

DIN EN 17997:2025-04 (D)

Bahnanwendungen - Bremsen - Bestimmung der ETCS-Bremskurvenparameter für Gamma-Züge; Deutsche Fassung EN 17997:2025

Inhalt	Seite
Europäisches Vorwort	7
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen	9
3.1 Begriffe	9
3.2 Symbole und Abkürzungen	11
4 Fahrzeugspezifische Parameter des ETCS-Bremssmodells	12
4.1 Fahrzeugspezifische Parameter des ETCS-Schnellbremssmodells	12
4.1.1 Nominale Schnellbremsverzögerung A_{nominal}	12
4.1.2 Korrekturfaktor $K_{\text{dry}}(C,V,EBCL)$	13
4.1.3 Korrekturfaktor $K_{\text{wet}}(C,V)$	13
4.1.4 Ansprechzeit bei Schnellbremsung	13
4.1.5 Antriebsabschaltzeit	13
4.2 Fahrzeugspezifische Parameter des ETCS-Betriebsbremssmodells	13
4.2.1 Allgemeines	13
4.2.2 Nominale Betriebsbremsverzögerung $A_{\text{nominalSB}}$	13
4.2.3 Ansprechzeit bei Betriebsbremsung	13
4.2.4 Normale Betriebsbremsverzögerung und Korrekturfaktoren K_n	14
5 Bremssystemarchitekturmodell	14
5.1 Allgemeines	14
5.2 Allgemeine Verfahrensbeschreibung für die Bestimmung von $K_{\text{dry}}(C,V,EBCL)$	15
5.2.1 Allgemeines	15
5.2.2 Schritt 1: Bottom-up-Funktionsanalyse	16
5.2.3 Schritt 2: Top-down-Wirkungsanalyse	17
5.2.4 Schritt 3: Modellvereinfachung	18
5.3 Mathematische Modellbildung	20
6 Eingangsgrößen	22
6.1 Allgemeines	22
6.2 Herkunft der Eingangsgrößen	22
6.3 Gültigkeit der Eingangsgrößen	23
7 Bestimmung der Parameter des ETCS-Schnellbremssmodells	23
7.1 Parameter	23
7.1.1 Allgemeines	23
7.1.2 ETCS-Bremssparametersätze	26
7.1.3 Abhängigkeit der ETCS-Bremssparametersätze	27
7.1.4 Genauigkeit der ETCS-Bremssparameter	28
7.2 Nominale Schnellbremsverzögerung	28
7.2.1 Allgemeines	28
7.2.2 Ermittlung durch dynamische Bremsversuche	29
7.2.3 Ermittlung durch Berechnung	35
7.2.4 Ermittlung für Betrieb unter eingeschränkten Bedingungen	36
7.2.5 Ermittlung für den Mehrfachtraktionsbetrieb	37
7.3 Korrekturfaktor $K_{\text{dry}}(C,V,EBCL)$	37
7.3.1 Allgemeines	37
7.3.2 Bestimmung der Gewichtungsfaktoren $\alpha_j(C,V)$	39
7.3.3 Bestimmung der Faktoren $\beta_j(i,C,V)$	39
7.3.4 Bestimmung der Faktoren $\alpha'_k(C,V)$ und $\beta'_k(C,V)$	41
7.3.5 Bestimmung des Korrekturfaktors $K_{\text{dry}}(C,V,EBCL)$ mit Monte-Carlo-Methode	42
7.4 Korrekturfaktor $K_{\text{wet}}(C,V)$	42

