Normale Betriebsbremsverzögerung, in SUBSET-026-3 auch $A_{\text{brake_normal_service}}$ genannt [11]	m/s^2
C	Kennzeichnung der Konfiguration der Bremsen (Kombination aus speziellen Bremssystemen, gesteuertem Betrieb mit ausgeschalteten Bremsen, Mehrfachtraktionsbetrieb usw.)	—
F	Bremskraft	N
$K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$	Korrekturfaktor, in SUBSET-026-3 [11] auch $K_{\text{dry_rst}}$ genannt	—
$K_i(C, V)$	Korrekturfaktor für eine zufällig ausgewählte Kombination „i“ (auch Fall „i“ genannt) von Parametern (die Bremskraft und Ausfallverhalten beeinflussen) zur Berechnung der Verzögerung	—
$K_n(V)$	Geschwindigkeitsabhängige Korrekturfaktoren für Neigungen bei normalen Betriebsbremsungen; aufgeteilt in $K_{n+}(V)$ (bergauf) und $K_{n-}(V)$ (bergab)	—
$K_{\text{wet}}(C, V)$	Korrekturfaktor, in SUBSET-026-3 [11] auch $K_{\text{wet_rst}}$ genannt	—
P	Ausfallwahrscheinlichkeit	—
$t_{\text{eEB}}(C)$	Äquivalente Schnellbremsansprechzeit, in SUBSET-026-3[11] auch $T_{\text{brake_emergency}}$ (für Schnellbremsung) genannt	s
$t_{\text{eSB}}(C)$	Äquivalente Vollbremsansprechzeit, in SUBSET-026-3[11] auch $T_{\text{brake_service}}$ (für Vollbremsung) genannt	s
$t_{\text{tco}}(C)$	Traktionsabschaltzeit, in SUBSET-026-3 [11], 3.13.2.2.2 auch $T_{\text{traction_cut_off}}$ genannt	s
V	Identifizierung des Geschwindigkeitsintervalls	—
V_{max}	maximale Auslegungsgeschwindigkeit des Zuges	—
α	Gewichtungsfaktor, der den Anteil der Kraft eines Bremskrafterzeugers/einer Gruppe von Bremskrafterzeugern/eines Bremssystems an der Gesamtbremskraft angibt	—
α'	Verhältnis der von einer Traktionseinheit erzeugten maximalen Zugkraft zur Gesamtbremskraft auf Zugebene	—
β	Faktor, der das Produkt aller Abweichungen und Ausfälle darstellt, die sich auf die Bremskraft einer Bremseinheit auswirken	—

Symbol	Definition	Einheit
β	Faktor, der die Wahrscheinlichkeit von Ausfällen bei der Traktionsabschaltung angibt, die zu einer Verringerung der Gesamtbremskraft durch Erzeugung einer Zugkraft führen	—
BCU	Bremssteuergerät (en: brake control unit)	—
DBU	Scheibenbremseinheit (en: disc brake unit)	—
EBCL	Vertrauensniveau der Schnellbremsung (en: emergency brake confidence level)	—
ECB	Wirbelstrombremse (en: eddy current brake)	—
ED	Elektrodynamische Bremse	—
ETCS	Europäisches Zugsteuersystem (en: European Train Control System)	—
FIT	Ausfälle über der Zeit (en: failures in time)	—
MTB	Magnetschienenbremse (en: magnetic track brake)	—
Rnd	Zufallsfunktion (en: random function)	—
TBU	Klotzbremseinheit (en: tread brake unit)	—

4 Fahrzeugspezifische Parameter des ETCS-Bremsmodells

4.1 Fahrzeugspezifische Parameter des ETCS-Schnellbremsmodells

4.1.1 Nominale Schnellbremsverzögerung A_{nominal}

$A_{\text{nominal}}(C,V)$ ist die ermittelte Verzögerung bei einer Schnellbremsung für einen gegebenen Referenzfall des Zuges (Konfiguration, Last) für ein definiertes Geschwindigkeitsintervall (siehe [11] und [12]). Die Bestimmung von A_{nominal} ist in 7.2 beschrieben.

4.1.2 Korrekturfaktor $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$

$K_{\text{dry}}(C,V,\text{EBCL})$ ist ein fahrzeugspezifischer Korrekturfaktor, der mit A_{nominal} multipliziert wird und die sichere Schnellbremsverzögerung des betrachteten Zuges (Konfiguration, Last) auf trockenen Schienen entsprechend dem erforderlichen Vertrauensniveau und für ein definiertes Geschwindigkeitsintervall ergibt (siehe [11] und [12]).

$$A_{\text{brake safe dry}}(C, V, \text{EBCL}) = K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL}) \times A_{\text{nominal}}(C, V) \quad (1)$$

Die Bestimmung von $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$ ist in 7.3 beschrieben.

4.1.3 Korrekturfaktor $K_{\text{wet}}(C, V)$

$K_{\text{wet}}(C,V)$ ist ein fahrzeugspezifischer Korrekturfaktor, der in begrenztem Umfang den Verzögerungsverlust Schnellbremsungen auf nassen Schienen in Relation zu Schnellbremsungen auf trockenen Schienen angibt, wobei Referenzbedingungen für den Rad/Schiene-Kraftschluss und Geschwindigkeitsintervalle zu berücksichtigen sind (siehe [11] und [12]).

$$A_{\text{brake safe}}(C, V, \text{EBCL}) = \left(K_{\text{wet}}(C, V) + M_{\text{NVA VADH}} \times (1 - K_{\text{wet}}(C, V)) \right) \times A_{\text{brake safe dry}}(C, V, \text{EBCL}) \quad (2)$$

ANMERKUNG M_{NVAADH} ist ein streckenseitiger ETCS-Parameter und wird in diesem Dokument nicht beschrieben.

Die Bestimmung von $K_{wet}(C, V)$ ist in 7.4 beschrieben.

4.1.4 Ansprechzeit bei Schnellbremsung

Zur Modellierung des Übergangs zwischen der Anforderung der Schnellbremsung und der vollständig aufgebauten Bremskraft bei einer Schnellbremsung wird die äquivalente Ansprechzeit bei Schnellbremsung t_{eEB} (siehe 7.5) verwendet (siehe [11] und [12]).

4.1.5 Abschaltzeit der Traktion

Die Traktionsabschaltzeit t_{tco} (siehe 7.6) wird verwendet, um den Übergang zwischen der Schnellbremsanforderung oder der Anforderung der Traktionsabschaltung und dem Moment zu modellieren, in dem die Beschleunigung aufgrund wirkender Traktion ($A_{traction}$) nach einer zugweiten Schnellbremsanforderung Null ist.

4.2 Fahrzeugspezifische Parameter des ETCS-Betriebsbremsmodells

4.2.1 Allgemeines

Das Betriebsbremsverhalten ist nicht sicherheitsrelevant. Daher werden bei der Berechnung keine Bedingungen für den ungünstigsten Fall (z. B. Korrekturfaktoren, Kraftschlussbedingungen) berücksichtigt.

4.2.2 Nominale Vollbremsverzögerung $A_{nominalSB}$

$A_{nominalSB}(C, V)$ ist die ermittelte Vollbremsverzögerung für einen gegebenen Referenzfall des Zuges (Konfiguration, Last) für ein definiertes Geschwindigkeitsintervall (siehe [11]).

Die Bestimmung von $A_{nominalSB}$ ist in 8.2 beschrieben.

4.2.3 Ansprechzeit bei Vollbremsung

Die äquivalente Ansprechzeit bei Vollbremsung t_{eSB} (siehe 8.3) dient zur Modellierung des Übergangs zwischen der Anforderung der Vollbremsung und der vollständig aufgebauten Bremskraft bei einer Vollbremsung (siehe [11]).

4.2.4 Normale Betriebsbremsverzögerung und Korrekturfaktoren K_n

Die normale Betriebsbremsverzögerung $A_{normal}(C, V)$ wird in Kombination mit den geschwindigkeitsabhängigen fahrzeugspezifischen Korrekturfaktoren für Neigungen $K_{n+}(V)$ und $K_{n-}(V)$ verwendet, um $A_{normal_service}(V, d)$ zu berechnen. Aus dieser Verzögerung wird die Fahrwegskurve (GUI (engl.: guidance curve)) berechnet, die in ETCS eine optionale Bremskurve ist (siehe [11]).

Empfehlungen zur Bestimmung von A_{normal} sind in 8.4 beschrieben.

5 Bremssystemarchitekturmodell

5.1 Allgemeines

Der Begriff „Bremssystemarchitekturmodell“ beschreibt das Modell, das bei der Berechnung des Korrekturfaktors $K_{dry}(C, V, EBCL)$ angewendet wird und mit der Ermittlung der nominalen Verzögerungen übereinstimmt.

Zu diesem Zweck besteht das Architekturmodell aus einer Reihe von Gleichungen und Algorithmen, die aus Parametern gebildet werden, die das Bremsverhalten beeinflussen.

Die Parameter berücksichtigen sowohl statistische als auch strukturelle Informationen im Zusammenhang mit dem Bremsen.

Die Strukturinformationen hängen von der konkreten Fahrzeugarchitektur ab. Die Strukturinformationen zeigen, wie viele Bremsseinheiten betroffen sind, wenn ein bestimmter Parameter abweicht oder ausfällt.

Die statistischen Informationen enthalten sowohl die Wahrscheinlichkeit und Auswirkung eines Ausfalls eines Bauteils (unter Berücksichtigung der Strukturinformationen) als auch das Verhalten seiner Abweichung von den Nominalwerten.

Sowohl die Strukturinformationen als auch die statistischen Informationen sind bei der Generierung des Architekturmodells zu berücksichtigen.

In den folgenden Abschnitten werden die Schritte beschrieben, die zum Aufbau eines Bremssystemarchitekturmodells zu befolgen sind, welches das tatsächliche Bremsverhalten des Zuges aus Bremsersicht darstellt.

Die Schritte sind so organisiert, dass keine Komponenten im Architekturmodell fehlen, welche erheblichen Einfluss auf das Bremsverhalten des Zuges haben könnten.

Das Verfahren eignet sich sowohl für neue als auch für bestehende Fahrzeuge oder Züge. Beispiele für den Prozess sind in Anhang C aufgeführt.

Der technische Betrachtungsraum wird durch die Parameter bestimmt, die im Bremssystemarchitekturmodell berücksichtigt werden. Die grundsätzliche Absicht des technischen Betrachtungsraums besteht darin, alle relevanten Auswirkungen auf das Bremsverhalten zu berücksichtigen.

Die Definition des zugsspezifischen Bremsmodells umfasst alle Parameter, die Einfluss auf das Bremsverhalten haben. Diese Parameter beschränken sich nicht nur auf das Bremssystem, sondern können auch von anderen Systemen wie der Stromversorgung, der Fahrzeugsteuerung und dem Traktionssystem stammen.

Technische Systeme benötigen Energie, um Bremskraft bereitzustellen. Diese Energie wird normalerweise gespeichert. Zu diesem Zweck gibt es Druckbehälter oder Batterien. In den Betrachtungsraum fällt die Bremsenergiespeicherung der Systeme. Außerhalb des Betrachtungsraums liegen die Systeme, die den Bremsenergiespeicher aufladen (z. B. Kompressoren, Generatoren).

Arbeitet ein System ohne Bremsenergiespeicher, sind die Systeme zur Bereitstellung der Energie Gegenstand des Betrachtungsraums.

Die Kapazität des Bremsenergiespeichers ist in der Regel so dimensioniert, dass mindestens eine Bremsung unter allen Bedingungen (Umwelt, Last, Geschwindigkeit etc.) ohne Nachladen durchgeführt werden kann. Ist dies nicht möglich, umfasst der Betrachtungsraum auch die Systeme zur Aufladung der Bremsenergiespeicher.

Eine weitere Betrachtungsgrenze ergibt sich aus der maximalen Aufladung, die mit dem Berechnungsmodell erreicht wird. Die kleinste Einheit ist die sogenannte „Basiseinheit“. Unterhalb der Basiseinheit muss die Aufladung nicht erhöht werden.

Sofern im Rahmen der technischen Analyse relevante Einflüsse unterhalb der Basiseinheit herausgearbeitet werden, müssen diese in geeigneter Weise berücksichtigt werden (siehe „Modellvereinfachung“ 5.2.4).

Das Bremssystemarchitekturmodell berücksichtigt zufällige Ausfälle und Abweichungen bremskraftrelevanter Komponenten. Systematisch verursachte Ausfälle technischer Funktionen oder

Komponenten werden nicht berücksichtigt. Dabei handelt es sich unter anderem um Fehler in Konstruktionsunterlagen oder Planungsunterlagen. Zu den systematisch verursachten Ausfällen zählen auch Fehler, die auf fehlerhafte Programmierung von Softwarekomponenten zurückzuführen sind. Diese systematisch bedingten Fehler müssen durch andere geeignete Maßnahmen ausgeschlossen werden.

5.2 Allgemeine Verfahrensbeschreibung für die Bestimmung von $K_{dry}(C, V, EBCL)$

5.2.1 Allgemeines

Der Prozess ist in 3 Schritte unterteilt, wie in Bild 1 dargestellt.



Bild 1 — Allgemeine Prozessbeschreibung für die Entwicklung des Bremssystemarchitekturmodells

Im obligatorischen Schritt 1 hilft die Funktionsanalyse dabei, die Position jeder Bremskomponente auf der richtigen Ebene im Zug und die Beziehungen zwischen diesen zu definieren.

Durch den obligatorischen Schritt 2, der auf Analyse der Abweichungen/Fehlerauswirkungen basiert, wird vermieden, dass Komponenten übersehen werden, die nicht direkt mit dem Bremsverhalten zusammenhängen, jedoch im Falle von Ausfall oder Abweichung erhebliche Auswirkungen darauf haben können.

Der optionale Schritt 3 ermöglicht Vereinfachungen im Bremssystemarchitekturmodell, basierend auf dem Verhalten der Komponenten und den angewendeten Wartungsprozessen, um das mathematische Modell auf das erforderliche Maß zu beschränken und die Rechenzeit zu reduzieren.

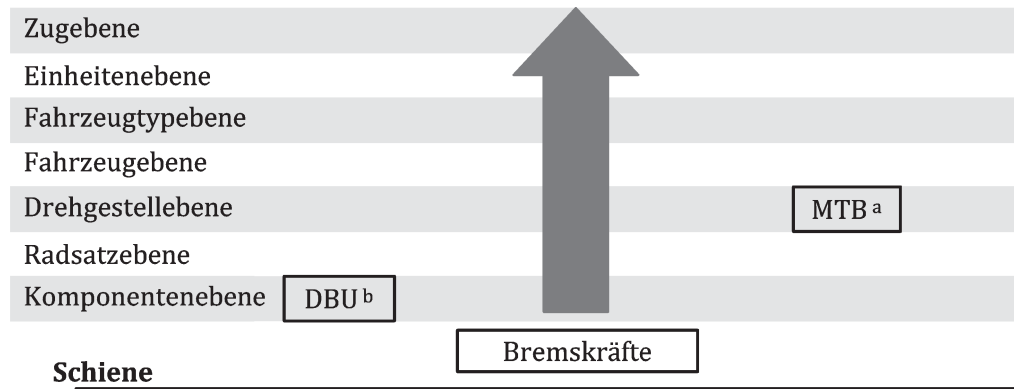
Alle Schritte müssen dokumentiert werden, um zu belegen, dass das Modell geeignet ist, die Bremssystemarchitektur abzubilden (siehe Abschnitt 11).

5.2.2 Schritt 1: Bottom-up-Funktionsanalyse

Dieser Schritt orientiert sich am Funktionsverhalten des Zuges. Ziel ist es, alle an der Schnellbremsung beteiligten Bremskomponenten auf der richtigen Ebene im Zug darzustellen und funktionale Verknüpfungen zwischen diesen herzustellen.

Der Prozess sollte mit der Identifizierung der Teilsysteme beginnen, welche Bremskräfte bei Schnellbremsungen erzeugen, einschließlich ihrer Parameter und ihrer Lage/Ebene im Zug (Komponentenebene, Drehgestellebene usw.).

Bild 2 zeigt ein Beispiel für die erste Analyse.



Legende

- ^a Stromversorgung/Luftversorgung,/interne Abweichungen und Ausfälle
^b Reibwert/Wirkungsgrad/Bremszylinderdruck/Raddurchmesser

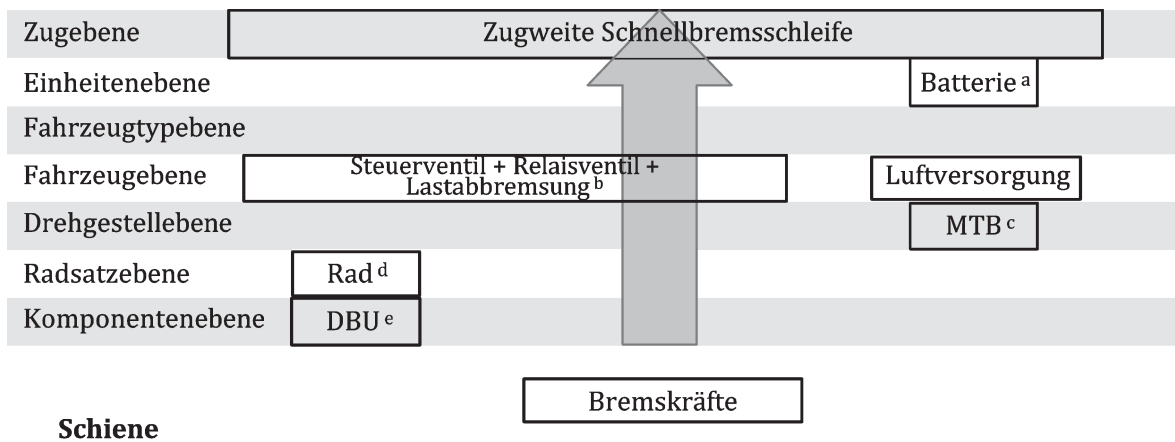
Bild 2 — Beispiel für Teilsysteme zur Erzeugung von Bremskräften, die sich auf der richtigen Ebene des Zuges befinden

Für jeden identifizierten Bremskrafterzeuger muss eine Analyse durchgeführt werden, um die verschiedenen Komponenten zu bestimmen, die in den oberen Ebenen der Struktur positioniert sind und einen Einfluss auf die von der Bremseinheit erzeugte Bremskraft haben können.

