

DIN EN 16834

ICS 45.040

Einsprüche bis 2015-04-13

Entwurf**Bahnanwendungen –
Bremsen –
Bremsleistung;
Deutsche Fassung prEN 16834:2015**

Railway applications –
Braking –
Brake performance;
German version prEN 16834:2015

Application ferroviaires –
Freins –
Performance de freinage;
Version allemande prEN 16834:2015

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-02-13 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de 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/stellungnahme 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) (Hausanschrift: Panoramaweg 1, 34131 Kassel).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 78 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16834:2015) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

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

Bahnanwendungen — Bremse — Bremsleistung

Application ferroviaires — Freins — Performance de freinage

Railway applications — Braking — Brake performance

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.5a

Inhalt

Seite

Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	8
5 Grundsätze der Bestimmung der Bremsleistung	14
5.1 Allgemeines	14
5.1.1 Festlegung	14
5.1.2 Auswirkung der Bremsstellung	14
5.2 Bremsbewertung mit Bremsgewichten	15
5.3 Bremsbeurteilung mit dem Verzögerungsverfahren	15
6 Durchführung der Prüfungen	16
6.1 Prüfverfahren	16
6.1.1 Allgemeines	16
6.1.2 Güterwagen und Reisezugwagen	16
6.1.3 Lokomotiven	16
6.1.4 EMUs/DMUs und Hochgeschwindigkeitszüge	16
6.1.5 Prüfung von Fahrzeugen/Zügen mit zusätzlicher Bremsausrüstung	17
6.2 Lastbedingungen bei Prüfungen	17
6.2.1 Güterwagen	17
6.2.2 Lokomotiven	18
6.2.3 Personenzugwagen	18
6.3 Bei der Prüfung anzuwendende Geschwindigkeiten	19
6.4 Verfahrensweise bei der Durchführung der Prüfungen	19
6.4.1 Allgemeines	19
6.4.2 Witterungsbedingungen	20
6.4.3 Zustand der Bremsausrüstung	20
6.4.4 Anzahl und Gültigkeit der einzelnen Prüfungen	20
6.5 Prüfung unter eingeschränkten Bedingungen	21
6.6 Bewertung der Prüfergebnisse für den Anhalteweg	21
6.6.1 Korrektur der Anhaltewege bei jeder Prüfung	21
6.6.2 Mittelwertbestimmung des Anhaltewegs	22
6.6.3 Korrektur des mittleren Anhaltewegs	25
6.7 Prüfung der Feststell- und Haltebremse	28
6.7.1 Prüfverfahren	28
6.7.2 Bewertung der Leistungsfähigkeit einer Feststellbremse auf einer Neigung	28
7 Bewertung des Verzögerungsverfahrens	29
7.1 Allgemeines	29
7.2 Physikalische Prinzipien	29
7.3 Bestimmung der Bremsleistung für das Zugbeeinflussungssystem (ETCS)	30
7.4 Bestimmung der für die Bremsleistung erforderlichen Parameter	31
7.4.1 Allgemeines	31
7.4.2 Verfahren zur Bestimmung von Verzögerungen	32
7.5 Bewertung der Bremsleistung unter eingeschränkten Bedingungen	35
7.5.1 Direkte Anwendung der Prüfungen unter eingeschränkten Bedingungen	35
7.5.2 Auf Prüfung unter normalen Bedingungen basierende Berechnung	35