7.4.1	Allgemeines Verfahren zur Bestimmung von $K_{wet}(C,V)$	42
7.4.2	Bestimmung von $K_{wet}(C,V)$ für Rad/Schiene-Kraftschluss-unabhängige Bremsseinheiten	43
7.5	Charakteristik der Schnellbremsansprechzeit	44
7.5.1	Allgemeines	44
7.5.2	Mehrfachtraktion	44
7.6	Antriebsabschaltzeit	45
7.6.1	Allgemeines	45
7.6.2	Mehrfachtraktion	46
8	Bestimmung der Parameter des ETCS-Betriebsbremsmodells	46
8.1	Allgemeines	46
8.2	Nominale Verzögerung für Betriebsbremsungen	46
8.3	Ansprechzeit bei Betriebsbremsungen	46
8.4	Normale Betriebsbremsverzögerung und Korrekturfaktoren K_n	46
9	Gemeinsamer Parametersatz	47
10	Validierung des Berechnungstools	47
10.1	Allgemeines	47
10.2	Verifizierung anhand eines vereinfachten Modells	48
10.3	Validierung durch Beispielrechnungen	48
11	Dokumentation	49
11.1	Allgemeines	49
11.2	Modell der Bremssystemarchitektur	49
11.3	Eingangsgrößen	49
11.4	Nominale Werte	49
11.5	Korrekturfaktoren	50
11.6	Quellenverzeichnis	50
Anhang A (informativ) Grundgleichungen für die gebräuchlichsten Arten von Bremsseinheiten		51
A.1	Allgemeines	51
A.2	Faktoren $\beta_j(i,C,V)$	51
A.2.1	Interne und externe Parameter für die Klotzbremseinheit	51
A.2.2	Interne und externe Parameter für die Scheibenbremseinheit	53
A.2.3	Interne und externe Parameter für die Magnetschienenbremseinheit	55
A.2.4	Interne und externe Parameter für die Wirbelstrombremse	57
A.2.5	Interne und externe Parameter für die elektrodynamische Bremse	58
A.3	Faktoren $\beta'_k(i,C,V)$	60
Anhang B (informativ) Herleitung der Gleichungen für $K_{dry}(C,V,EBCL)$		61
B.1	Allgemeines	61
B.2	Lineare und nichtlineare Eingangsvariablen	61
B.3	Betrachtung des kompletten Zuges	63
B.4	Berücksichtigung der Struktur des Zuges und der Teilsysteme	64
B.4.1	Allgemeines	64
B.4.2	Übergeordnete Struktur des Zuges und der Teilsysteme	64
B.4.3	Struktur der Bremssteuerung ohne Redundanzen	66
B.4.4	Berücksichtigung von Redundanzen	67
B.4.5	Systemübergreifende Variablen	69
Anhang C (normativ) Anwendung der Gleichung für $K_{dry}(C,V,EBCL)$		72
C.1	Allgemeines	72
C.2	Beispiel 1: Elektrischer Triebzug mit drei Fahrzeugen	73
C.2.1	Beschreibung des Zuges	73
C.2.2	Bremssystemarchitekturmodell	76
C.2.3	Gewichtungsfaktoren	77
C.2.4	Bestimmung der Faktoren $\beta_j(i,C,V)$	77
C.2.5	$K_i(C,V)$ Gleichungen	81
C.2.6	Ergebnisse	83
C.3	Beispiel 2: Architektur definiert in EN 14531-1	83
C.3.1	Beschreibung des Zuges	83
C.3.2	Bremssystemarchitekturmodell	86
C.3.3	Gewichtungsfaktoren	88

C.3.4	Bestimmung der Faktoren $\beta_j(i,C,V)$	89
C.3.5	K_j Gleichungen	90
C.3.6	Ergebnisse	91
Anhang D (informativ) Bestimmung von $K_{dry}(C,V,EBCL)$ unter Verwendung der Monte-Carlo-Methode in Abhängigkeit von der Anzahl der Monte-Carlo-Iterationen		92
D.1	Definitionen	92
D.2	Bestimmung von $K_{dry}(C,V,EBCL)$ in Abhängigkeit von der Anzahl der Monte-Carlo-Iterationen	92
D.3	Beispiele	94
Anhang E (informativ) Methoden zur Vereinfachung des Bremssystemarchitekturmodells		96
E.1	Allgemeines	96
E.2	Strukturgruppierung	97
E.2.1	Serielle Struktur	97
E.2.2	Parallel-redundante Struktur	98
E.2.3	Parallel verzweigte Struktur	99
E.2.4	Doppelter Fehler in parallel verzweigter Struktur	100
E.3	Vereinfachungsbeispiel	101
E.3.1	Beispielsystem	101
E.3.2	Doppelfehlerprüfung	102
E.3.3	Gruppierung parallel verzweigter Struktur	102
E.3.4	Gruppierung parallel redundanter Struktur	104
E.3.5	Gruppierung von Serienkonstruktionen	106
E.4	Erweiterte Beschreibung der in 5.2.4 genannten Methoden	107
E.4.1	S-1 Gruppierung von Komponenten und technischen Funktionen	107
E.4.2	S-2 Betrachtung des ungünstigsten Falls (en: worst case)	107
E.4.3	S-3 Ausschluss eines sehr unwahrscheinlichen Ausfallereignisses	108
E.4.4	S-4 Reduzierung von Modellebenen	109
E.4.5	S-5 Annahme dauerhaft ausgefallener Komponenten	109
Anhang F (informativ) Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit mittels FIT-Ratenanalyse		111
F.1	Allgemeines	111
F.2	Umrechnung von FIT-Raten in Ausfallwahrscheinlichkeiten	111
Anhang G (informativ) Vereinfachtes Modell zur Validierung eines Berechnungstools		112
G.1	Allgemeines	112
G.2	Zugmodell	112
G.2.1	Allgemeines	112
G.2.2	Statistische Daten für Druckluftbremse	115
G.2.3	Statistische Daten für Magnetschienenbremse	115
G.2.4	Statistische Daten für elektrodynamische Bremse	116
G.2.5	Statistische Daten für Antriebseinheiten	116
G.3	Beispiele für die Validierung der Verwendung von Parameterinformationen	117
G.3.1	Massestreuungen	117
G.3.2	Streuung des Raddurchmessers	117
G.3.3	Streuung der Magnetschienenbremskraft	118
G.3.4	Streuung der elektrodynamischen Bremskraft	118
G.3.5	Ausfallwahrscheinlichkeit der Antriebsabschaltung	118
G.4	Beispiele für die Verifizierung der Verwendung von Strukturinformationen	119
G.4.1	Ausfallwahrscheinlichkeit auf Drehgestellebene für Druckluftbremsen	119
G.4.2	Ausfallwahrscheinlichkeit auf Fahrzeugtypebene für MTB	119
Literaturhinweise		121