In diesem Schritt müssen die speziellen Bremssysteme nach ETCS SRS [11] identifiziert werden, um das Management verschiedener Bremskonfigurationen zu ermöglichen.

Sobald Geräte und Komponenten identifiziert sind, müssen die relevanten Merkmale definiert werden, die ihr Verhalten darstellen.

Bild 3 zeigt ein Beispiel für diese zweite Analyse.



Legende

- ^a Stromversorgung
^b Bremszylinderdruck
^c interne Abweichungen und Ausfälle
^d Raddurchmesser
^e Reibwert/Wirkungsgrad

Bild 3 — Beispiel für Einflusskomponente und relevante Merkmale

Dieser Schritt kann mithilfe von pneumatischen und elektrischen Zugdiagrammen und Funktionsbeschreibungen der Zugbremse erfolgen.

5.2.3 Schritt 2: Top-Down-Wirkungsanalyse

Ziel dieses Schritts 2 ist es, weitere Komponenten (z. B. Hardware, elektronische Steuerung, Software) zu identifizieren, die im Falle eines Ausfalls oder einer Abweichung Einfluss auf die Schnellbremskraft haben könnten.

ANMERKUNG Ausfälle mit gemeinsamer Ursache (en: common cause failures) von Software werden in der Softwareentwicklungsphase berücksichtigt (z. B. nach EN 50126-2) und in diesem Dokument nicht behandelt.

Diese anderen Komponenten sind möglicherweise nicht direkt an der Bremskrafterzeugung beteiligt, können jedoch im Fehlerfall Einfluss auf die Verzögerung des Zuges haben (z. B. gemeinsame Batterie für mehrere Magnetschienenbremsen).

Anhand einer Sicherheitsanalyse des Zuges, ausgehend von der zugweiten Schnellbremsschleife bis hin zur einzelnen Bremsseinheit muss es möglich sein, gemeinsame Modi für Bremsausstattungsgruppen und zusätzliche Komponenten, z. B. Steuerventile oder Lastabbremmung auf Fahrzeugebene, zu identifizieren.

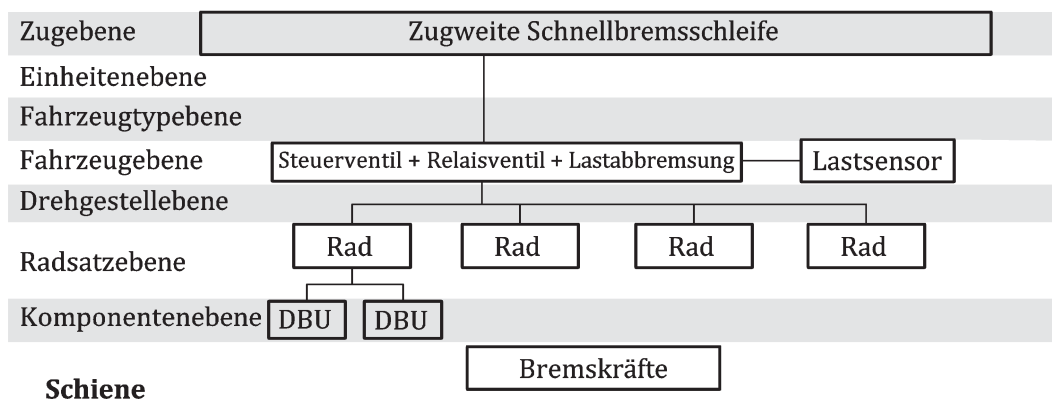


Bild 4 — Beispiel für gemeinsame Punkte und zusätzliche Komponenten, die an einem Reisezugwagen identifiziert wurden

Wie im Beispiel in Bild 4 dargestellt, hat die Top-Down-Auswirkungsanalyse einen gemeinsamen Punkt mit dem Steuerventil identifiziert, welches auf zwei Drehgestelle wirkt. Der Ausfall und die Parameter dieses Steuerventils wirken sich auf alle DBUs der beiden Drehgestelle aus.

Als Komponente mit Einfluss auf den Bremszylinderdruck des Steuerventils wurde auch der Lastsensor des Lastausgleichssystems identifiziert. Seine Ausfälle und Abweichungen wirken sich auf den Bremszylinderdruck und damit auf die Bremskraft aus.

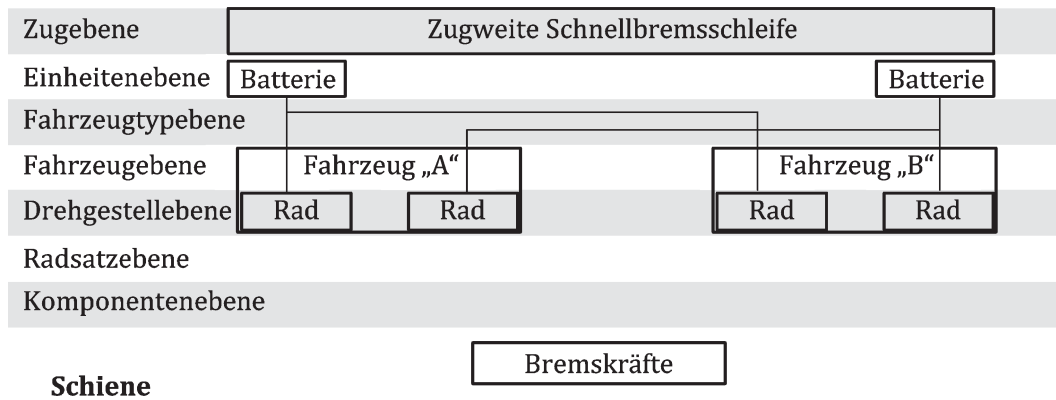


Bild 5 — Beispiel für Zusatzausrüstung mit Einfluss auf Magnetschienenbremsen

Wie im Beispiel in Bild 5 gezeigt, wurde die Batterie als gemeinsamer Punkt der Magnetschienenbremsen identifiziert.

Dieser Schritt 2 ermöglicht auch eine doppelte Überprüfung nach Schritt 1, um fehlendes Bremsverhalten zu vermeiden.

5.2.4 Schritt 3: Modellvereinfachung

Um die Rechenzeit zu verkürzen und unnötig komplexe Zugmodellierung zu vermeiden, können Möglichkeiten für Vereinfachungen untersucht werden. Vereinfachungen dürfen nicht angewendet werden, um im Vergleich zur direkten Umsetzung höhere Werte von $K_{dry}(C, V, EBCL)$ zu erreichen. Diese Vereinfachungen können nur vorgenommen werden, wenn stichhaltige Begründungen vorgelegt werden können. Einige Vereinfachungen sind in Anhang E detailliert aufgeführt. Beispiele in Anhang C wenden einige dieser Vereinfachungen an.

Die Begründung kann auf Instandhaltungsvorschriften, Sicherheitsbetrachtungen oder anderen Studien basieren, die das ähnliche Verhalten vieler Komponenten im Zug belegen.

Unter anderem sind folgende Vereinfachungen möglich (diese Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit):

S-1 Gruppierung von Komponenten und technischen Funktionen

Gruppierung ist ein Verfahren zur Reduzierung der Anzahl von Elementen im Rahmen der technischen Analyse. Das Verfahren kombiniert mehrere Komponenten mit gleichwertigem statistischen Eigenschaften (z. B. nur Gleichverteilungen oder nur Normalverteilungen) zu einer Baugruppe. Diese Baugruppe wird in der K_{dry} -Berechnung als eine Einheit betrachtet.

S-2 Betrachtung des ungünstigsten Falls (en: Worst Case)

Die Variation des Parameters kann vereinfacht werden, indem der Worst-Case-Wert bei der Berechnung von K_{dry} verwendet wird. Der betrachtete Worst-Case-Wert ist derjenige im wahrscheinlichen Bereich des betrachteten Parameters, der zur kleinsten Gesamtbremskraft führt.

S-3 Ausschluss eines sehr unwahrscheinlichen (en: highly improbable) Ausfallereignisses (sehr zuverlässige technische Funktion)

Wird der Ausfall einer Gruppe von einem oder mehreren identischen Bauteilen als sehr unwahrscheinliches Ereignis identifiziert, ist es möglich, die Ausfallrate der Bauteilgruppe in der Simulation zu vernachlässigen.

Um als „sehr unwahrscheinliches Ereignis“ zu gelten, muss die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses kleiner oder gleich 10^{-10} sein.

S-4 Reduzierung der Modellebenen

Durch Reduzierung der Modellebenen werden die Ausfallwahrscheinlichkeiten der miteinander verbundenen Komponenten auf verschiedenen Architekturebenen des Bremssystems zu einer Ausfallwahrscheinlichkeit zusammengefasst.

Dies kann dadurch erfolgen, dass die Ausfallwahrscheinlichkeit der entfallenden Ebene auf eine höhere Ebene übertragen wird. Die Elemente der entfallenden Ebene sollten in gemeinsamen statistischen Eigenschaften (Ausfallwahrscheinlichkeit und Verteilungsfunktion) zusammengefasst werden.

S-5 Annahme dauerhaft ausgefallener Komponenten

Wenn der Ausfall einer Kombination von n Komponenten in einer Gruppe von m identischen Komponenten als sehr unwahrscheinliches Ereignis identifiziert wird, können $(n-1)$ Komponenten als dauerhaft ausgefallen angesehen werden und die Ausfallwahrscheinlichkeit der $(m-n+1)$ verbleibende Komponenten wird nicht berücksichtigt.

S-6 Vereinfachung für automatische Lastabbremung

Da bei Zügen mit automatischer Lastabbremung die nominale Verzögerung die niedrigste Verzögerung für den gesamten Lastbereich darstellt (nach 4.4.1.2.4.2.1 in SUBSET-040, [12]), kann der Faktor $\frac{m_{\text{dyn,nom}}}{m_{\text{dyn}}(i)}$ in Gleichung (3) als konstant und gleich 1 angenommen werden und der Effekt der Lastabbremung wird bei der Berechnung des Korrekturfaktors β nicht berücksichtigt.

ANMERKUNG In diesem Vereinfachungsfall S-6 berücksichtigt $\beta_i(i, C, V)$ nicht den direkten Effekt der Lastabbremung, sondern kann die mögliche Abweichung der Lastabbremung (z. B. Toleranzen) berücksichtigen.

5.3 Mathematische Modellbildung basierend auf Schritt 1-3

Das nach Schritt 2 oder 3 (sofern zutreffend) erhaltene Diagramm wird verwendet, um Verknüpfungen zwischen den Grundgleichungen herzustellen, die das Verhalten der verschiedenen Bremseinheiten repräsentieren (Grundgleichungen siehe Anhang A).

Das Diagramm aus Schritt 3 muss verwendet werden, um zu definieren, welche Parameter der Bremseinheiten von denselben Komponenten auf einer höheren Zugebene beeinflusst werden, um ein globales Zugbremssystemarchitekturmodell zu erstellen, welches für die Berechnung von $K_{\text{dry}}(C, V, EBCL)$ verwendet werden kann.

Ergebnisse der am Zug durchgeführten dynamischen Versuche müssen auch zur Vervollständigung und Validierung des mathematischen Modells mit dem Anteil des Beitrags jedes Bremssystems zur Gesamtbremskraft des Zuges verwendet werden. In Bild 4 ist beispielsweise ein Drehgestell mit vier DBUs ausgestattet, die mit demselben Steuerventil verbunden sind. In der allgemeinen Gleichung haben also alle vier DBUs den gleichen Bremszylinderdruck.

Diese Verknüpfungen müssen für das vollständige Zugmodell aus Schritt 3 erstellt werden, um ein mathematisches Modell der Bremssystemarchitektur zu erstellen, das mit der Definition von $K_{dry}(C,V,EBCL)$ von SUBSET-026 [11] übereinstimmt: Siehe Gleichung (1) und Gleichung (2).

Für einen Fall „i“, auf ebener, gerader und trockener Strecke ohne Berücksichtigung des Windes, kann der Parameter $K_i(C,V)$ nach Gleichung (3) definiert werden:

$$K_i(C,V) = \frac{A(i,C,V)}{A_{nominal}(C,V)} = \frac{F_{train,brake}(i,C,V)}{m_{dyn}(i)} \times \frac{m_{dyn,nom}}{F_{train,brake,nom}(C,V)}$$

$$= \frac{\sum_j [\alpha_j(C,V) \times \beta_j(i,C,V) \times F_{train,brake,nom}(C,V)] - \sum_k [\alpha'_k(C,V) \times \beta'_k(i,C,V) \times F_{train,brake,nom}(C,V)]}{F_{train,brake,nom}(C,V) \times \frac{m_{dyn}(i)}{m_{dyn,nom}}}$$

$$= \frac{[\sum_j [\alpha_j(C,V) \cdot \beta_j(i,C,V)] - \sum_k [\alpha'_k(C,V) \cdot \beta'_k(i,C,V)]]}{\frac{m_{dyn}(i)}{m_{dyn,nom}}} \quad (3)$$

dabei ist

$m_{dyn,nom}$	die dynamische Masse des Zuges in nominaler Konfiguration, ausgedrückt in kg;
$m_{dyn}(i)$	die dynamische Masse des Zuges für den Fall „i“, ausgedrückt in kg;
C	die Bezeichnung der Konfiguration der Bremsen (Kombination aus speziellen Bremssystemen, Betrieb mit gesteuerten (ausgeschalteten) getrennten Bremsen, Mehrfachtraktionsbetrieb usw.);
V	die Bezeichnung des Geschwindigkeitsintervalls;
i	der Fall, der einer zufällig ausgewählten Kombination von Parametern entspricht, die die Bremskraft und das Ausfallverhalten beeinflussen (für Konfiguration C);
j	die Bezeichnung der Bremseinheit(en), die alle an einer ETCS-Schnellbremsung beteiligten Bremseinheiten umfasst;
k	die Identifikation des/der Antriebseinheiten, die alle Antriebseinheiten des Zuges abdeckt;
$\alpha_j(C,V)$	der Gewichtungsfaktor der Bremseinheit „j“, im Nominalfall, für das Geschwindigkeitsintervall V und die Bremskonfiguration C; dieser wird in 7.3.2 bestimmt;
$\beta_j(i,C,V)$	der Faktor, der das Produkt aller Abweichungen und Ausfälle darstellt, die sich auf die Bremskraft der Bremseinheit „j“ im Fall „i“ auswirken, für das Geschwindigkeitsintervall V und die Bremskonfiguration C; dieser wird in 7.3.3 bestimmt;
$\alpha'_k(C,V)$	das Verhältnis der maximalen Kraft, die die Antriebseinheit „k“ im nominalen Zustand (alle Antriebseinheiten in Betrieb) für das Geschwindigkeitsintervall V und die Bremskonfiguration C erzeugt, im Vergleich zur nominalen Bremskraft auf Zugebene in derselben Konfiguration $F_{train,brake,nom}(C,V)$; dieses wird in 7.3.4 bestimmt;

$\beta'_k(i, C, V)$ der Faktor, der die Wahrscheinlichkeit von Fehlern bei der Traktionsabschaltung nach Auslösung einer Schnellbremsung darstellt, die zu einer Verringerung der Gesamtbremskraft des Zugs durch Erzeugung einer Traktionskraft durch die Antriebseinheit „k“ im Zustand „i“ für das Geschwindigkeitsintervall V und die Bremskonfiguration C führen; dieser wird in 7.3.4 bestimmt;

$F_{\text{train,brake,nom}}(C, V)$ die Bremskraft auf Zugebene im nominalen Zustand, für das Geschwindigkeitsintervall V und die Bremskonfiguration C, in N

ANMERKUNG 1 Die dynamische Masse ist die Summe der statischen Masse und der rotierenden Masse.

ANMERKUNG 2 Durch Berücksichtigung der maximalen nominalen Zugkraft ist es nicht notwendig, die Abweichungen von Parametern zu berücksichtigen, die die Zugkraft beeinflussen.

6 Eingangsgrößen

6.1 Allgemeines

Das aus der Funktions- und Fehleranalyse (Abschnitt 5) erstellte mathematische Modell hebt alle relevanten Bremsseinheiten hervor, die an der Schnellbremsung beteiligt sind, wie z. B. Scheibenbremsseinheiten usw. Es identifiziert auch andere Komponenten der Bremsarchitektur des Zuges, die Einfluss auf das Verhalten der Basiseinheit haben.

Jede Bremsseinheit kann anhand ihrer relevanten Parameter modelliert werden (siehe Anhang A für allgemeine Parameter der Bremsseinheiten), wobei auch allgemeine Daten auf Zugebene berücksichtigt werden.