8	Bewertung des Bremsgewichts	36
8.1	Allgemeines	36
8.1.1	Bestimmen des Bremshundertstels	36
8.1.2	Bestimmung des Bremsgewichts	37
8.2	Bei Reisezugwagen und EMUs/DMUs	38
8.3	Zusätzliche Bewertung von Reisezugwagen, die bei Fahrzeugprüfungen mit einer Geschwindigkeit von über 160 km/h fahren	38
8.4	Für Güterwagen in Bremsstellung P	39
8.5	Für Güterwagen in Bremsstellung G	39
8.6	Lokomotiven	39
8.7	Magnetschienenbremse und Wirbelstrombremse	40
8.7.1	Allgemeines	40
8.7.2	Bewertung mittels Versuchszug	40
8.7.3	Bewertung durch Einzelfahrzeugprüfung	40
8.8	Direkt wirkende EP-Bremse	40
8.9	Feststell- und Haltebremse	41
9	Betriebsvorschriften unter Einsatz von Bremshundertsteln	41
9.1	Allgemeines	41
9.2	Grundsätze beim Einsatz von Zügen in der Betriebsart P	41
9.3	Anpassung von Zügen die aus Lokomotive und Reisezugwagen bestehen	42
9.3.1	Variation des Bremsgewichts unter Berücksichtigung der Zuglänge	42
9.3.2	Bremsgewicht von Zügen die mit Bremsbeschleunigern ausgestattet sind	43
9.3.3	Regeln für den Einsatz bei Fahrbetrieb: Bremsgewicht von Zügen die mit EP-Bremse ausgestatteten sind	43
9.3.4	Abweichung beim Bremsgewicht unter Berücksichtigung der zusätzlichen dynamischen Bremse	43
9.4	Korrekturen bei im P-Modus gebremsten Güterzügen	43
9.4.1	Veränderung des Bremsgewichts unter Berücksichtigung der Zuglänge	43
9.4.2	Verringerung des Bremsgewichts eines in Stellung G gebremsten Fahrzeugs bei einem in Stellung P gebremsten Zug	44
9.4.3	Veränderung des Bremsgewichts unter Berücksichtigung von Bremsbeschleuniger und EP-Bremse	44
9.5	Grundsätze beim Einsatz von in der Betriebsart G betriebenen Zügen	44
9.5.1	Allgemeines	44
9.5.2	Bei in Bremsstellung G gebremsten Güterzügen von mehr als 700 m Länge	45
9.6	Korrekturen bei Zügen mit mehr als einer gebremsten Lokomotive	45
9.7	Triebzüge und Hochgeschwindigkeitszüge	45
10	Betrieb mit dem Europäischen Zugsteuerungssystem (ETCS-System)	46
Annex A (normativ)	Bremsbewertung für Züge	47
A.1	Bewertungsbogen für Züge mit Bremsstellungen P, R, R + Mg	47
A.2	Übersicht der mathematischen Formeln für die Bewertungskurven von Zügen mit den Bremsstellungen P, R, R + Mg	47
Annex B (normativ)	Bremsbewertung für Einzelfahrzeuge	49
B.1	Bewertungsdiagramm für Einzelfahrzeuge	49
B.2	Übersicht der mathematischen Formeln für die Bewertungskurven von Einzelfahrzeugen	49
Annex C (normativ)	Überprüfung der Reibpaarung von scheibengebremten Einzelfahrzeugen	51
C.1	Diagramm zur Überprüfung der Reibpaarung von scheibengebremten Einzelfahrzeugen	51
C.2	Übersicht über die mathematischen Formeln für die Bewertungskurven zur Überprüfung der Reibpaarung von scheibengebremten Einzelfahrzeugen	51
Annex D (normativ)	Bestimmung der Bremsleistung von mit Graugussbremsklotzsohlen (P10) oder mit umfassend zertifizierten Verbundstoff-Bremssohlen vom Typ „LL“ ausgestatteten Güterwagen	53
Annex E (normativ)	Ermittlung der äquivalenten Ansprechzeit der Bremse	56
E.1	Allgemeines	56
E.2	Bestimmung der äquivalenten Ansprechzeit der Bremse basierend auf der Zugverzögerung	56

E.3	Ermittlung der äquivalenten Ansprechzeit der Bremse je nach Bremszylinderfüllzeiten	57
E.3.1	Allgemeines	57
E.3.2	Bewertung	57
Annex F	(normativ) Allgemeines Bremsmodell für ERTMS/ETCS	59
F.1	Einleitung	59
F.2	Symbole für diesen Anhang	59
F.3	Geltungsbereich des Modells	61
F.4	Bremsmodell	61
F.4.1	Allgemeine Grundsätze	61
F.4.2	Berechnung der äquivalenten Notbrems-Entwicklungszeit	63
F.4.3	Berechnung der äquivalenten Vollbrems-Entwicklungszeit	65
F.4.4	Berechnung der Grundverzögerungen	66
F.4.5	Berechnung der Verzögerungen bei einer Notbremsung	68
F.5	Berechnungsbeispiel des Anhalte- und Verzögerungsbremswegs	69
Annex G	(normativ) Bewertungsbogen für Züge mit Geschwindigkeiten von weniger als 100 km/h mit Bremsstellung P	71
G.1	Bewertungsbogen für Einzelfahrzeuge, die mit Graugussbremsklötzen (P10) für Geschwindigkeiten unter 100 km/h ausgestattet sind	71
G.2	Übersicht der mathematischen Formeln, die bei Bewertungskurven für Einzelfahrzeuge Anwendung finden, die die mit Graugussbremsklötzen (P10) für Geschwindigkeiten unter 100 km/h ausgestattet sind	73
G.3	Bewertungsbogen für Einzelfahrzeuge, die mit UIC-Scheibenbremsen oder K-Bremsklotzsohlen für Geschwindigkeiten unter 100 km/h ausgestattet sind	74
G.4	Übersicht der mathematischen Formeln, die bei Bewertungskurven für Einzelfahrzeuge Anwendung finden, die mit UIC-Scheibenbremsen oder Verbundstoffbremsklotzsohlen für Geschwindigkeiten unter 100 km/h ausgestattet sind	75
Literaturhinweise		76

Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16834:2015) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt eine harmonisierte Verfahrensweise zur Bewertung der Bremsleistung durch Prüfung von Lokomotiven, Reisezugwagen, Güterwagen und angetriebene Schienenfahrzeuge für den Personenverkehr (EMUs/DMUs) fest.