Bilder

Bild 1 — Allgemeine Prozessbeschreibung für die Entwicklung des Bremssystemarchitekturmodells	15
--	-----------

Bild 2 — Beispiel für Teilsysteme zur Erzeugung von Bremskräften, die sich auf der richtigen Ebene des Zuges befinden	16
Bild 3 — Beispiel für Einflusskomponente und relevante Merkmale	17
Bild 4 — Beispiel für gemeinsame Punkte und zusätzliche Komponenten, die an einem Reisezugwagen identifiziert wurden	17
Bild 5 — Beispiel für Zusatzausrüstung mit Einfluss auf Magnetschienenbremsen	18
Bild 6 — Schritte und zugehörige Unterabschnitte zur Ermittlung validierter Verzögerungswerte (durch Versuche und/oder Berechnung)	25
Bild 7 — Aufbau eines Bremskrafterzeugers	40
Bild 8 — Traktionsmodell basierend auf SUBSET-026 [11]	45
Bild A.1 — Physikalische Parameter für die Klotzbremseinheit (pneumatisch oder hydraulisch)	51
Bild A.2 — Physikalische Parameter für Scheibenbremseinheit (pneumatisch oder hydraulisch)	53
Bild A.3 — Magnetschienenbremseinheit	55
Bild A.4 — Wirbelstrombremse	57
Bild A.5 — Elektrodynamische Bremse	58
Bild A.6 — Antriebseinheit	60
Bild B.1 — Lineare Eingangsvariable	61
Bild B.2 — Nichtlineare Eingangsvariable	62
Bild B.3 — Nichtlineare Eingangsvariable mit Zwischenfunktion	63
Bild B.4 — Strukturen der Bremssysteme im Fahrzeug; Verhältnis der Anzahl zwischen Ebenen	65
Bild B.5 — Signalfussdiagramm für eine bestimmte Ebene ohne Redundanz	66
Bild B.6 — Signalfussdiagramm für eine bestimmte Ebene mit Redundanz auf derselben Ebene	67
Bild B.7 — Berücksichtigung durch Systeme mittels Algorithmus	69
Bild B.8 — Systemübergreifende Variable im Signalfussdiagramm	70
Bild B.9 — Berücksichtigung systemübergreifender Variablen mittels Algorithmus	71
Bild C.1 — Beispiel 1/Architektur des Zugs	73
Bild C.2 — Beispiel/Bremssystemanalyse	76
Bild C.3 — Relevante Strukturen der Teilsysteme	78
Bild C.4 — Beispiel 2/Architektur des Zuges	84
Bild C.5 — Beispiel 2/Bremssystemanalyse	86
Bild C.6 — Beispiel 2/„Top-down“-Analyse	87
Bild C.7 — Ausfallwahrscheinlichkeit eines Drehgestells	88
Bild C.8 — Physikalischer Parameter für die Scheibenbremseinheit auf Drehgestellebene	89
Bild C.9 — Magnetschienenbremse	90
Bild E.1 — Vereinfachte serielle Struktur	97
Bild E.2 — Vereinfachte parallel-redundante Struktur	98
Bild E.3 — Vereinfachte parallel verzweigte Struktur	99
Bild E.4 — Beispiel einer Struktur	101
Bild E.5 — Beispiel für Gruppierung parallel verzweigter Struktur	103
Bild E.6 — Beispiel für Gruppierung parallelen redundanter Struktur	105
Bild E.7 — Beispiel für Gruppierung von Serienkonstruktionen	106