Alle diese Parameter, die im mathematischen Modell berücksichtigt werden, sind Eingangsgrößen für die Berechnung von $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$.

Zur Verwendung durch die Monte-Carlo-Methode müssen alle Eingangsgrößen als statistische Größen definiert werden.

Die statistische Beschreibung der Eingangsgrößen ist abhängig von ihrer Auswirkung und ihrem Verhalten auf den Zug.

Abhängig von dieser Auswirkung ist eine Verteilungsfunktion auszuwählen.

Tabelle 2 enthält eine Beschreibung der gängigen Verteilungsfunktionen und der Frage in welchen Fällen diese verwendet werden können. Jede andere statistische Verteilung darf verwendet werden, wenn dies durch Daten gerechtfertigt ist.

Tabelle 2 — Beispiele für mögliches statistisches Verhalten

Verteilung	Eingangsgrößen	Anwendbar für
Bernoulli	Ausfallwahrscheinlichkeit	Technische Funktionen
Normal	Mittelwert und Streuung	Physikalische Parameter mit einem Verteilungsmaximum ohne Grenzen
Normal mit Grenzen	Mittelwert, Streuung, Maximal- und Minimalwert	Physikalische Parameter mit einem Verteilungsmaximum mit Grenzen
Gleich	Maximal- und Minimalwert	Physikalische Parameter mit Gleichverteilung zwischen den Grenzwerten
Beta-Verteilung	Positive Formparameter Alpha und Beta	Physikalische Parameter mit kontinuierlicher (symmetrischer und asymmetrischer) Verteilung mit Grenzen

6.2 Herkunft der statistischen Definition der Eingangsgrößen

Abhängig vom Projekttyp (neuer Zug oder bereits im Betrieb befindlicher Zug, der mit ETCS ausgerüstet werden soll) können die Informationen, die zur Definition der statistischen Beschreibung der einzelnen Eingabedaten verwendet werden, vom Komponentenlieferanten, vom Fahrzeughersteller oder vom Eisenbahnunternehmen bereitgestellt werden. Die statistischen Informationen zur Häufigkeit von Komponentenausfällen müssen berücksichtigt werden, wie in 7.3.3 und Anhang F dargestellt.

Die Herkunft der Informationen für die einzelnen Eingangsgrößen muss dokumentiert werden, um die Repräsentativität der Eingabedefinition in Bezug auf das Zugverhalten zu rechtfertigen.

In jedem Fall muss die zur Definition der statistischen Eingangsgrößen verwendete Methode die Wartungstoleranzen und den angewendeten Wartungsplan berücksichtigen.

Die für die Simulation verwendeten statistischen Verteilungen müssen so definiert werden, dass sie die physikalisch korrekte Varianz um die Nominalbedingungen beschreiben.

6.3 Gültigkeit der Eingangsgrößen

Die für die Ermittlung der ETCS-Schnellbremsparameter verwendeten Eingangsgrößen sind grundsätzlich gültig, solange sich die Zugeigenschaften und die entsprechenden Wartungsanforderungen nicht ändern.

Während der Lebensdauer des Schienenfahrzeugs muss die Wartung angepasst oder es müssen die fahrzeugspezifischen ETCS-Parameter neu berechnet werden, wenn die Eingangsgrößen außerhalb des Bereichs (Nominalwert und Toleranz/Verteilung/Ausfallrate) liegen, der bei der Ermittlung der Bremsparameter verwendet wurde (nominale Verzögerung A_{nominal} , äquivalente Ansprechzeit t_e , $K_{\text{dry}}(C, V)$, EBCL) und $K_{\text{wet}}(C, V)$).

ANMERKUNG 1 Die Ausfallwahrscheinlichkeit von Geräten/Funktionen/Software hängt eng mit dem Umfang und der Häufigkeit betrieblicher Bremsproben zusammen. Dies ist jedoch nicht Teil dieses Dokuments.

Die relevanten Zugeigenschaften sind:

— nominale Verzögerung A_{nominal} und äquivalente Ansprechzeit t_e .

Die nominale Verzögerung A_{nominal} und die äquivalente Ansprechzeit t_e können sich ändern, wenn sich beispielsweise Massen (aufgrund von Änderungen/Modernisierungen) oder Bremskräfte (Änderungen der Reibmaterialien, Änderungen der Bremszylinderdrücke) oder die Bremssteuerungen ändern (anderes Fahrerbremssventil, andere Steuerventile, Leitungsanordnungen, anderes Volumen der Bremsbehälter).

ANMERKUNG 2 Dies ist keine erschöpfende Liste; weitere Aspekte können die nominale Verzögerung A_{nominal} oder die äquivalente Ansprechzeit t_e beeinflussen.

— Korrekturfaktoren für Schienenfahrzeuge $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$ und $K_{\text{wet}}(C, V)$.

$K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$ kann sich ändern, wenn andere Komponenten verwendet werden oder sich die Instandhaltungsvorschriften ändern.

$K_{\text{wet}}(C, V)$ kann sich ändern, wenn sich das WSP-Gerät (nach aktueller Definition in SUBSET-040) oder die Parametrierung ändert (z. B. Be-/Entlastungszeiten, max. Verzögerung).

Einfluss auf diese Eigenschaften erfordern eine Überprüfung und ggf. Neubewertung der relevanten Bremsparameter.

7 Bestimmung der Parameter des ETCS-Schnellbremsmodells

7.1 Parameter

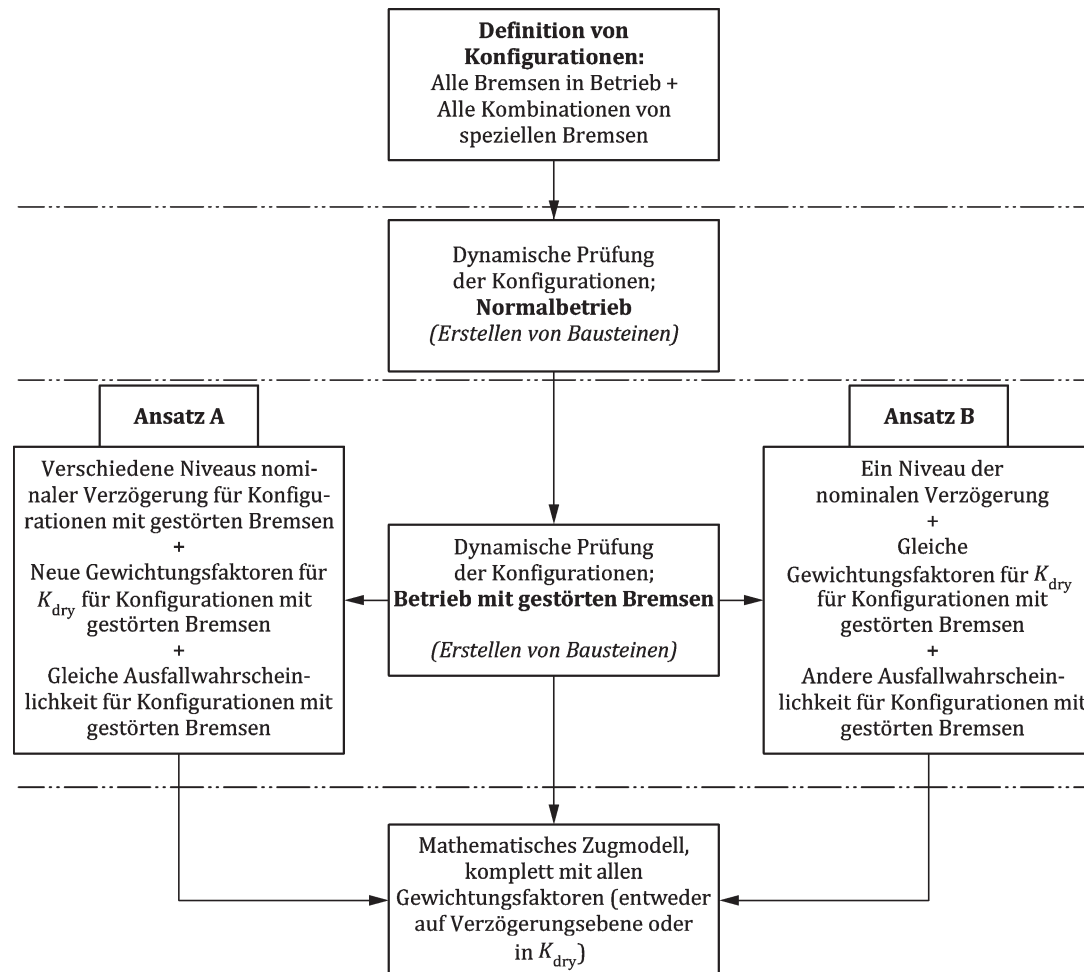
7.1.1 Allgemeines

Das Bremsvermögen und seine Geschwindigkeitsabhängigkeit für Züge in bestimmten Konfigurationen bei Schnellbremsungen (bei deren Anforderung durch ETCS) werden durch die „nominale Schnellbremsverzögerung“ ($A_{\text{nominal}}(C, V)$) charakterisiert. Diese nominale Verzögerungscharakteristik gilt für die nominale Situation, also den theoretischen Zustand, bei dem es keine Abweichungen gibt, die die Verzögerungscharakteristik beeinflussen.

Dies ist theoretisch, da immer Abweichungen vorhanden oder zumindest möglich sind, die nicht zum nominalen Verhalten führen. Damit ETCS ein sicheres System (im Hinblick auf Sicherheitsanforderungen) ist, wird daher nicht die nominale Verzögerung verwendet, sondern die „sichere Schnellbremsverzögerung“ ($A_{\text{brake safe dry}}(C, V, \text{EBCL})$). Diese sichere Bremsverzögerung wird durch Anwendung des fahrzeugspezifischen Korrekturfaktors $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$ bestimmt, der dem Vertrauensniveau der sicheren Schnellbremsverzögerung entspricht, wie streckenseitig (nationaler Wert des Vertrauensniveaus für Schnellbremsungen (EBCL)) für die nominale Verzögerung gefordert. Dies ist eine Anwendung von Gleichung (1) (wenn eine Schnellbremsung auf trockenen Schienen ausgelöst wird (ohne Berücksichtigung von $K_{\text{wet}}(C, V)$):

$$A_{\text{brake safe dry}}(V, \text{EBCL}) = K_{\text{dry}}(V, \text{EBCL}) \times A_{\text{nominal}}$$

Um die sichere Schnellbremsverzögerung für den Betrieb mit gestärkten Bremsen zu bestimmen, werden im Allgemeinen zwei gängige Methoden verwendet, die sich in ihrem Ansatz vor einem historischen, institutionen- oder unternehmensspezifischen Hintergrund unterscheiden. Letztlich ist es unerheblich, welcher Ansatz verfolgt wird. Obwohl die nominale Verzögerung und der Korrekturfaktor $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$ unterschiedlich gehandhabt werden, ergibt sich im Ergebnis die gleiche Charakteristik der sicheren Schnellbremsverzögerung. Für die allgemeine Definition der ETCS-Bremsparameter sind daher beide Ansätze zulässig. Sie liefern trotz der Verwendung zweier unterschiedlicher Herleitungen das gleiche Ergebnis (siehe Bild 6). Weitere Einzelheiten zu den Ansätzen finden sich unter 7.1.2.



Definition von Konfigurationen (siehe 7.2.2.4, Tabelle 4).

Versuche mit den Bedingungen von 7.2.2.2 und Geschwindigkeiten nach 7.2.2.3.

Versuche im Normalbetrieb, siehe 7.2.2.4

Definition des Beitrags jedes (speziellen) Bremssystems und der Geschwindigkeitsbereiche anhand dynamischer Versuchsergebnisse; Normalbetrieb.

Versuche mit gestörten Bremsen, siehe 7.2.2.5.

Definition des Beitrags jedes (speziellen) Bremssystems und der Geschwindigkeitsbereiche anhand dynamischer Versuchsergebnisse; Betrieb mit gestörten Bremsen.

Für realen Zug repräsentatives Berechnungsmodell, siehe 7.2.3.

Möglichkeit zur Berechnung anderer Konfigurationen im Normalbetrieb oder im Betrieb mit gestörten Bremsen.

Bild 6 — Schritte und zugehörige Unterabschnitte zur Ermittlung validierter Verzögerungswerte (durch Versuche und/oder Berechnung)

In 7.1.2 bis 7.1.4 wird detailliert beschrieben, wie alle ETCS-Bremsparameter ermittelt werden. Der allgemeine Ablauf ist für beide Optionen derselbe. Lediglich die Anzahl der Parameter und deren Werte können für definierte Zugkonfigurationen unterschiedlich sein.

7.1.2 ETCS-Bremsparametersätze

Ansatz A und B sind für den Normalbetrieb gleich, unterscheiden sich jedoch in der Art und Weise, wie die Auswirkung des Betriebs mit gestörten Bremsen auf die nominale Verzögerung und die Ermittlung von $K_{dry}(C, V, EBCL)$ berücksichtigt wird. Die Bestimmung von $K_{wet}(C, V)$, der Ansprechzeit der Schnellbremsung t_e oder der Traktionsabschaltzeit t_{tco} ist für beide Ansätze gleich.

Ansatz A: Dieser bestimmt die sichere Schnellbremsverzögerung beim Betrieb mit gestörten Bremsen, z. B. der ausgeschalteten Druckluftbremse eines Drehgestells, um die Auswirkung auf den Wert der nominalen Verzögerung zu bestimmen (Verwendung mehrerer nominalen Verzögerungswerte). Der nominale Verzögerungswert für den Normalbetrieb wird für die spezifischen Konfigurationen des Betriebs mit gestörten Bremsen auf einen niedrigeren nominalen Verzögerungswert (im Vergleich zum Normalbetrieb) reduziert. Dies wird mit der Bestimmung von $K_{dry}(C, V, EBCL)$ kombiniert, wobei nur die Elemente derselben Konfiguration im Betrieb mit gestörten Bremsen verwendet werden, z. B. mit der ausgeschalteten Druckluftbremse eines Drehgestells. Daher werden für diese Konfiguration bei der Bestimmung von $K_{dry}(C, V, EBCL)$ keine weiteren Angaben zur ausgeschalteten Druckluftbremse eines Drehgestells benötigt. Die gleiche Methode wird für die anderen Modi des Betriebs mit gestörten Bremsen verwendet. Ausgeschaltete Bremsseinheiten werden bei der Bestimmung von $K_{dry}(C, V, EBCL)$ nicht mehr berücksichtigt. Daraus ergeben sich neue Gewichtungsfaktoren (für die Bestimmung von $K_{dry}(C, V, EBCL)$) für die verbleibenden betriebstauglichen Bremsseinheiten.

Ansatz B: Dieser bestimmt die sichere Schnellbremsverzögerung unter Verwendung einer unveränderten nominalen Verzögerung (des Normalbetriebs) und berücksichtigt die Auswirkung im Betrieb mit gestörten Bremsen, indem nur die Ausfallwahrscheinlichkeiten bei der Bestimmung des Korrekturfaktors $K_{dry}(C, V, EBCL)$ (z. B. für die ausgeschaltete Druckluftbremse eines Drehgestells als Eingabewert) angepasst werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei der Bestimmung der Auswirkungen des Betriebs mit gestörten Bremsen die Ergebnisse derselben dynamischen Versuchskonfigurationen je nach gewähltem Ansatz unterschiedlich verwendet werden (siehe Tabelle 3):

- Ansatz A verwendet dynamische Bremsversuchsergebnisse, um für jede Konfiguration des Betriebs mit gestörten Bremsen unterschiedliche Niveaus der nominalen Verzögerung zu bestimmen. Dabei werden gestörte bzw. ausgeschaltete Bremsseinheiten nicht mehr bei der Berechnung von $K_{dry}(C, V, EBCL)$ berücksichtigt, z. B. indem man sie entweder aus der Berechnung von $K_{dry}(C, V, EBCL)$ löscht oder deren Anteile an der Gesamtbremskraft gleich 0 setzt.
- Bei Ansatz B bleibt die nominale Verzögerung (im Normalbetrieb) unverändert. Stattdessen werden dynamische Bremsversuchsergebnisse verwendet, um Gewichtungsfaktoren bei der Bestimmung von $K_{dry}(C, V, EBCL)$ zu bestimmen, wobei alle Bremsseinheiten Teil der Berechnung von $K_{dry}(C, V, EBCL)$ sind. Die Ausfallwahrscheinlichkeit für gestörte bzw. ausgeschaltete Bremsseinheiten wird auf 1 (100 %) gesetzt.

Eine weitere Detaillierung der Wirkung der zwei Ansätze bei der Bestimmung von $K_{dry}(C, V, EBCL)$ findet sich in 7.1.3. Tabelle 3 zeigt, wie die Ansätze A und B den Betrieb mit gestörten Bremsen unterschiedlich handhaben.

