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-Bremsmodells . . . 12
4.1 Fahrzeugspezifische Parameter des ETCS-Schnellbremsmodells . . . 12
4.1.1 Nominale Schnellbremsverzögerung A_{nominal} . . . 12
4.1.2 Korrekturfaktor $K_{\mathrm{dry}}(\mathrm{C,V,EBCL})$ . . . 13
4.1.3 Korrekturfaktor $K_{\mathrm{wet}}(\mathrm{C,V})$ . . . 13
4.1.4 Ansprechzeit bei Schnellbremsung . . . 13
4.1.5 Antriebsabschaltzeit . . . 13
4.2 Fahrzeugspezifische Parameter des ETCS-Betriebsbremsmodells . . . 13
4.2.1 Allgemeines . . . 13
4.2.2 Nominale Betriebsbremsverzögerung $A_{\mathrm{nominalSB}}$ . . . 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 $K_{\mathrm{dry}}(\mathrm{C,V,EBCL})$ . . . 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-Schnellbremsmodells . . . 23
7.1 Parameter . . . 23
7.1.1 Allgemeines . . . 23
7.1.2 ETCS-Bremsparametersätze . . . 26
7.1.3 Abhängigkeit der ETCS-Bremsparametersätze . . . 27
7.1.4 Genauigkeit der ETCS-Bremsparameter . . . 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 $K_{\mathrm{dry}}(\mathrm{C,V,EBCL})$ . . . 37
7.3.1 Allgemeines . . . 37
7.3.2 Bestimmung der Gewichtungsfaktoren $\alpha_{\mathrm{j}}(\mathrm{C,V})$ . . . 39
7.3.3 Bestimmung der Faktoren $\beta_{\mathrm{j}}(\mathrm{i,C,V})$ . . . 39
7.3.4 Bestimmung der Faktoren $\alpha'_{\mathrm{k}}(\mathrm{C,V})$ und $\beta'_{\mathrm{k}}(\mathrm{C,V})$ . . . 41
7.3.5 Bestimmung des Korrekturfaktors $K_{\mathrm{dry}}(\mathrm{C,V,EBCL})$ mit Monte-Carlo-Methode . . . 42
7.4 Korrekturfaktor $K_{\mathrm{wet}}(\mathrm{C,V})$ . . . 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 Bremseinheiten 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 Bremseinheiten . . . 51**
A.1 Allgemeines . . . 51
A.2 Faktoren β_{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 β'_{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 βj(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 β_j(i,C,V) . . . 89
C.3.5 K_i 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 — Signalflussdiagramm für eine bestimmte Ebene ohne Redundanz . . . 66
Bild B.6 — Signalflussdiagramm 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 Signalflussdiagramm . . . 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 $K_{\mathrm{i}}(\mathrm{C,V})$-Werte für $K_{\mathrm{dry}}(\mathrm{C,V,EBCL})$ . . . 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