

# 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 $A_{\text{nominal}}$ . . . . .	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	Eingangsrößen . . . . .	49
11.4	Nominale Werte . . . . .	49
11.5	Korrekturfaktoren . . . . .	50
11.6	Quellenverzeichnis . . . . .	50
<b>Anhang A (informativ) Grundgleichungen für die gebräuchlichsten Arten von Bremsseinheiten . . . . .</b>		<b>51</b>
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
<b>Anhang B (informativ) Herleitung der Gleichungen für <math>K_{dry}(C,V,EBCL)</math> . . . . .</b>		<b>61</b>
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
<b>Anhang C (normativ) Anwendung der Gleichung für <math>K_{dry}(C,V,EBCL)</math> . . . . .</b>		<b>72</b>
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
<b>Anhang D (informativ) Bestimmung von <math>K_{dry}(C,V,EBCL)</math> unter Verwendung der Monte-Carlo-Methode in Abhängigkeit von der Anzahl der Monte-Carlo-Iterationen . . . . .</b>		<b>92</b>
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
<b>Anhang E (informativ) Methoden zur Vereinfachung des Bremssystemarchitekturmodells . . . . .</b>		<b>96</b>
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
<b>Anhang F (informativ) Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit mittels FIT-Ratenanalyse . . . . .</b>		<b>111</b>
F.1	Allgemeines . . . . .	111
F.2	Umrechnung von FIT-Raten in Ausfallwahrscheinlichkeiten . . . . .	111
<b>Anhang G (informativ) Vereinfachtes Modell zur Validierung eines Berechnungstools . . . . .</b>		<b>112</b>
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

<b>Bild 1 — Allgemeine Prozessbeschreibung für die Entwicklung des Bremssystemarchitekturmodells . . . . .</b>	<b>15</b>
--	-----------

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

## Tabellen

<b>Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen . . . . .</b>	<b>11</b>
<b>Tabelle 2 — Beispiele für mögliches statistisches Verhalten . . . . .</b>	<b>22</b>
<b>Tabelle 3 — Ansätze A und B zur Bestimmung sicherer Verzögerungen für Normalbetrieb und Betrieb mit gestörten Bremsen (für 1 bis <math>n</math> verschiedene Kombinationen von speziellen Bremssystemen) . . . . .</b>	<b>27</b>
<b>Tabelle 4 — Mindest-Kombinationen von aktiven Bremssteuerungen/Bremssystemen für dynamische Bremsversuche — Normalbetrieb . . . . .</b>	<b>30</b>
<b>Tabelle 5 — Mindest-Kombinationen von aktiven Bremssteuerungen/Bremssystemen bei dynamischen Bremsversuchen — Betrieb mit gestörten Bremsen . . . . .</b>	<b>32</b>
<b>Tabelle 6 — Vertrauensniveau in Abhängigkeit von EBCL . . . . .</b>	<b>38</b>
<b>Tabelle 7 — Auswahl der <math>K_i(C,V)</math>-Werte für <math>K_{dry}(C,V,EBCL)</math> . . . . .</b>	<b>42</b>

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