Tabelle 3 — Ansätze A und B zur Bestimmung sicherer Verzögerungen für Normalbetrieb und Betrieb mit gestörten Bremsen (für 1 bis n verschiedene Kombinationen von speziellen Bremssystemen)

Aktive Bremsen	Ansatz A		Ansatz B	
	Normal-betrieb	Betrieb mit gestörten Bremsen ^a	Normal-betrieb	Betrieb mit gestörten Bremsen ^a
Alle speziellen Brems-systeme aktiv	A_{nominal}	$A_{\text{nominal_degraded}}$	A_{nominal}	
		$(= (1 - \alpha_{\text{tot isolated}}) \times A_{\text{nominal}})$		
	K_{dry}	$K_{\text{dry_degraded_A}}$	K_{dry}	$K_{\text{dry_degraded_B}}$
				$(= (1 - \alpha_{\text{tot isolated}}) \times K_{\text{dry_degraded_A}})$
	K_{wet}		K_{wet}	
	t_{eEB}		t_{eEB}	
	t_{tco}		t_{tco}	
Spezifische Kombina-tionen von speziellen Brems-systemen aktiv (Nr. 1 bis Nr. n)	$A_{\text{nominal},1..n}$	$A_{\text{nominal_degraded},1..n}$ $= (1 - \alpha_{\text{tot isolated}}) \times A_{\text{nominal},1..n}$	$A_{\text{nominal},1..n}$	
	$K_{\text{dry},1..n}$	$K_{\text{dry_degraded_A},1..n}$	$K_{\text{dry},1..n}$	$K_{\text{dry_degraded_B},1..n}$ $(= (1 - \alpha_{\text{tot isolated}}) \times K_{\text{dry_degraded_A},1..n})$
	$K_{\text{wet}} \text{ oder } K_{\text{wet}, 1..n}$		$K_{\text{wet}} \text{ oder } K_{\text{wet}, 1..n}$	
	$t_{\text{eEB}} \text{ oder } t_{\text{eEB}, 1..n}$		$t_{\text{eEB}} \text{ oder } t_{\text{eEB}, 1..n}$	
	t_{tco}		t_{tco}	

^a Komponente(n) zu Beginn der Fahrt ausgeschaltet. $\alpha_{\text{tot isolated}}$ = Summe der Gewichtungsfaktoren der zu Beginn der Fahrt ausgeschalteten Komponente(n).

7.1.3 Abhängigkeit des Ansatzes

Die Ergebnisse der dynamischen Bremsversuche im Normalbetrieb und im Betrieb gestörter Bremsen werden verglichen, um den absoluten Beitrag jedes Bremssystems zur Gesamtbremskraft zu bestimmen und um Gewichtungsfaktoren für die spezifischen Bremssysteme für den Normalbetrieb zu definieren. Siehe Gleichung (4).

$$\alpha_{\text{specific brake type}} = \frac{\text{Gesamte nominale Bremskraft der spezifischen Bremse}}{\text{Gesamte nominale Bremskraft für Normalbetrieb}} \quad (4)$$

Dies wird aus der Änderung des Bremskraftbeitrags in bestimmten Betriebsarten mit gestörten Bremsen bestimmt. Diese Gewichtungsfaktoren können verwendet werden, um zu validieren, ob die angenommenen Gewichtungsfaktoren des spezifischen Bremsentyps korrekt sind oder angepasst werden müssen.

α besitzt eine Konfigurations- und Geschwindigkeitsabhängigkeit ($\alpha(C,V)$). Diese ist als Stufenfunktion der Geschwindigkeit mit den gleichen Geschwindigkeitsintervallen wie für $A_{\text{nominal}}(C,V)$ anzugeben.

Bei **Ansatz A**: Werte für $\alpha_{\text{specific brake type}}$ werden verwendet, um die nominale Verzögerungen für den Betrieb mit gestörten Bremsen zu bestimmen (die zu Beginn der Zugfahrt ausgeschalteten Komponente(n) werden mit der Summe der Gewichtungsfaktoren dargestellt: $\alpha_{\text{tot isolated}} = \sum \alpha(\text{spezifisches Bremssystem ausgeschaltet})$). Die Berechnung ist in Gleichung (5) angegeben.

$$A_{\text{nominal degraded}} = (1 - \alpha_{\text{tot isolated}}) \times A_{\text{nominal}} \quad (5)$$

Die resultierenden Gewichtungsfaktoren, die für die Simulation benötigt werden, sind in Gleichung (6) dargestellt (wobei der Anteil der einzelnen Bremse an der Gesamtbremskraft bei ausgeschalteten Bremsen 0 beträgt).

$$\alpha_{\text{specific brake type, degraded mode}} = \frac{\text{gesamte nominale Bremskraft der spezifischen Bremse}}{(1 - \alpha_{\text{tot isolated}}) \times \text{gesamte nominale Bremskraft für Normalbetrieb}} \quad (6)$$

$P_{\text{specific brake type}}$ ist für den Betrieb mit gestörten Bremsen immer gleich dem $P_{\text{specific brake type}}$ für den Normalbetrieb.

Bei **Ansatz B**: Die nominale Verzögerung für den Betrieb mit gestörten Bremsen und für den Normalbetrieb bleibt gleich. Weiterhin werden die Werte für $\alpha_{\text{specific brake type}}$ zusammen mit der Ausfallwahrscheinlichkeit ($P_{\text{specific brake type}}$) festgelegt. Die Berechnung ist in Gleichung (7) angegeben.

$$A_{\text{nominal degraded}} = A_{\text{nominal}} \quad (7)$$

$$\alpha_{\text{specific brake type, degraded mode}} = \alpha_{\text{specific brake type}}$$

und

$$P_{\text{specific brake type, degraded mode}} = P_{\text{specific brake type, normal mode}}$$

dabei ist

$$P_{\text{specific brake type, degraded mode}} = 1 \text{ für ausgeschaltete Bremsen.}$$

7.1.4 Genauigkeit der ETCS-Bremsparameter

Zu den ETCS-Bremsparametern gehören $A_{\text{nominal}}(C, V)$, $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$ und $K_{\text{wet}}(C, V)$. Diese Daten müssen für alle im ETCS-Betrieb relevanten Zugkonfigurationen definiert werden. Dabei müssen $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$ und $K_{\text{wet}}(C, V)$ auf 0,01 und A_{nominal} auf 0,01 m/s² gerundet werden. Die Zeiten t_e und t_{tco} müssen auf 0,1 s gerundet werden. Die Werte werden mathematisch gerundet.

7.2 Nominale Verzögerung für Schnellbremsungen

7.2.1 Allgemeines

Die Bestimmung von A_{nominal} erfolgt in Übereinstimmung mit EN 16834:2019. Es werden dynamische Bremsversuche durchgeführt, um Eingangsdaten zur Bestimmung der Werte für Parametersätze mit maximal sieben Geschwindigkeitsintervallen zu sammeln, die den gesamten Geschwindigkeitsbereich abdecken. Der Parametersatz enthält neben dem nominalen Verzögerungsprofil (a_{bi} in EN 16834) auch Werte für die äquivalente Ansprechzeit t_e (siehe 7.5). Diese Daten werden für jede Bremskonfiguration C ermittelt.

Im Allgemeinen wird ein System von Bausteinen spezifischer Konfigurationen verwendet, welches durch dynamische Versuche validiert wurde, um Bremsberechnungen für andere Konfigurationen zu erstellen. Da die Bremsberechnung auf validierten Bausteinen aufbaut, kann auch die resultierende Konfiguration dann als (indirekt) validiert betrachtet werden. Sowohl für Normalbetrieb als auch für den Betrieb mit gestörten Bremsen ist diese Methode zum Erstellen validierter Bausteine und abgeleiteter Bremsberechnungen möglich.

7.2.2 bis 7.2.5 geben die Gesamtstruktur der Bestimmungsmethoden mit allgemeinen Beschreibungen und Verweisen auf spezifische Inhalte der EN 16834:2019 wieder, welche für diese Methode gelten; wo nötig mit ergänzenden Informationen und Anforderungen zur EN 16834:2019.

Aus Kostengründen muss die Anzahl dynamischer Bremsversuche, die zur Bestimmung der nominalen Verzögerung erforderlich sind, minimiert werden. Dies wird durch Verwendung einer Methode erreicht, bei der die Versuche nur für bestimmte Kombinationen von Bremssteuerungen und Bremssystemen durchgeführt werden. Diese Kombinationen werden so gewählt, dass sie validierte Informationen für jede der verwendeten Bremssteuerungen und Bremssysteme ergeben. Diese Informationen können als validierte „Bausteine“ für jedes System betrachtet werden, die anschließend in Bremsberechnungen verwendet werden können, um die nominale Verzögerung für ungeprüfte Kombinationen aus Bremssteuerungen und Bremssystemen zu bestimmen. Da die Bausteine validiert sind, gelten auch die aus diesen Blöcken erstellten Bremsberechnungen als validiert.

In 7.2.2 und 7.2.3 wird diese Methode näher erläutert, einschließlich der Bestimmung der nominalen Verzögerung für Normalbetrieb und Betrieb mit gesteuerten Bremsen.

7.2.2 Ermittlung durch dynamische Bremsversuche

7.2.2.1 Allgemeines

Die Bestimmung von A_{nominal} durch dynamische Bremsversuche muss nach EN 16834:2019, Abschnitt 7 erfolgen. In 7.2.2.4 sind die Kombinationen der zu prüfenden Bremssteuerungen und Bremssysteme für den Normalbetrieb angegeben. In 7.2.2.5 ist dies für den Betrieb mit gesteuerten Bremsen angegeben.

7.2.2.2 Bedingungen für dynamische Bremsversuche

Die Bedingungen für die Bestimmung der nominalen Schnellbremsverzögerungen (Umgebungs- und Nominalbedingungen, einschließlich Last) werden durch SUBSET-040 [12] festgelegt. Umgebungs- und Nominalbedingungen nach SUBSET-040 sind in EN 16834:2019, 6.4 und 6.6 definiert.

7.2.2.3 Bremsausgangsgeschwindigkeiten

Da Bremsungen aus der Höchstgeschwindigkeit – im Vergleich zu Bremsungen aus niedrigeren Bremsausgangsgeschwindigkeiten – nicht immer zur niedrigsten Verzögerung führt (siehe EN 16834:2019, 7.3.2.1), z. B. abhängig vom Verhalten des Reibmaterials von der Bremsausgangsgeschwindigkeit, müssen möglicherweise mehrere Bremsausgangsgeschwindigkeiten für dynamische Bremsversuche verwendet werden als nur die maximale Auslegungsgeschwindigkeit.

Für jede Bremsausgangsgeschwindigkeit müssen die Ergebnisse von mindestens vier ETCS-Schnellbremsversuchen verwendet werden.

Die Bremsausgangsgeschwindigkeiten bei den Versuchen müssen Geschwindigkeiten bis zur bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit des Zuges mit Stufen von höchstens 40 km/h umfassen. Die Bremsausgangsgeschwindigkeiten bei den Versuchen sollten die maximale Auslegungsgeschwindigkeit des Zuges zuzüglich der Übergeschwindigkeit umfassen, um die Geschwindigkeitstoleranz für die ETCS-EBI-Kurve zu berücksichtigen (Bergeschwindigkeit ist in SUBSET-026-3, 3.13.9.2.3, [11] definiert). Anderenfalls ist ein Koeffizient ≤ 1 basierend auf dem Reibungsverhalten nach [11] (aus Prüfstandsergebnissen oder aus der Extrapolation dynamischer Versuche) auf $A_{\text{nominal}}(C, V)$ für das Geschwindigkeitsintervall anzuwenden, das diese Bergeschwindigkeit abdeckt. Wenn sich die Bremsverzögerung bei bestimmten Geschwindigkeiten aufgrund der Architektur des Bremssystems erheblich ändert (z. B. minimale Geschwindigkeit bei MTB-Betätigung, Hoch-/Niedrigabbremung), müssen Versuche für diese spezifischen Geschwindigkeiten durchgeführt werden.

ANMERKUNG Verordnung (EU) Nr. 1302/2014 der Kommission, EN 16185-1, EN 15734-1, EN 16834 sehen einige Bremsausgangsgeschwindigkeiten vor, die diese Anforderung abdecken.

Wenn in bestimmten Geschwindigkeitsintervallen die für kleinere Bremsausgangsgeschwindigkeiten als $v_{\max}$ berechneten nominalen Verzögerungswerte a_{bi} niedriger als die für $v_{\max}$ ermittelten Werte sind, dann müssen die niedrigsten Verzögerungswerte a_{bi} verwendet werden.

7.2.2.4 Normalbetrieb

Die Bestimmung der nominalen Verzögerung mittels dynamischer Bremsversuche ist für beide Ansätze A und B gleich, da die Versuche im Normalbetrieb für beide Ansätze anwendbar ist.

Tabelle 4 gibt die minimalen Kombinationen von Bremssteuerungen und Bremssystemen an, die geprüft werden müssen (mittels dynamischer Bremsversuche, durchgeführt bei den Geschwindigkeiten aus 7.2.2.3). Die Kombinationen in Tabelle 4 sind erforderlich, um Parameterwerte (oder Parametersätze) automatisch umschalten zu können, wenn sich entweder die streckenseitigen Vorgaben (Verwendung spezieller Bremssysteme verboten oder zugelassen) oder ein bestimmter Bremsstatus (aktiv/nicht aktiv) ändern.

Für andere Kombinationen sind entweder zusätzliche dynamische Bremsversuche oder Bremsberechnungen (nach EN 14531-1:2015+A1:2018 oder EN 14531-2:2015) als Eingabe zulässig, um die nominalen Verzögerungen (A_{nominal} , siehe 7.2) und/oder die äquivalente Ansprechzeit (t_e , siehe 7.5) für bestimmte Bremssteuerungen und Bremssysteme zu bestimmen. Siehe 7.2.3 für den Fall, dass Bremsberechnungen verwendet werden.

Tabelle 4 —Mindestens zu berücksichtigende Kombinationen von aktiven Bremssteuerungen/Bremssystemen für dynamische Bremsversuche – Normalbetrieb

Versuch		Aktive Bremssteuerungen-/-Bremssysteme			
		Hauptbremssystem	Spezielles Bremssystem ^a		
		Für alle möglichen Bremsstellungen und Bremssysteme außer den speziellen Bremssystemen Sonderbremsen (über pneumatische ^b oder direkte elektropneumatische (EP) Bremssteuerung ^c)	Regenerative Bremse	Magnet-schienen-bremse	Wirbel-strom-bremse
Bedingungen für dynamische Bremsversuche	Schnellbremsung	X			
	Schnellbremsung, nur bei aktivierter ED-Bremse	X	X ^d		
	Schnellbremsung, nur wenn MTB vorhanden ist und aktiviert werden darf	X	X ^d	X	
	Schnellbremsung, nur wenn Wirbelstrombremse vorhanden ist und aktiviert werden darf	X	X ^d		X
^a Eine ED-Bremse kann eine rheostatische oder regenerative Bremse sein. Lediglich die regenerative Bremse ist für ETCS ein spezielles Bremssystem (abhängig von den streckenseitigen Vorgaben – track conditions). Beide Typen müssen jedoch geprüft werden, falls die ED-Bremse aktiviert wird. ^b Wenn eine ep-Bremse vorhanden ist, werden die dynamischen Versuche für das Hauptbremssystem mit aktiver ep-Bremse durchgeführt (Verfügbarkeit/Ausfall der ep-Bremse ist in diesem Fall Teil der Bestimmung von $K_{dry}(C, V, EBCL)$). ^c Falls die indirekte Bremse (über die Hauptluftleitung) durch eine direkte elektrische Bremssteuerung ersetzt wird. ^d Nur wenn die regenerative Bremse bei einer Schnellbremsung aktiviert wird.					

7.2.2.5 Betrieb mit gestörten Bremsen

Dynamische Bremsversuche im Betrieb mit gestörten (ausgeschalteten) Bremsen werden für die Ansätze A und B gleichermaßen durchgeführt.

Für die Versuche im Betrieb mit gestörten Bremsen gilt das gleiche Prinzip wie für den Normalbetrieb. Dynamische Bremsversuche mit einem ausgeschalteten Teilbremssystem (eines Drehgestelles, eines Radsatzes usw.) werden in Kombination mit den Ergebnissen der dynamischen Bremsversuche des Normalbetriebs (wie in 7.2.2.4 beschrieben) verwendet, um validierte Informationen für die geprüften Betriebsarten mit gestörten Bremsen zu ermitteln (durch Vergleich der Ergebnisse des Normalbetriebs mit denen des Betriebs mit gestörten Bremsen für geprüfte Konfigurationen).

Das unterste auszuschaltende Element befindet sich auf Drehgestellebene. Detailliertere Informationen für Teile der Basiseinheit (die unabhängig voneinander ausgeschaltet werden können) unterhalb der

Drehgestellebene (z. B. Rads tze usw.) sind aus den Informationen auf Drehgestellebene abzuleiten (z. B. betr gt f r zwei Rads tze mit einer 50/50-Bremskraftverteilung auf Drehgestellebene der Bremskraftanteil jedes Radsatzes 50 % der Bremskraft des Drehgestells).

Wird dies f r alle Bremssysteme wiederholt, f r welche der Betrieb mit gest rten Bremsen m glich ist, erh lt man validierte Informationen f r alle Betriebsarten mit einem ausgeschalteten Teilbremssystem. Diese validierten Informationen werden f r Berechnungen anderer Konfigurationen des Betriebs mit gest rten Bremsen verwendet (siehe 7.2.4).

Wenn Bremseinheiten von der Stromversorgung abh ngen, m ssen die Informationen zur Abschaltung aller Bremseinheiten nicht gepr ft werden, da diese Informationen bereits von den entsprechenden Versuchen im Normalbetrieb abgeleitet werden, wie in 7.2.2.4 beschrieben.