Tabellen

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen	11
Tabelle 2 — Beispiele für mögliches statistisches Verhalten	22
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)	27
Tabelle 4 — Mindest-Kombinationen von aktiven Bremssteuerungen/Bremssystemen für dynamische Bremsversuche — Normalbetrieb	30
Tabelle 5 — Mindest-Kombinationen von aktiven Bremssteuerungen/Bremssystemen bei dynamischen Bremsversuchen — Betrieb mit gestörten Bremsen	32
Tabelle 6 — Vertrauensniveau in Abhängigkeit von EBCL	38
Tabelle 7 — Auswahl der $K_i(C,V)$-Werte für $K_{dry}(C,V,EBCL)$	42

Tabelle 8 — $K_{dry}(C,V,EBCL)$ — zulässige Abweichung bei der Validierung des Berechnungstools .	48
Tabelle A.1 — Übliche Parameter der Klotzbremseinheit	52
Tabelle A.2 — Übliche Parameter der Scheibenbremseinheit	54
Tabelle A.3 — Übliche Parameter der Magnetschienenbremseinheit	56
Tabelle A.4 — Übliche Parameter der Wirbelstrombremseinheit	57
Tabelle A.5 — Übliche Parameter der ED-Bremse	59
Tabelle A.6 — Übliche Parameter der Antriebseinheit	60
Tabelle C.1 — Anzahl der Elemente und zugeordnete Ebene	74
Tabelle C.2 — Beschreibung der Brems- und Zugkräfte des Fahrzeugs	75
Tabelle C.3 — Statistische Daten	75
Tabelle C.4 — Ausfallwahrscheinlichkeiten	80
Tabelle C.5 — $K_{dry}(C,V,EBCL)$ für Beispiel 1	83
Tabelle C.6 — Beschreibung des Fahrzeugs/der Brems- und Traktionskräfte	85
Tabelle C.7 — Statistische Daten	85
Tabelle C.8 — Statistische Daten nach Vereinfachungen	91
Tabelle C.9 — $K_{dry}(C,V,EBCL)$ für Beispiel 2	91
Tabelle D.1 — Symbole	92
Tabelle D.2 — Auswahl der $K_i(C,V)$ -Werte für $K_{dry}(C,V,EBCL)$	94
Tabelle D.3 — Beispiele für x-niedrigsten Wert von $K_i(C,V)$	94
Tabelle E.1 — Statistische Daten	101
Tabelle E.2 — Statistische Daten nach Gruppierung parallel verzweigter Struktur	103
Tabelle E.3 — Statistische Daten nach Gruppierung parallel redundanter Struktur	105
Tabelle E.4 — Statistische Daten nach Gruppierung parallel redundanter Struktur	106
Tabelle G.1 — Beschreibung des Zuges	113
Tabelle G.2 — Gewichtungsfaktor	114
Tabelle G.3 — Abweichungen	115
Tabelle G.4 — Ausfallwahrscheinlichkeiten	115
Tabelle G.5 — Abweichungen	116
Tabelle G.6 — Ausfallwahrscheinlichkeiten	116
Tabelle G.7 — Abweichungen	116
Tabelle G.8 — Ausfallwahrscheinlichkeiten	116
Tabelle G.9 — Ausfallwahrscheinlichkeiten	117
Tabelle G.10 — Massestreuung	117
Tabelle G.11 — Streuung des Raddurchmessers	117
Tabelle G.12 — MTB-Bremskraftstreuung	118
Tabelle G.13 — Streuung der ED-Bremskraft	118
Tabelle G.14 — Ausfallwahrscheinlichkeit der Antriebsabschaltung	119
Tabelle G.15 — Ausfallwahrscheinlichkeit auf Drehgestellebene für Druckluftbremsen	119
Tabelle G.16 — Ausfallwahrscheinlichkeit auf Fahrzeugtypebene für MTB	120