Tabelle 5 — Mindestens zu bercksichtigende Kombinationen von aktiven Bremssteuerungen/Bremssystemen bei dynamischen Bremsversuchen –Betrieb mit gest rten Bremsen

Versuche		Aktive Bremssteuerungen / Bremssysteme				
		Hauptbremssystem; Reibungsbremse in einem Drehgestell ausgeschaltet ^{a b}	Hauptbremssystem; optional andere Komponente ausgeschaltet bzw. unwirksam ^{b c}	Elektrodynamische Bremse in einem Triebdrehgestell ausgeschaltet ^b	Magnetschienenbremse in einem Drehgestell ausgeschaltet ^b	Wirbelstrombremse in einem Drehgestell ausgeschaltet ^b
Kombination f r dynamische Bremsversuche	Schnellbremsung ^b	X	X			
	Schnellbremsung ^b , nur bei aktivierter ED-Bremse			X		
	Schnellbremsung ^b , nur wenn MTB vorhanden ist				X	
	Schnellbremsung ^b , nur wenn Wirbelstrombremse vorhanden ist					X
^a Das Drehgestell mit dem h chsten Beitrag zum Bremsverm gen ist zu ausschalten. Wenn das Ausschalten auf der Drehgestellebene nicht m glich ist, kann stattdessen die n chsth here Ebene (z. B. Fahrzeugebene) verwendet werden. Bei Bedarf kann diese Kombination sowohl f r ein Lauf- als auch f r ein Triebdrehgestell gepr ft werden. ^b Alle aktivierten Bremssysteme sind betriebsbereit. ^c Es kann entschieden werden, ob bestimmte andere ausgeschaltete bzw. unwirksam Komponenten eine inakzeptable Eintrittswahrscheinlichkeit aufweisen, z. B. ein Ausfall der Luftfederung und/oder der Lastabbremmung. In diesem Fall wird empfohlen, diese Betriebsarten ebenfalls zu pr fen. Wenn die H ufigkeit des Auftretens dieser Betriebsarten akzeptabel niedrig ist, kann eine Bremsberechnung f r den ung nstigsten Fall (anstelle von Versuchen) ausreichen.						

ANMERKUNG F r bestimmte Architekturen (z. B. Fahrzeug ohne Drehgestell) kann das Versuchsprogramm angepasst werden.

7.2.2.6 Kriterien für die Akzeptanz der Versuche

Um Versuche zur Bestimmung der nominalen Verzögerung als gültig zu akzeptieren, müssen grundsätzlich die gleichen Kriterien K1 und K2 angewendet werden, die in EN 16834:2019 für Bremswege definiert sind.

EN 16834:2019, 6.7.1 und 6.7.2 sind für alle Versuche mit nominalen Bremsausgangsgeschwindigkeiten von 60 km/h oder mehr anzuwenden. Für niedrigere Bremsausgangsgeschwindigkeiten ist die Anwendung von EN 16834:2019, 6.7.2 nicht erforderlich. Der mittlere Bremsweg kann auf der Grundlage aller relevanten Versuchsergebnisse ermittelt werden und es müssen keine spezifischen Kriterien (K1 und K2) zur Bestimmung des mittleren Bremswegs angewendet werden.

Wenn der Druck einer oder mehrerer pneumatischer Reibungsbremseinheiten am Versuchsfahrzeug von seinem Nennwert um $\pm 0,2$ bar (Wert aus EN 16834:2019, entsprechend etwa ± 5 % für UIC-Bremssysteme) abweicht, ist das Versuchsergebnis ungültig. Bei anderen Typen von Bremseinheiten sollten deren Leistung und/oder Parameter nicht mehr als ± 5 % vom Nennwert abweichen.

7.2.2.7 Korrektur von Verzögerungsmessungen

Die in einem Versuch ermittelten Verzögerungen müssen korrigiert werden, um – falls erforderlich – die Neigung und den Bogenwiderstand der Versuchsstrecke zu berücksichtigen.

Die Korrektur erfolgt, wenn

- Beschleunigungen **nicht** mit einem Beschleunigungsmesser gemessen werden, der den Einfluss von Neigungen während der Messung kompensiert,
- die Versuche in Gleisbögen mit einem Radius zwischen 1 000 m und 5 000 m durchgeführt wurden (bei einem Radius von größer als 5 000 m ist der Bogenwiderstand vernachlässigbar).

Die Korrektur muss für jedes a_{jk} nach EN 16834:2019, 7.3.2.2 b) unter Verwendung von Gleichung (8) erfolgen.

$$a_{jk,corr} = a_{jk,meas} - \frac{g}{\rho} \times \frac{i'_m}{1000} \quad (8)$$

mit

$$i'_m = i_m + W_{Bo} \quad (9)$$

dabei ist

$a_{jk,corr}$	die korrigierte Verzögerung, ausgedrückt in m/s^2 (siehe EN 16834);
$a_{jk,meas}$	die im Versuch gemessene Verzögerung, ausgedrückt in m/s^2 (siehe EN 16834);
i_m	die mittlere Neigung nach EN 16834:2019, 6.7.1.;
W_{Bo}	der mittlere Bogenwiderstand nach EN 16834:2019, 6.7.1.;
r	der Gleisbogenradius, ausgedrückt in m;
g	die Fallbeschleunigung.
ρ	der Trägheitskoeffizient der rotierenden Massen nach EN 16834:2019, 6.7.1.;

ALTERNATIVE:

Tragheitskoeffizient der rotierenden Massen, der in Gleichung (10) definiert ist

$$\rho = 1 + \frac{m_r}{m} \quad (10)$$

dabei ist

- m die statische Masse des Versuchszuges oder Versuchsfahrzeugs (siehe EN 16834);
- m_r die äquivalente Masse der rotierenden Komponenten (siehe EN 16834).

Eine Korrektur der im Versuch gemessenen Bremsausgangsgeschwindigkeit ist nicht erforderlich.

7.2.2.8 Korrekturfaktoren für konstante Verzögerungen a_{bi}

Die zwischen den Geschwindigkeitsintervallen v_i und v_{i+1} (siehe EN 16834:2019, 7.2) geltenden konstanten Verzögerungen $A_{nominal}$ werden für das Fahrzeug im Versuchszustand ermittelt. Um die Verzögerungen zu ermitteln, muss dieses Ergebnis, das sich auf den geprüften Zustand des Fahrzeugs bezieht, auf einen für die Baureihe allgemein gültigen nominalen Zustand korrigiert werden. Das im Folgenden beschriebene Verfahren ist nur für Bremsen anwendbar, bei denen die Bremskraft ausschließlich über die Schnittstelle Rad/Schiene übertragen wird, ausgenommen sind also Magnetschienenbremsen oder Wirbelstrombremsen. Folgende Faktoren werden in diesem Zusammenhang berücksichtigt:

- Dynamischer Wirkungsgrad des Bremsgestänges am Versuchsfahrzeug im Verhältnis zum für den Betrieb vorgesehenen Nennwert. Für dynamische Bremsen ist der Korrekturfaktor in Bezug auf den Wirkungsgrad des Bremsgestänges nicht relevant.
- Bei Scheibengebremsten Versuchsfahrzeugen: der mittlere Raddurchmesser im Verhältnis zum Durchmesser des neuen Rades. Werden dynamische Bremsen berücksichtigt, gilt der Korrekturfaktor in Abhängigkeit vom Raddurchmesser, sofern die dynamische Bremskraft vom Raddurchmesser abhängt.
- Für den Fall, dass der Bremszylinderdruck des Versuchsfahrzeugs von dem für die Baureihe gültigen Nennwert abweicht, ist eine Korrektur innerhalb eines maximalen Toleranzbereichs von $\pm 0,2$ bar vorzunehmen.

Die Korrektur erfolgt nach Gleichung (11).

$$a_{bj,corr} = a_{bj,test} \times \frac{\eta_{dyn}}{\eta_{dyn,test}} \times \frac{d_{test}}{d_{new}} \times \left(\frac{p_{nom} - p_{spring}}{p_{test} - p_{spring}} \right) \quad (11)$$

dabei ist

- d_{test} der mittlere Raddurchmesser an Versuchsfahrzeugen, ausgedrückt in mm (siehe EN 16834);
- d_{new} der Durchmesser des neuen Rades in mm; für Klotzbremsen $d_{new} = d_{test}$ (EN 16834);
- p_{nom} der nominale Bremszylinderdruck in bar (siehe EN 16834);
- p_{test} der tatsächliche Bremszylinderdruck während des Versuchs in bar (siehe EN 16834);
- p_{spring} der äquivalente Druck, um die Kraft der Rückholfeder auszugleichen, in bar ($p_{spring} = p_{Feder}$ in EN 16834);

$a_{bj,korr}$	die korrigierte nominale Verzögerung zwischen dem Geschwindigkeitsintervall v_i und v_{i+1} in m/s^2 (EN 16834);
$a_{bj,test}$	die aus Versuchen abgeleitete nominale Verzögerung zwischen dem Geschwindigkeitsintervall v_i und v_{i+1} in m/s^2 (siehe EN 16834);
η_{dyn}	der nominale dynamische Wirkungsgrad der Bremsanlage (siehe EN 16834);
$\eta_{dyn,test}$	der dynamische Wirkungsgrad der Bremsanlage während des Versuchs.

Um sicherzustellen, dass auch Neufahrzeuge die ermittelte Verzögerung liefern, ist bei Korrekturen für Versuche an Neufahrzeugen der Faktor $\frac{\eta_{dyn}}{\eta_{dyn,test}} \times \frac{d_{test}}{d_{new}}$ auf Werte ≤ 1 zu beschränken.

7.2.3 Ermittlung durch Berechnung

7.2.3.1 Normalbetrieb

Die rechnerische Ermittlung der nominalen Verzögerung ist für beide Ansätze A und B gleich, da die Versuche für den Normalbetrieb bei beiden Ansätzen gleich sind.

Die Bestimmung von Parameterwerten für bestimmte Kombinationen von Bremssteuerungen und Bremssystemen mittels Bremsberechnungen ist nur zulässig, wenn die Ergebnisse dynamischer Bremsversuche aus den Standardkombinationen von Bremssteuerungen und Bremssystemen (siehe 7.2.2.4; Tabelle 4) ausreichend detaillierte und validierte Informationen (durch Korrekturen, die auf Informationen aus dynamischen Bremsversuchen angewendet wurden) für das Bremsvermögen der einzelnen Bremssteuerungen und Bremssysteme liefern, die in der betrachteten Kombination verwendet werden. Bei Bedarf, z. B. für Berechnungen im Mehrfachtraktionsbetrieb, kann das Bremsvermögen von Bremssystemen ohne den Laufwiderstand berechnet werden. Diese Berechnung erfolgt in einer Bremsberechnung, indem die Wirkung des Laufwiderstandes (berechnet nach EN 16834:2019, 6.7.3.2.5) von den Daten abgezogen wird, die mittels dynamischer Bremsversuche validiert werden (siehe 7.2.2.4).

Die detaillierten validierten Informationen einer separaten Kombination aus Bremssteuerung und Bremssystem(en) können als validierter Baustein für Bremsberechnungen für andere Kombinationen betrachtet werden. Dies führt zu indirekt validierten Bremsberechnungen für jede Kombination, die aus den validierten separaten Bausteinen erstellt werden kann. Wenn beispielsweise dynamische Bremsversuche nur mit dem Hauptbremssystem und mit dem Hauptbremssystem plus Magnetschienenbremsen durchgeführt werden, erhält man validierte Informationen sowohl für das Hauptsystem als auch für die Magnetschienenbremsen, da die einzelnen Informationen über die Magnetschienenbremse aus dem relativen Unterschied abgeleitet werden können.

Wenn auch dynamische Bremsversuche mit dem Hauptbremssystem (oder Hauptbremssystem plus Magnetschienenbremsen) und anderen zusätzlichen Bremssystemen durchgeführt werden, liefert dies validierte Informationen für dieses zusätzliche System (durch relativen Vergleich). In diesem Fall müssen alle weiteren Änderungen in der Kombination dieser drei Bremssysteme nicht mehr durch dynamische Bremsversuche validiert werden, sondern die Ergebnisse können aus Bremsberechnungen für bestimmte Kombinationen berechnet werden. Das gleiche Prinzip gilt auch für mehr als drei Bremssysteme.

7.2.3.2 Betrieb mit gestörten Bremsen

Die validierten Informationen aus dynamischen Bremsversuchen für alle Betriebsarten mit gestörten Bremsen mit nur einem ausgeschalteten (gestörten) Bremssystem bilden die Bausteine für den Betrieb mit gestörten Bremsen für Bremsberechnungen für andere Kombinationen. Da für jedes System desselben Typs, das gestört sein kann, stets der Ausfall mit dem größten Bremskraftverlust berücksichtigt wird, basiert ein Ausfall mehrerer Systeme desselben Typs immer auf dem ungünstigsten Fall und ist somit eine sichere

N herung. Mit dieser Methode k nnen Parameterwerte f r jede andere Kombination des Betriebs mit gest rten Bremsen erstellt werden.

Alternativ k nnen Parameterwerte f r jede Kombination von Betriebsarten mit gest rten Bremsen auch aus Bremsberechnungen abgeleitet werden, wobei dieselben Korrekturfaktoren verwendet werden, die zur Erstellung der validierten separaten Bausteine aus den dynamischen Versuchen f r andere Systeme des gleichen Typs gest rter Bremssysteme abgeleitet wurden. Die Anwendung derselben Korrekturfaktoren auf andere (nicht gepr fte) Zugteile f hrt ebenfalls zu validierten Bausteinen, da diese indirekt validiert werden, indem sie dem validierten System mit gest rten Bremsen hnlich sind.

7.2.3.3 Kriterien fr validierte Bremsberechnungen

Bei Bremsberechnungen, die auf validierten Bausteinen basieren, kann die Validierung entweder durch die Durchf hrung neuer dynamischer Bremsversuche (siehe 7.2.2) oder durch die Verwendung bereits vorhandener dynamischer Bremsversuchsergebnisse erfolgen. F r Bausteine, die anhand bereits vorhandener Daten validiert werden k nnen, sind keine zus tzlichen dynamischen Bremsversuche erforderlich.

Ein Bremsberechnungsbaustein gilt als validiert, wenn zwei Arten von Kriterien erf llt sind:

- a) wenn gepr ft wurde, ob die Ergebnisse der dynamischen Bremsversuche innerhalb akzeptabler Grenzen der nominalen Konfiguration liegen (wie diese bei der Bremsberechnung verwendet wird);
- b) wenn gepr ft wurde, ob die Bremsberechnungsergebnisse innerhalb akzeptabler Grenzen der dynamischen Bremsversuchsergebnisse liegen.

Kriterium a) ist erf llt, wenn alle relevanten Bremsunterkomponenten und -systeme normal betriebsbereit sind und ihre gemessenen Istwerte innerhalb der normalen Wartungstoleranz und innerhalb der folgenden Grenzen liegen:

- Bedingungen der EN 16834:2019, 6.4.3;
- durchschnittliche Bremszylinderdr cke (je relevantem Geschwindigkeitsintervall, z. B. f r Hoch-/Niedrigabbremung): Pr fwerte innerhalb von $\pm 0,2$ bar der Nennwerte UND Anpresskraft der Reibungsbremse (einschlie ßlich Wirkungsgrad) innerhalb von ± 5 % der Nominalwerte der Komponente;
- wenn anwendbar, durchschnittliche ED-Bremskr fte (je relevantes Geschwindigkeitsintervall): Messwerte innerhalb von ± 5 % der nominalen ED-Bremskraftwerte des Triebfahrzeugs.
- wenn anwendbar, durchschnittlicher Luftspalt der Wirbelstrombremse mit der Schiene: Messwerte innerhalb von ± 1 mm der Nennwerte in der technischen Spezifikation des Bauteils,
- durchschnittliche quivalente Bremsansprechzeiten (je relevantem Geschwindigkeitsintervall, z. B. f r Hoch-/Niedrigabbremung und je relevanter Bremssystemkonfiguration): Pr fwerte innerhalb von ± 10 % der Nennwerte.

Kriterium b) ist erf llt, wenn die Bremsberechnungsergebnisse innerhalb der folgenden Grenzen liegen:

- f r Geschwindigkeiten ≤ 30 km/h: Die berechneten Bremswege weichen zwischen 0 m und maximal +5 m von den Ergebnissen der dynamischen Bremsversuche ab;
- f r Geschwindigkeiten > 30 km/h: Die berechneten Bremswege weichen zwischen 0 m und maximal (+5 m, +5 %) von den Ergebnisse der dynamischen Bremsversuche ab;
- im Normalbetrieb liegen die berechneten Momentanverz gerungen innerhalb von ± 10 % der gemessenen Verz gerungen aus den dynamischen Bremsversuchen, wenn die Bremskraft vollst ndig entwickelt ist;

- im Betrieb mit gestärkten Bremsen sind die berechneten Momentanverzerrungen um höchstens 10 % niedriger als die gemessenen Verzerrungen aus den dynamischen Bremsversuchen, wenn die Bremskraft vollständig entwickelt ist.

Solange die Kriterien a) und b) erfüllt sind, können alle aus validierten Bausteinen erstellten Bremsberechnungen als validierte Bremsberechnungen betrachtet werden.

7.2.4 Ermittlung für Betrieb unter eingeschränkten Bedingungen

Die nominale Verzerrung darf keine eingeschränkten Bedingungen berücksichtigen (siehe SUBSET-040 [12], 4.4.1.2.1 und 4.4.1.2.2). Daher sind keine Regeln für nominale Verzerrungen bei eingeschränkten Bedingungen erforderlich.

Das ETCS-Modell bietet Lösungen zur Berücksichtigung von Situationen mit vermindertem Kraftschluss durch die Verwendung von $K_{wet}(C, V)$ (siehe 7.4) und dem Zustand rutschige Schiene/ $M_{adhesion}$. Es liegt im Ermessen des Eisenbahnunternehmens, zu entscheiden, ob dies ausreichend ist oder nicht.

ANMERKUNG 1 Rutschige Schiene: vom Triebfahrzeugführer über das ETCS-DMI zu aktivieren und zu deaktivieren.

ANMERKUNG 2 $M_{adhesion}$: wird streckenseitig über Paket 71 aktiviert und deaktiviert.

7.2.5 Ermittlung für den Mehrfachtraktionsbetrieb

Validierte Verzerrungsdaten der Einfachtraktion, z. B. validierte Daten eines Zugverbandes, können zur Ermittlung der Verzerrungsdaten für den Mehrfachtraktionsbetrieb bei Bremsberechnungen genutzt werden. In diesem Fall muss der Laufwiderstand der dynamischen Bremsversuche in die Wirkung für die Kombination geändert werden, die im Mehrfachtraktionsbetrieb verwendet wird. Dieser veränderte Effekt soll dann in der Bremsberechnung verwendet werden (in Kombination mit der Leistung des Bremssystems ohne diesen Effekt).

Werden dynamische Versuche im Mehrfachtraktionsbetrieb durchgeführt, sollte die Verzerrung bis zur Höchstgeschwindigkeit überprüft werden. In der Regel reicht es aus, dynamische Bremsversuche in Mehrfachtraktion in nur einem Lastzustand und mit der maximalen Anzahl an gekoppelten Fahrzeugen durchzuführen (sofern vertraglich nichts anderes festgelegt ist). Es wird empfohlen, dieselbe(n) Last(en) zu verwenden, die auch für Versuche mit Einzelfahrzeugen verwendet wird (werden).

Um die Nachweisanforderung für den Mehrfachtraktionsbetrieb zu erfüllen, sind mindestens dynamische Bremsversuche aus 40 km/h und aus der maximalen Auslegungsgeschwindigkeit erforderlich. Im Normalbetrieb erfolgt dies mit aktivem Hauptbremssystem. Andere Bremsausgangsgeschwindigkeiten sind vom Eisenbahnunternehmen zu prüfen. Wenn dynamische Bremsversuche aus zusätzlichen Geschwindigkeiten durchgeführt werden, wird eine Auswahl von Geschwindigkeiten aus den TSI-Bremsausgangsgeschwindigkeiten empfohlen (bis zur maximalen Auslegungsgeschwindigkeit für den Betrieb): 30 km/h; 100 km/h; 120 km/h; 140 km/h; 160 km/h; 200 km/h; 230 km/h; 300 km/h; maximale Auslegungsgeschwindigkeit. Für dynamische Bremsversuche aus den Geschwindigkeiten für den Mehrfachtraktionsbetrieb gelten die gleichen Bedingungen und Anforderungen (Anzahl der Versuche usw.) wie für Versuche mit Einzelfahrzeugen (siehe 7.2.2).

Validierte Daten einzelner Zugkomponenten, z. B. validierte Daten eines Triebzuges, können verwendet werden, um durch Bremsberechnungen die Daten für den Mehrfachtraktionsbetrieb mit gestärkten Bremsen zu ermitteln. Für den aerodynamischen/Laufwiderstand kann das gleiche Modell wie für einzelne Komponenten verwendet werden, was mit anderen Eingangsgrößen (angepasst an den Betrieb mehrerer Einheiten, z. B. mehr Fahrzeuge) zur entsprechenden Konfiguration bei Mehrfachtraktion führt.

7.3 Korrekturfaktor $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$

7.3.1 Allgemeines

Für ein gegebenes Vertrauensniveau der sicheren Schnellbremsverzögerung $\text{EBCL} = 0, \dots, 9$ ist der fahrzeugspezifische Korrekturfaktor $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$ als Stufenfunktion der Geschwindigkeit mit den gleichen Schritten wie denjenigen von $A_{\text{nominal}}(C, V)$ anzugeben.

$K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$:

Das Vertrauensniveau der sicheren Schnellbremsverzögerung stellt die Wahrscheinlichkeit der folgenden Einzelereignisse dar: Das Bremssystem des Zugs stellt bei Schnellbremsungen eine Verzögerung sicher, die mindestens $A_{\text{brake safe dry}}(C, V, \text{EBCL}) = A_{\text{nominal}}(C, V) \times K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$ beträgt, (siehe Gleichung (1) und Tabelle 6), wenn die Schnellbremsung auf trockenen Schienen ausgelöst wird. $K_{\text{wet}}(C, V)$ (Definition nach [11]) bleibt hier unberücksichtigt.

$K_i(C, V)$:

ist der Quotient der berechneten Verzögerung, die sich aus einer zufällig ausgewählten Kombination i der die momentane Verzögerung beeinflussenden Parameter und $A_{\text{nominal}}(C, V)$ ergibt.

Tabelle 6 — Vertrauensniveau in Abhängigkeit von EBCL

EBCL	Wahrscheinlichkeit, dass die Verzögerung mindestens gleich $A_{\text{brake safe dry}}(C, V, \text{EBCL}) = A_{\text{nominal}}(C, V) \times K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$ auf trockener Schiene ist
0	50 %
1	90 %
2	99 %
3	99,9 %
4	99,99 %
5	99,999 %
6	99,999 9 %
7	99,999 99 %
8	99,999 999 %
9	99,999 999 9 %

Für jede Kombination von Einflussparametern auf die Momentanverzögerung kann der Quotient $K_i(C, V)$ aus der resultierenden Verzögerung und der nominalen Verzögerung berechnet werden. Parameter, die die Momentanverzögerung beeinflussen, sind der Bremszylinderdruck, die Masse, der Raddurchmesser, DBU-Wirkungsgrad, der Reibwert, der Komponentenausfall, der zum Bremsausfall führt, usw.

Für jedes EBCL muss $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$ mögliche Kombinationen von Parametern berücksichtigen, die die Momentanverzögerung beeinflussen, sodass die sichere Verzögerung nach Tabelle 6 bestimmt werden kann. Zur Ermittlung/Berechnung des $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$ kann die klassische Gleichung zur Berechnung der Momentanverzögerung (z.B. basierend auf der Bremsberechnung) unter Berücksichtigung aller Zufallsvariablen (Momentanverzögerungs-Einflussparameter) verwendet werden. Da die resultierende Verteilung nicht analytisch gelöst werden kann, wird die Monte-Carlo-Methode zur Bestimmung von

$K_{dry}(C,V,EBCL)$ nach der ERA-ETCS-Spezifikation im SUBSET-040 [12] verwendet. Eine große Anzahl (mindestens $9,1 \times 10^9$) einzelner Kombinationen der von der Momentanverzögerung beeinflussten Parameter werden zufällig entsprechend ihrer Streuung und ihrem Ausfallverhalten ausgewählt. Für jede Kombination wird der resultierende Quotient aus $A_{brake, safe, dry}$ und der berechneten Verzögerung bestimmt, um die Verteilung von $K_i(C,V)$ abzuschätzen. Diese Verteilung $K_i(C,V)$ ermöglicht die Definition von $K_{dry}(C,V,EBCL)$. Für einen Fall „i“ der die Momentanverzögerung beeinflussenden Parameter kann der Quotient aus berechneter Verzögerung und $A_{nominal}$ (abhängig von der Bremssystemarchitektur) wie folgt berechnet werden (siehe Anhang A und Anhang B):

Ergebnis der Definition des Bremssystem-Architekturmodells (siehe Gleichung (3) und 5.2):

$$K_i(C, V) = \frac{[\sum_j [\alpha_j(C, V) \cdot \beta_j(i, C, V)] - \sum_k [\alpha'_k(C, V) \cdot \beta'_k(i, C, V)]]}{\frac{m_{dyn}(i)}{m_{dyn,nom}}}$$

ANMERKUNG Die Definition von $K_{dry}(C,V,EBCL)$ enthält stochastische Parameter.

Zur Bestimmung von $K_{dry}(C, V, EBCL)$ müssen die statistischen Verteilungen und Ausfallraten der für die Bremskraft relevanten Parameter bekannt sein. Als Alternative zur Monte-Carlo-Simulation kann $K_{dry}(C, V, EBCL)$ auf andere Weise bestimmt werden, sofern nachgewiesen wird, dass die erforderlichen Vertrauensniveaus erreicht werden. Beispielsweise kann $K_{dry}(C, V, EBCL)$ theoretisch abgeleitet werden. $K_{dry}(C, V, EBCL)$ kann analytisch genau berechnet werden, wenn die Faltung der aus dem Bremssystemarchitekturmodell resultierenden Verteilungsfunktionen bekannt und lösbar ist. Das mathematische Modell ist zu erklären und zu dokumentieren.

7.3.2 Bestimmung der Gewichtungsfaktoren $\alpha_j(C,V)$

Für jede Bremskonfiguration und für jedes definierte Geschwindigkeitsintervall müssen die Gewichtungsfaktoren für alle in der betrachteten Konfiguration verwendeten Bremseinheiten unter Nennbedingungen wie für $A_{nominal}$ bestimmt werden.

Diese Gewichtungsfaktoren stellen den Anteil der gesamten nominalen Bremskraft des Zuges dar, der von den Bremseinheiten „j“ im betrachteten Geschwindigkeitsintervall V bereitgestellt wird. Sie stehen in direktem Zusammenhang mit dem Verfahren, das zur Definition des mathematischen Modells des Zuges angewendet wird (siehe 5.2).

Abhängig vom Ergebnis der Analyse zur Modellvereinfachung wird ein Gewichtungsfaktor für jede einzelne Bremseinheit und/oder für jede Gruppe von Bremseinheiten definiert.

Wenn die Vereinfachung dazu führt, dass mehrere Bremseinheiten zusammengefasst werden, muss der Gewichtungsfaktor den Beitrag der gesamten Gruppe zur gesamten nominalen Bremskraft darstellen.

$$\alpha_j(C, V) = \frac{F_{j,nom}(C, V)}{F_{brake,train,nom}(C, V)} = \frac{F_{j,nom}(C, V)}{\sum_k [F_{k,nom}(C, V)]} \quad (12)$$

Es wird davon ausgegangen, dass der Gewichtungsfaktor α in einem Geschwindigkeitsintervall V konstant ist. Wenn sich das Bremskraftprofil der Bremseinheit je nach Geschwindigkeit ändert (z. B. Hoch-/Niedrigabbremung an einer TBU), sollten die Faktoren α für jedes Geschwindigkeitsintervall V angepasst werden.

In jeder Bremskonfiguration, die für die Definition von $K_{dry}(C, V, EBCL)$ untersucht wird, muss die Summe aller Gewichtungsfaktoren der Bremseinheiten/Gruppe von Bremseinheiten gleich 1 sein (Gleichung (13)).

$$\sum_j [\alpha_j(C, V)] = 1 \quad (13)$$

Falls keine genauen Werte von $\alpha_j(C, V)$ verwendet werden, können gerundete Werte mit einer Auflösung von 0,001 (oder einer größeren Anzahl von Nachkommastellen) verwendet werden, wobei zu berücksichtigen ist, dass $\sum_j [\alpha_j(C, V)]$ kleiner oder gleich 1 sein muss.

7.3.3 Bestimmung der Faktoren $\beta_j(i, C, V)$

Generell betrachtet stellt der Faktor $\beta_j(i, C, V)$ für eine Bremseinheit j das Verhältnis der von dieser Bremseinheit im Fall „ i “ erzeugten Bremskraft zu der Bremskraft dar, die diese Bremseinheit im Nominalfall (welcher für die Ermittlung von A_{nominal} berücksichtigt wurde) erzeugt.

$$\begin{aligned} \beta_{\text{brake unit}}(i, C, V) &= \frac{F_{\text{brake unit}, i}}{F_{\text{brake unit}, \text{nom}}} \\ &= f(\text{externe Parameter, interne Parameter, Radparameter}) \end{aligned} \quad (14)$$

Interne Parameter sind Variablen im Bereich der Bremseinheit, die einen Einfluss auf die erzeugte Bremskraft bei einer Schnellbremsung haben (z. B. Bremsbelagreibwert bei einer Scheibenbremseinheit).

Externe Parameter sind Variablen außerhalb der Betrachtungsgrenze der Bremseinheit.

Es können 3 Arten externer Parameter identifiziert werden:

- externe Parameter, die mit den lokalen/zugweiten Schnellbrems-Steuersignalen verknüpft sind (z. B. die Lasterfassung, die den Bremszylinderdruck beeinflusst);
- externe Parameter im Zusammenhang mit der/den Energieversorgung(en) der Bremseinheit (z. B. pneumatische Energie, die zum Absenken der Magnetschienenbremse erforderlich ist);
- Abhängig vom Typ der Bremseinheit kann der aktuelle Raddurchmesser ein Parameter sein, der die Bremskraft beeinflusst (z. B. bei einer Scheibenbremseinheit). In diesem Fall ist der Raddurchmesser ein externer Parameter.

In einigen Fällen können das lokale Steuersignal der Schnellbremsung und die Energieversorgung der Bremseinheit mit demselben externen Parameter behandelt werden. Bei pneumatischen Reibungsbremsen ist dieser einzelne externe Parameter der Druck, der von der lokalen Bremssteuerung bei Schnellbremsungen vorgegeben wird.

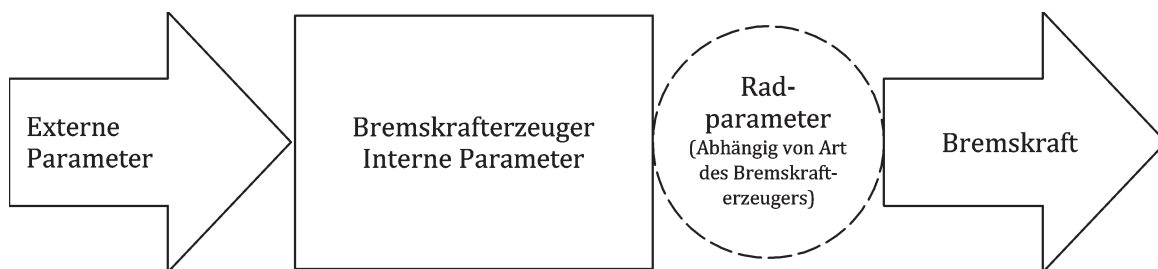


Bild 7 — Aufbau eines Bremskrafterzeugers

Wie in 5.2 erläutert, ist $\beta_{\text{brake unit } j}(i, C, V)$ der Faktor, der das Produkt aller Abweichungen und Ausfälle darstellt, die sich auf die Bremskraft der Bremseinheit „ j “ im Fall „ i “ für das Geschwindigkeitsintervall V und die Bremskonfiguration C auswirken.

Interne Parameter k können einzeln behandelt oder je nach verfügbaren Daten gruppiert werden. Da die Bremseinheit das kleinste Modul im Architekturmodell ist, ist es möglich, den Fehlerparameter der Bremseinheit als einzelnen Parameter zu behandeln. Es ist jedoch immer möglich, den Fehlerparameter über Fehlerparameter der Unterkomponenten der Bremseinheit zu behandeln (z. B. für eine Scheibenbremseinheit: Ausfall des Bremszylinders, Ausfall der DBU, Ausfall des Belags usw.). In diesem Fall muss die Gleichung (17) angepasst werden und sollte die möglichen internen, von mehreren Parametern abhängigen Fehler berücksichtigen.

Wenn die Auswirkungen jedes Parameters auf die Bremskraft unabhängig von den anderen Parametern sind, kann die Gleichung (14) wie in Gleichung (15) in Abweichungs- und Ausfallkoeffizienten aufgeteilt werden.

$$\beta_{\text{brake unit } j}(i, C, V) = \text{dev coeff}_{\text{brake unit } j}(i, C, V) \times \text{fail coeff}_{\text{brake unit } j}(i, C, V) \quad (15)$$

mit

$$\text{dev coeff}_{\text{brake unit } j}(i, C, V) = \prod_k \text{dev coeff}_{[j, \text{int } k]}(i, C, V) \times \prod_k \text{dev coeff}_{[j, \text{ext } k]}(i, C, V) \quad (16)$$

und

$$\text{fail coeff}_{\text{brake unit } j}(i, C, V) = \text{fail coeff}_{[j, \text{int}]}(i, C, V) \times \prod_k \text{fail coeff}_{[j, \text{ext } k]}(i, C, V) \quad (17)$$

dabei ist

$\text{dev coeff}_{\text{brake unit } j}(i, C, V)$	der Faktor, der das Produkt aller Abweichungen darstellt, die sich auf die Bremskraft der Bremseinheit „j“ im Fall „i“ im Geschwindigkeitsintervall V und für die Bremskonfiguration C auswirkt;
$\text{dev coeff}_{[j, \text{int } k]}(i, C, V)$	der individuelle Abweichungsfaktor aufgrund des internen Parameters k, der sich auf die Bremskraft der Bremseinheit „j“ im Fall „i“ im Geschwindigkeitsintervall V und für die Bremskonfiguration C auswirkt;
$\text{dev coeff}_{[j, \text{ext } k]}(i, C, V)$	der individuelle Abweichungsfaktor aufgrund des externen Parameters k, der sich auf die Bremskraft der Bremseinheit „j“ im Fall „i“ im Geschwindigkeitsintervall V und für die Bremskonfiguration C auswirkt;
$\text{fail coeff}_{\text{brake unit } j}(i, C, V)$	der Faktor, der das Produkt aller Ausfälle darstellt, die sich auf die Bremskraft der Bremseinheit „j“ im Fall „i“ im Geschwindigkeitsintervall V und für die Bremskonfiguration C auswirkt. Dieser Faktor normalerweise 0 oder 1;
$\text{fail coeff}_{[j, \text{int}]}(i, C, V)$	der interne Ausfallfaktor, der sich auf die Bremskraft der Bremseinheit „j“ im Fall „i“ im Geschwindigkeitsintervall V und für die Bremskonfiguration C auswirkt. Dieser Faktor ist normalerweise 0 oder 1;
$\text{fail coeff}_{[j, \text{ext } k]}(i, C, V)$	der individuelle Ausfallfaktor aufgrund des externen Parameters k, der sich auf die Bremskraft der Bremseinheit „j“ im Fall „i“ im Geschwindigkeitsintervall V und für die Bremskonfiguration C auswirkt. Dieser Faktor ist üblicherweise 0 oder 1.

ANMERKUNG In manchen Fällen kann es zu Störungen kommen, die zu einem „teilweisen“ Wegfall der Bremskraft führen können (z. B. Ausfall einer automatischen Lastabbremmung). In diesem Fall liegt der Koeffizient zwischen 0 und 1.

Wenn ein Fehler dazu führt, dass eine Komponente des Bremssystems nicht funktioniert, ist der Wert eines Fehlerkoeffizienten gleich 0 mit einer Wahrscheinlichkeit, die durch die FIT-Ratenanalyse nach Anhang F oder basierend auf Erfahrungen (Expertenschätzung auf der Grundlage der Analyse von Betriebsdaten) bestimmt wurde. In anderen Fällen beträgt der Wert 1.

Anhang A gibt Auskunft über die üblichen internen und externen Parameter für die verschiedenen Arten von Bremsseinheiten. Diese Informationen entsprechen dem Stand der Technik, müssen jedoch möglicherweise für eine bestimmte Bremsseinheit und/oder Bremsystemarchitektur angepasst werden.

Die externen Parameter hängen stark von der Architektur des Fahrzeugs/Zugs ab (z. B. lokale Bremssteuerung auf Radsatz- oder Drehgestellebene, Redundanzen, gemeinsame Fehlerzustände usw.), sodass ihre Berechnung in diesem Dokument nicht detailliert beschrieben wird.

Anhang A enthält die Grundgleichungen sowie die internen und externen Parameter für die üblichen Bremsseinheiten.

Anhang B beschreibt detailliert die Bestimmung des Einflusses externer Parameter und ihrer Quereffekte (gemeinsamer Bremszylinderdruck für einige Bremsseinheiten usw.) nach dem in Abschnitt 5 definierten Modell der Bremsystemarchitektur.

7.3.4 Bestimmung der Faktoren $\alpha'_k(C,V)$ und $\beta'_k(C,V)$

Für jede Bremskonfiguration und für jedes definierte Geschwindigkeitsintervall müssen die Faktoren $\alpha'_k(C,V)$ und $\beta'_k(C,V)$ für alle in der betrachteten Konfiguration verwendeten Traktionseinheiten unter nominalen Bedingungen bestimmt werden (wie für A_{nominal}).

Diese $\alpha'_k(C,V)$ -Faktoren stellen den Anteil der maximalen Zugkraft im betrachteten Geschwindigkeitsintervall dar, die von der Traktionseinheit „k“ bereitgestellt werden kann, im Vergleich zur gesamten nominalen Bremskraft $F_{\text{brake,train}}(C,V)$ der betrachteten Bremskonfiguration.

Die Faktoren der $\beta'_k(i,C,V)$ stellen die Wahrscheinlichkeit von Fehlern bei der Traktionsabschaltung nach Auslösen einer Schnellbremsung dar, die zu einer Verringerung der Gesamtbremskraft des Zugs durch Erzeugung einer Zugkraft durch die Traktionseinheit „k“ im Zustand „i“ im Geschwindigkeitsintervall V und für die Bremskonfiguration C führen.

ANMERKUNG In Analogie zu den Vereinfachungen bei der Definition des mathematischen Bremsmodells des Zuges (siehe 5.2.3 und 5.2.4) gilt: Wenn die Traktionsabschaltung nach Auslösen einer Schnellbremsung sicher ist (Ausfall wird als sehr unwahrscheinliches Ereignis angesehen), dann sind alle $\beta'_k(i,C,V) = 0$ und die Gleichung (3) kann vereinfacht werden. Abhängig vom Ergebnis der Vereinfachungsanalyse wird außerdem ein $\alpha'_k(C,V)$ -Faktor für jedes einzelne Triebfahrzeug und/oder für jede Gruppe von Triebfahrzeugen definiert oder undefiniert, wenn ein Ausfall sehr unwahrscheinlich ist.

7.3.5 Korrekturfaktor $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$ mit Monte-Carlo-Methode

Für die Bestimmung von $K_{\text{dry}}(C,V,\text{EBCL})$ mit der Monte-Carlo-Methode müssen mindestens $9,1 \times 10^9$ Simulationen durchgeführt werden (siehe Anhang D). Alle statistischen Parameter müssen entsprechend ihrer Verteilung und Ausfallrate variiert werden.

Wenn mehr als $9,1 \times 10^9$ Iterationen durchgeführt werden, lässt sich mit Hilfe von Gleichung (42) in Anhang D (siehe Beispiel für $N = 30 \times 10^9$ in Abschnitt D.2) $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$ in Abhängigkeit vom EBCL bestimmen.

Basierend auf der in Anhang D erläuterten Methode kann der Wert $K_{\text{dry}}(C,V,\text{EBCL})$ für jedes EBCL, wie in Tabelle 7 angegeben, geschätzt werden.

Tabelle 7 — Wert von $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$ abhängig von der Anzahl der Iterationen

EBCL	Anzahl der Iterationen für Monte Carlo
	$N = 9,1 \times 10^9$
EBCL = 0	4 549 888 867. niedrigster Wert von $K_i(C, V)$
EBCL = 1	909 933 320. niedrigster Wert von $K_i(C, V)$
EBCL = 2	90 977 885. niedrigster Wert von $K_i(C, V)$
EBCL = 3	9 092 975. niedrigster Wert von $K_i(C, V)$
EBCL = 4	907 778. niedrigster Wert von $K_i(C, V)$
EBCL = 5	90 298. niedrigster Wert von $K_i(C, V)$
EBCL = 6	8 878. niedrigster Wert von $K_i(C, V)$
EBCL = 7	840. niedrigster Wert von $K_i(C, V)$
EBCL = 8	69. niedrigster Wert von $K_i(C, V)$
EBCL = 9	drittniedrigster Wert von $K_i(C, V)$

7.4 Korrekturfaktor $K_{\text{wet}}(C, V)$

7.4.1 Bestimmung des Korrekturfaktors $K_{\text{wet}}(C, V)$

Die Bestimmung von $K_{\text{wet}}(C, V)$ muss mindestens auf Versuchen nach EN 15595:2018+AC:2021 basieren. Die notwendigen Versuche müssen nur mit Bremsen, die vom Rad/Schiene-Kraftschluss abhängig sind, sowie ohne spezielle Bremsen (ohne regenerative Bremse, MTB, Wirbelstrombremse usw.) durchgeführt werden. Einzelheiten zu den Versuchen finden sich im SUBSET-040 [12].

Sofern Versuchsergebnisse nach EN 15595:2009+A1:2011 verfügbar sind, können diese zur Definition von $K_{\text{wet}}(C, V)$ verwendet werden, ohne Versuche nach EN 15595:2018+AC:2021 zu wiederholen.

ANMERKUNG 1 SUBSET-040 [12] verweist auf EN 15595:2009+A1:2011. Die Verordnung (EU) Nr. 1302/2014 [9] verweist jedoch auf EN 15595:2018+AC:2021. Die ERA betrachtet EN 15595:2018+AC:2021 als neuen Stand der Technik für WSP-Systeme. Daher wird diese Version in diesem Dokument berücksichtigt.

EN 15595:2018+AC:2021 definiert Versuche für verminderten Kraftschluss nur für Bremsen, die vom Rad/Schiene-Kraftschluss abhängig sind. Es ist möglich, andere Werte für $K_{\text{wet}}(C, V)$ für die Kombination von speziellen Bremssystemen und anderen Bremsen zu definieren (siehe Tabelle 3), wenn spezifische repräsentative Versuche mit vermindertem Kraftschluss durchgeführt werden. In diesem Fall müssen die Versuche in der Fahrtrichtung ausgeführt werden, die die größte Bremswegverlängerung (in Prozent ausgedrückt) ergibt (bei unsymmetrischer Verteilung der speziellen Bremssysteme im Versuchsfahrzeug bzw. -zug).

ANMERKUNG 2 Nach SUBSET-040 [12] deckt $K_{\text{wet}}(C, V)$ die Auswirkungen verminderten Rad-Schiene-Kraftschlusses nach EN 15595 ab. Sehr niedriger und extrem niedriger Kraftschluss werden nicht abgedeckt. Auswirkungen aufgrund des nassen Zustands des Reibmaterials werden nicht abgedeckt. Der nasse Zustand im Reibmaterial kann in $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$ durch β -Faktoren berücksichtigt werden (siehe Anhang A).

K_{wet} kann nach folgenden Methoden berechnet werden:

- Berechnung von $K_{\text{wet}}(C, V)$ basierend auf EN 15595:2018+AC:2021 WSP-Versuchen („D“-Versuche nach EN 15595:2018+AC:2021, Tabelle 9), unter Berücksichtigung der dokumentierten größten Verlängerung des Bremswegs bei jeder Geschwindigkeitsstufe.

- b) Wenn das WSP-Gerät die Anforderungen von EN 15595:2018+AC:2021 erfüllt, kann $K_{\text{wet}}(C,V)$ unter Verwendung der größten zulässigen Bremswegverlängerung nach EN 15595:2018+AC:2021, Tabelle 8 berechnet werden.

Die Gleichung zur Bestimmung von $K_{\text{wet}}(C,V)$ ist in SUBSET-040, 4.4.1.5.1.2 [12] definiert.

$$K_{\text{wet}}(C,V) = \frac{100}{100 + \text{Verlängerung des Verzögerungswegs (in \%)}} \quad (18)$$

dabei ist

Verzögerungsweg der Anhalteweg nach ISO 24478:2023.

7.4.2 Ermittlung des Korrekturfaktors $K_{\text{wet}}(C,V)$ falls vom Kraftschluss Rad/Schiene unabhängige Bremsseinheiten zum Einsatz kommen

EN 15595 ist für Bremsseinheiten geeignet, die vom Rad-Schiene-Kraftschluss abhängig sind (z. B. DBU, TBU, elektrodynamische Bremse). Sie ermöglicht jedoch bei vermindertem Kraftschluss keine Beurteilung des Bremsvermögens von Bremsseinheiten, die vom Rad-Schiene-Kraftschluss unabhängig sind.

Option 1: Es ist ausschließlich der Wert $K_{\text{wet}}(C,V)$ zu verwenden, der aus Versuchen mit kraftschlussabhängigen Bremsseinheiten abgeleitet sind. Daher gibt es keine separaten Werte für $K_{\text{wet}}(C,V)$ für Konfigurationen mit kraftschlussunabhängigen Bremsseinheiten. Dies ist die Standardoption für Versuche nach EN 15595 und das ETCS-Modell wie in SUBSET-026 (siehe [11]).

Option 2: Separate Versuche mit Bremsen, die unabhängig vom Kraftschluss (Rad/Schiene) sind. Durchführung von WSP-Versuchen mit allen an der betrachteten Bremskonfiguration beteiligten Bremsseinheiten, einschließlich kraftschlussunabhängiger Bremsseinheiten (nach EN 15595:2018+AC:2021). Bei Bedarf kann die erste kraftschlussunabhängige Bremsseinheit ausgeschaltet werden, um die Schlupfkriterien der EN 15595:2018 zu erreichen.

Ergebnis: Prozentsatz der Verlängerung des Anhalteweges auf nassen Schienen, woraus $K_{\text{wet}}(C,V)$ nach 7.4.1 abgeleitet werden kann.

7.5 Aufbauzeit der Schnellbremsung

7.5.1 Allgemeines

Die für ETCS-Schnellbremsengriffe verwendete Schnellbremsansprechzeit ist definiert als die nominale Bremsansprechzeit: $t_{\text{eEB}}(C)$.

Dies entspricht der äquivalenten Bremsansprechzeit nach EN 16834:2019, Anhang E (t_e).

Für jede im Betrieb genutzte Kombination der speziellen Bremssysteme¹: Regenerative Bremse, Wirbelstrombremse, Magnetschienenbremse und elektropneumatische Bremse, müssen individuelle Werte von $t_e(C)$ definiert werden können. Die Werte von t_e können aus den dynamischen Bremsversuchen nach 7.2 ermittelt werden. Zusätzliche (statische) Versuche sind erforderlich, wenn aus den dynamischen Versuchen nicht alle Einzelwerte abgeleitet werden können. Aus diesen Versuchen müssen Daten zur Bremskraftentwicklung einzelner Bremssysteme über die Zeit resultieren. Mithilfe dieser Daten kann dann die äquivalente Ansprechzeit für jede Bremsenkombination über eine Bremsberechnung nach

1 Bei Anforderung einer Schnellbremsung durch ETCS.

EN 14531-1:2015+A1:2018 berechnet werden. Die Entscheidung, den Beitrag einer bestimmten Bremse für t_e zu berücksichtigen (oder nicht), hängt vom Fahrzeug ab.

Wenn triftige Gründe dafür vorliegen, die äquivalente Ansprechzeitwerten nicht für unterschiedliche Bremssysteme sowie Bremssteuerungen zu differenzieren, kann auf die erforderlichen Versuche verzichtet werden. Wenn ein Zug beispielsweise sowohl über eine pneumatische als auch eine elektropneumatische Bremssteuerung verfügt und die pneumatische Bremssteuerung immer maßgebend ist, bietet die elektropneumatische Bremssteuerung keinen Nutzen und es werden die gleichen Parameterwerte der pneumatischen Bremssteuerung verwendet. Ein Versuch mit der elektropneumatischen Bremssteuerung ist daher in diesem Fall nicht erforderlich.

ANMERKUNG 1 Wenn das Fahrzeug dem Beschluss der Kommission 2011/291/EU entsprechen muss, ist der Höchstwert für t_e in 4.2.4.5.2 mit 5 Sekunden angegeben.

ANMERKUNG 2 Wenn das Fahrzeug der Verordnung (EU) Nr. 1302/2014 der Kommission entsprechen muss, wird der Höchstwert für t_e in 4.2.4.5.2 mit 3 s für Einheiten mit maximaler Auslegungsgeschwindigkeit von mindestens 250 km/h und 5 s für andere Einheiten angegeben.

7.5.2 Mehrfachtraktion

Jede Konfiguration von Einzelfahrzeugen oder Fahrzeugen im Mehrfachtraktionsbetrieb kann über eine eigene Bremsansprechzeit verfügen.

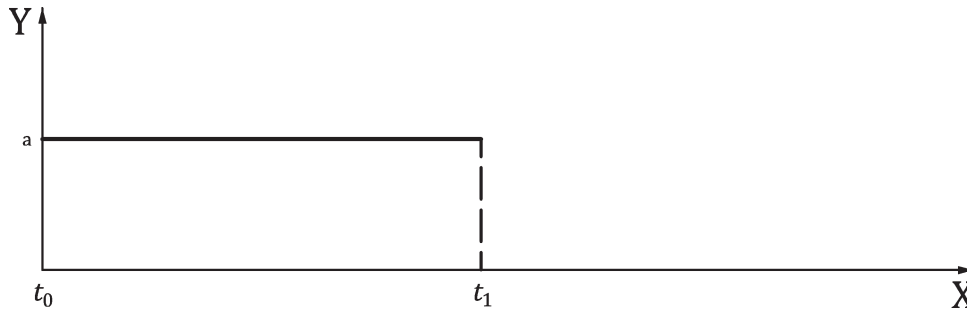
Falls ein gemeinsamer Wert der Bremsansprechzeit für Einzelfahrzeuge und den Mehrfachtraktionsbetrieb oder für mehrere Triebzugkonfigurationen verwendet wird, muss t_e auf der längsten nominalen Bremsansprechzeit basieren (es wird dabei angenommen, dass dies der Wert der längsten Konfiguration ist).

Versuche mit einem Einzelfahrzeug oder Fahrzeugen in Mehrfachtraktion zur Ermittlung von t_e müssen mindestens für die längste Betriebskonfiguration durchgeführt werden. Die Versuchsergebnisse können dann zur Validierung/Anpassung der Modellierung der Bremsansprechzeit für die entsprechende Bremsberechnung verwendet werden. Dieses validierte Modell bzw. diese validierten Informationen können weiterhin verwendet werden, wenn dedizierte Bremsansprechzeiten für andere Konfigurationen verwendet werden.

7.6 Abschaltzeit der Traktion

7.6.1 Allgemeines

Nach SUBSET-026 [11], 3.13.2.2.2.1 ist die Traktionsabschaltzeit als die nominale Zeitverzögerung vom Traktionsabschaltebefehl (t_0) bis zum Zeitpunkt zu dem die Beschleunigung aufgrund Traktion (A_{traction}) 0 (t_1) ist, definiert. Das Traktionsmodell muss als Stufenfunktion angegeben werden, wie in Bild 8 dargestellt.



Legende

X Zeit

Y A_{traction}

^a geschätzte Beschleunigung

Bild 8 — Traktionsmodell nach SUBSET-026-3 v360, 3.13.2.2.2.1

Zur Festlegung des Traktionsmodells (siehe Bild 8, A_{traction}) sollte die Traktionsabschaltzeit $t_{\text{tco}}(C)$ mittels dynamischer Versuche gemessen werden (z. B. Beschleunigung, Traktionskraft, Drehmoment). Abhängig von der Konfiguration des Traktionssystems ist es möglich, $t_{\text{tco}}(C)$ durch andere Versuche zu bestimmen (z. B. statische Versuche auf Zugebene, Typprüfung der Komponente).

Im Falle dynamischer Versuche sind zwei Versuchsgeschwindigkeiten anzuwenden: Eine beliebige Geschwindigkeit, bei der das Traktionssystem die maximal mögliche Zugkraft erbringt, und eine zweite beliebige Geschwindigkeit, bei der das Traktionssystem mit der maximal möglichen Traktionsleistung läuft. Wenn die Zugarchitektur oder der Motortyp ergeben, dass nur eine Geschwindigkeit für die Messung der nominalen Traktionsabschaltzeit relevant ist, ist es möglich, $t_{\text{tco}}(C)$ nur bei dieser einen Geschwindigkeit zu messen.

Wenn sich der Zug in betriebsbereitem Zustand befindet, müssen für jede Versuchsgeschwindigkeit mindestens vier Versuche unter den gleichen Bedingungen wie in 7.2.2.2 durchgeführt werden. Das Traktionssystem muss im gleichen Zustand (z. B. im Fluxzustand) geprüft werden, in dem es aufgrund der Zugkraft beschleunigt. Wenn nachgewiesen werden kann, dass kein Lasteinfluss vorliegt oder eine Last maßgebend ist, können Versuche mit einer einzigen Last durchgeführt werden.

Für jede der Bremsausgangsgeschwindigkeiten ist das arithmetische Mittel der Traktionsabschaltzeit zu ermitteln. $t_{\text{tco}}(C)$ muss dem niedrigsten arithmetischen Mittelwert aller Bremsausgangsgeschwindigkeiten entsprechen.

Bei anderen Versuchen muss der ermittelte Wert $t_{\text{tco}}(C)$ auf dem arithmetischen Mittelwert von mindestens vier Versuchen basieren, wobei der Zug sich in betriebsbereitem Zustand befinden muss.

Falls der Zug mit mehr als einem Pfad für die Steuerung der Traktionsabschaltung ausgestattet ist, ist der nominale Wert des schnellsten Pfades zu verwenden.

ANMERKUNG Wenn das Fahrzeug dem Beschluss der Kommission 2011/291/EU oder der Verordnung (EU) Nr. 1302/2014 der Kommission, 4.2.4.4.1. entspricht, wird der Maximalwert für t_{tco} mit 2 s angegeben.

7.6.2 Mehrfachtraktion

Für jede Mehrfachtraktionskonfiguration kann eine eigene Traktionsabschaltzeit festgelegt werden.

Falls ein gemeinsamer Wert der Traktionsabschaltzeit für Einzelfahrzeuge und den Mehrfachtraktionsbetrieb oder für mehrere Triebzugkonfigurationen verwendet wird, muss t_{tco} auf der niedrigsten nominalen Traktionsabschaltzeit basieren (es wird angenommen, dass dies die niedrigste Konfiguration ist).

Versuche mit dem Einzelfahrzeug oder Fahrzeugen in Mehrfachtraktion zur Ermittlung von t_{tco} müssen zumindest für die Konfiguration durchgeführt werden, für die die längste nach 7.6.1 gemessene Traktionsabschaltzeit erwartet wird (z. B. die längste in Betrieb befindliche Konfiguration). Diese Informationen können verwendet werden, um die Modellierung der Traktionsabschaltzeit für das entsprechende Traktionsmodell zu validieren/anzupassen. Dieses validierte Modell bzw. diese validierten Informationen können dann verwendet werden, wenn dedizierte Traktionsabschaltzeiten für kleinere Konfigurationen verwendet werden.

8 Bestimmung der Parameter des ETCS-Betriebsbremsmodells

8.1 Allgemeines

Per Definition ist die Leistung der Betriebsbremse nicht sicherheitsrelevant (siehe 3.13.6.3 in [11]). Dennoch sind die Modelle für die Vollbremsung grundsätzlich dieselben wie für die Schnellbremsung. Daher können das gleiche Verfahren und die gleichen Anforderungen wie in Abschnitt 7 angewendet werden, um die nominale Verzögerung und die Ansprechzeit bei Vollbremsungen zu bestimmen. Schnellbremsungsspezifische Anforderungen müssen ggf. an die Vollbremsung angepasst werden.

8.2 Nominale Verzögerung für Vollbremsungen

Grundsätzlich kann die Bestimmung von $A_{\text{nominalSB}}$ dem Verfahren und den Anforderungen in 7.2 folgen.

Die Korrektur nach 7.2.2.8 ist für $A_{\text{nominalSB}}$ nicht zwingend erforderlich.

Je nach Konfiguration der Bremsen können während der Schnellbremsung und der Vollbremsung unterschiedliche Bremseneinheiten eingesetzt werden (z. B. kann während der Vollbremsung die regenerative Bremse zum Einsatz kommen, jedoch nicht während der Schnellbremsung). Die Blending-Philosophie des Bremsmanagements während der Vollbremsung muss berücksichtigt werden, insbesondere in Betriebsarten mit gesteuerten Bremsen.

8.3 Ansprechzeit bei Vollbremsungen

Grundsätzlich kann die Bestimmung von t_{eSB} den Regeln in 7.5 folgen.

8.4 Normale Betriebsbremsverzögerung und Korrekturfaktoren K_n

Grundsätzlich gibt es keine spezifischen Anforderungen zur Definition der Hauptparameter für die normale Betriebsbremsverzögerung, $A_{\text{normal}}(C,V)$ und $K_n(V)/K_{n+}(V)$. Ihre Definition ist optional.

Die normale Betriebsbremsverzögerung wird in der Fahrungskurve (GUI) verwendet und sollte:

- ein komfortables Verzögerungsniveau sowohl für die Passagiere als auch für den Triebfahrzeugführer bieten (= obere Verzögerungsgrenze); insbesondere die Parameter $K_n(V)$ ermöglichen eine Glättung des Einflusses der Neigung auf die Fahrungskurve im Gefälle und in der Steigung, wenn der Wert zwischen 0 und der Fallbeschleunigung $9,81 \text{ m/s}^2$ liegt;
- beim flüchtigen Bremsenverschleiß vermeiden und Energie sparen (z. B. durch großzügigen Einsatz regenerativer Bremsen), insbesondere bei Hochgeschwindigkeitszügen.

Falls definiert, sollte $A_{\text{normal}}(C,V)$ $A_{\text{nominalSB}}$ nicht überschreiten und nicht zu negativer normaler Betriebsbremsverzögerung bei maximalen Gefällen führen (untere Verzögerungsgrenze, z. B. für 40 ‰ Gefälle).

9 Gemeinsamer Parametersatz

Im Personenzugverkehr können Zugzusammenstellungen aus mehr als einem Triebzug bestehen. Die einzelnen Triebzüge in der Zugzusammenstellung unterscheiden sich in ihrer Art, z.B. in der Zusammenstellung der Fahrzeuge (z. B. vier Fahrzeuge und sechs Fahrzeuge). Der Zug kann dann aus der gleichen Anzahl von Fahrzeugen bestehen, jedoch über unterschiedliche Kombinationen von Zugeinheiten verfügen. Beispielsweise kann ein Zug mit zwölf Fahrzeugen aus zwei Triebzügen mit je sechs Fahrzeugen oder drei Triebzügen mit je vier Fahrzeugen bestehen. Da diese verschiedenen Fahrzeugzugkombinationen immer noch denselben Betrieb (und denselben Fahrplan) bedienen müssen, kann es von Vorteil sein, denselben Parametersatz für Zugkombinationen zu verwenden, die aus derselben Fahrzeuglänge bestehen, wodurch die Anzahl der auszuwählenden Zugtypkombinationen bei Beginn der Zugfahrt (en: SoM) verringert wird. Somit kann die Anzahl der Zugtypkombinationen reduziert werden. Z. B. können die zwei Typen „2x 6 Fahrzeuge“ und „3x 4 Fahrzeuge“ durch den einzigen Typ „zwölf Fahrzeuge“ ersetzt werden.

Falls derselbe Parametersatz für eine Zugkombination verwendet wird, die aus mehreren Variationen von Zugtypen bestehen kann, müssen die verwendeten Parameterwerte auf den Werten des ungünstigsten Falls der verschiedenen möglichen Variationen basieren.

Ein gemeinsamer Satz von Parametern kann auch verwendet werden, um austauschbare Bremskomponenten, z. B. Reibmaterialien mehrerer Hersteller, zu behandeln.

Allgemeiner gesagt ist es möglich zu entscheiden, ob für bestimmte Variationssätze im Mehrfachtraktionsbetrieb eine Clusterung anhand einer kleineren Anzahl von Parametern bevorzugt und möglich ist. Es kann entschieden werden, welche Varianten in einem Satz kombiniert werden sollen. In diesem Fall soll der Satz auf der Konfiguration für den ungünstigsten Fall basieren (hinsichtlich der sicheren Verzögerung $A_{\text{brake safe}}(C, V)$ und der Schnellbremsansprechzeit (t_e)). Aus systemtechnischen und/oder ergonomischen Gründen (für den Triebfahrzeugführer) kann die Anzahl der Sätze theoretisch auf bis zu einen Parametersatz reduziert werden.

Es ist zu prüfen, ob dies sicher ist und keine unzulässigen Nachteile für den Betrieb mit sich bringt.

10 Validierung des Berechnungstools

10.1 Allgemeines

Das Berechnungstool zur Bestimmung von $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$, wie in 7.3.1 beschrieben, wird in diesem Abschnitt/Unterabschnitt als „Tool“ bezeichnet. Im Falle einer analytischen Bestimmung der Werte von $K_{\text{dry}}(C, V, \text{EBCL})$ ist keine Toolvalidierung erforderlich. Stattdessen ist der zugehörige mathematische Lösungsweg zu dokumentieren.

Der Entwicklungsprozess des Berechnungstools wird in dieser Norm nicht behandelt und liegt in der Verantwortung des jeweiligen Softwareentwicklungsprozesses des Programmierers.

Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass die Generierung der Zufallswerte für die Verteilungsfunktionen korrekt erfolgt.

Die Toolvalidierung gliedert sich in zwei Teile:

- a) eine Toolverifizierung anhand eines vereinfachten oder virtuellen Modells;
- b) eine Toolvalidierung anhand von Beispielen.

Tabelle 8 — Zulässige Abweichung bei der Validierung des Berechnungstools

Zulässige Abweichung bei der Validierung des Berechnungstools in Abhängigkeit vom Vertrauensniveau											
EBCL (Wahrscheinlichkeit)		9 (10 ⁻⁹)	8 (10 ⁻⁸)	7 (10 ⁻⁷)	6 (10 ⁻⁶)	5 (10 ⁻⁵)	4 (10 ⁻⁴)	3 (10 ⁻³)	2 (10 ⁻²)	1 (10 ⁻¹)	0 (0,5)
Geschwin- digkeitsintervall km/h	[xxx-xxx] (Alle Geschwin- digkeiten)	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010

Beide Verifizierungs-/Validierungsschritte müssen durchgeführt und dokumentiert werden.

10.2 Verifizierung anhand eines vereinfachten Modells

Die vereinfachte (oder virtuelle) Modellverifikation ist ein Verfahren zur Überprüfung der Korrektheit der Funktionalitäten des Berechnungstools. Zu diesem Zweck wird ein vereinfachtes Zugbeispiel definiert (siehe Anhang G), das die Funktionalitäten für alle Ebenen und Bremssysteme abdeckt, die vom Tool gehandhabt werden müssen. Die statistischen Daten des Basisbeispiels müssen so gewählt werden, dass die Monte-Carlo-Simulation für jedes EBCL zu dem konstanten Ergebnis $K_{dry}(C,V,EBCL) = 1$ führt. Anschließend kann die korrekte Behandlung der statistischen Parameterinformationen für jedes Bremssystem überprüft werden, indem die Streuung und die Ausfallwahrscheinlichkeit so angepasst werden, dass die Werte für $K_{dry}(C,V,EBCL)$ zu einem konstanten vorab analytisch zu bestimmenden Wert führen. Ähnlich kann eine Prüfung der korrekten Verarbeitung von Strukturinformationen durchgeführt werden. Dabei werden statistische Daten des Basismodells auf verschiedenen Ebenen angepasst, sodass die Monte-Carlo-Simulation für alle EBCL zu einem konstanten Wert für $K_{dry}(C,V,EBCL)$ führt. Beispiele für die Anpassung des vereinfachten Modells mit dem Ziel, den korrekten Umgang mit den Parametern und Strukturinformationen des vereinfachten Modells nachzuweisen, finden sich im Anhang G. In der Validierungsdokumentation ist es erforderlich, genau zu beschreiben, welche Ebenen des vereinfachten Modells verwendet wurden, um die Validierung durchzuführen.

10.3 Validierung durch Beispielrechnungen

Die vollständige Validierung des Berechnungswerktools liegt außerhalb des Anwendungsbereichs dieses Dokuments. Die Validierung muss jedoch die folgenden Anforderungen umfassen:

- mindestens eines der in Anhang C aufgeführten Beispiele muss genau berechnet werden und die zulässigen Abweichungen von Tabelle 8 im Vergleich zu Referenzwerten von Anhang C erfüllen;
- alle anderen in Anhang C aufgeführten Beispiele sind entweder exakt oder vereinfacht zu berechnen. Im Falle einer vereinfachten Berechnung müssen die berechneten Werte für K_{dry} kleiner oder gleich dem Referenzwert für K_{dry} nach Anhang C sein, unter Berücksichtigung der zulässigen Abweichungen nach Tabelle 8.

Für diese Validierung durch Beispielrechnungen müssen mindestens $9,1 \cdot 10^{10}$ Monte-Carlo-Iterationen durchgeführt werden.

In der Dokumentation der Toolvalidierung muss beschrieben werden, welche Ebenen des Bremssystemarchitekturmodells implementiert sind. Es müssen auch fehlende Teile erwähnt werden, z. B. automatische Lastabbremsung.

11 Dokumentation

11.1 Allgemeines

Die Definition der ETCS-Bremskurvenparameter für Gamma-Zugprojekte ist zu dokumentieren. Die Dokumentation muss die verwendeten Eingangsgrößen, Analysen, Nominalwerte und Korrekturfaktoren enthalten.

Die Dokumentation muss folgende allgemeine Informationen zum Gamma-Zugprojekt enthalten:

- Bezeichnung des Zuges;
- Informationen zu den analysierten Zugkonfigurationen, z. B. Einzelfahrzeug oder Mehrfachtraktion (gleicher Einheitentyp oder gemischte Einheitenkonfigurationen);
- Informationen über Längen, Massen (statisch und dynamisch), maximale Geschwindigkeiten (Einzelwerte oder Intervalle), die vom Gamma-Modell abgedeckt werden;
- Informationen zu Betriebsarten mit gestörten Bremsen (sofern im Gamma-Modell berücksichtigt).

11.2 Modell der Bremssystemarchitektur

Die Dokumentation muss das Ergebnis der Analyse der Bremssystemarchitektur enthalten, einschließlich:

- a) Beschreibung der Bremssystemarchitektur der analysierten Gamma-Züge, einschließlich:
 - 1) Druckluftübersichtsplan;
 - 2) Beschreibung des Bremssystems.
- b) „Bottom-up“-Funktionsanalyse (nach 5.2.2);
- c) „Top-Down“-Analyse der Abweichungs-/Fehlerauswirkungen (nach 5.2.3);
- d) Modellvereinfachung (nach 5.2.4).

11.3 Eingangsgrößen

Die Dokumentation muss alle Eingangsgrößen enthalten, die zur Ermittlung der Korrekturfaktoren verwendet werden. Dazu gehören für jede Bremskonfiguration C und jedes Geschwindigkeitsintervall V die Gewichtungsfaktoren α und β sowie die Bremskraft im nominalen Zustand (siehe 5.3). Die Ermittlung aller Werte von α und β ist ebenfalls zu dokumentieren (siehe 7.3.2, 7.3.3 und 7.3.4). Daher sind auch die statistischen Verteilungen (Funktionen und Parameter) und verwendeten Ausfallraten für alle in der technischen Analyse identifizierten Komponenten/Systeme/Funktionen (z. B. Bremsseinheiten j , Triebfahrzeuge k , Steuergeräte usw.) zu dokumentieren.

11.4 Nominale Werte

Die Dokumentation muss für jedes Modell (Betrieb mit gestörten Bremsen und/oder Mehrfachtraktion und Kombinationen davon) die folgenden nominalen Werte enthalten:

- geschwindigkeitsabhängige nominale Verzögerungen bei Schnellbremsungen;
- nominale Schnellbremsansprechzeiten;