Diese Europäische Norm legt das Normverfahren für die Durchführung von Bremsleistungsprüfungen und die Korrekturfaktoren dar, die auf die für alle Arten von Schienenfahrzeugen gewonnenen Daten anzuwenden sind.

Diese Europäische Norm legt auch die Verfahren zur Bewertung der Bremsleistung in Bezug auf den Anhalteweg und davon ausgehend den Prozess zur Bestimmung der Fahrzeugverzögerung und des Bremsgewichts fest.

Sie befasst sich mit der Umwandlung des Bremsgewichts eines Fahrzeugs oder Zuges für betriebliche Zwecke in Brems-hundertstel. Sie legt auch die zusätzlichen Faktoren bei der Bestimmung des Brems-hundertstels eines Zuges fest, das in Abhängigkeit von der Zugbildung aus dem festgelegten Bremsgewicht berechnet wird.

Anhang D enthält ein Verfahren mit eingeschränkter Prüfung (Kraftmessung) zur Bestimmung der Bremsleistung von Güterwagen, die mit Bremsklotzsohlen aus Grauguss P10 ausgestattet sind.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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 14198, *Bahnanwendungen — Bremsen — Anforderungen für die Bremsausrüstung lokbespannter Züge*

prEN 14531-1:2012, *Bahnanwendungen — Verfahren zur Berechnung der Anhalte- und Verzögerungsbremswege und der Feststellbremsung — Teil 1: Allgemeine Algorithmen für Einzelfahrzeuge und Fahrzeugverbände unter Berücksichtigung von Durchschnittswerten*

EN 14531-2, *Bahnanwendungen — Verfahren zur Berechnung der Anhalte- und Verzögerungsbremswege und der Feststellbremsung — Teil 2: Schrittweise Berechnungen für Zugverbände oder Einzelfahrzeuge*

EN 15355, *Bahnanwendungen — Bremse — Steuerventile und Bremsabsperreinrichtungen*

EN 15595, *Bahnanwendungen — Bremse — Gleitschutz*

EN 15663, *Bahnanwendungen — Definition der Fahrzeugreferenzmassen*

EN 15877-1, *Bahnanwendungen — Kennzeichnung von Schienenfahrzeugen — Teil 1: Güterwagen*

EN 15877-2, *Bahnanwendungen — Kennzeichnungen von Schienenfahrzeugen — Teil 2: Außenanschriften an Personenzugfahrzeugen, Triebfahrzeugeinheiten, Lokomotiven und Gleisbaumaschinen*

EN 16207, *Bahnanwendungen — Bremse — Anforderungen an die Funktion und Leistungsfähigkeit von elektromagnetischen Schienenbremssystemen für Schienenfahrzeuge*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Bremsgewicht

in der Regel wird das Bremsgewicht eines Fahrzeugs/Zuges, angegeben in Tonnen, durch Multiplizieren der Bremsleistung mit der Gesamtmasse des Fahrzeugs/Zuges und Dividieren des Ergebnisses durch 100 erhalten

Anmerkung 1 zum Begriff: Es wird am Fahrzeug (nach EN 15877) angeschrieben. Das Bremsgewicht entspricht der Bremsleistung und wird gegenwärtig als „B“ angegeben und bezeichnet.

3.2

Bremshundertstel

auch bekannt als λ (Lambda), ist eine Art und Weise der Beschreibung der Bremsleistung, wie sie in diesem Dokument (Anhang A und B) dargelegt ist

3.3

Bremsart

<Güterzug> mit den in dieser Norm genannten Fahrzeugen in Bremsstellung „G“ entspricht die Füllzeit des Bremszylinders den Bedingungen der Bremsart „Güter“, wie in EN 15355 festgelegt

3.4

Bremsart

<Personenzug> mit den in dieser Norm genannten Fahrzeugen in Bremsstellung „P, R, P + Mg, R + Mg“ entspricht die Füllzeit des Bremszylinders den Bedingungen der Bremsart „Personen“ wie in EN 15355 und EN 14198 festgelegt

3.5

bespannter Zug

für die Anwendung dieses Dokuments die Länge des geschleppten Zuges ohne die Länge der Lokomotive(n)

3.6

maximale Bremslast

Beladungszustand kleiner oder gleich der „Auslegungsmasse bei außergewöhnlicher Nutzlast“ (wie in EN 15663 definiert)

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn der Beladungszustand niedriger ist als „die Auslegungsmasse bei maximaler Nutzlast“, so ist er in den Fahrzeugpapieren zu begründen und zu deklarieren.

3.7

Mindestlast

Beladungszustand „Auslegungsmasse des betriebsbereiten Fahrzeugs“ (wie in EN 15663 definiert)

3.8

Normallast

Nennlast

Beladungszustand „Auslegungsmasse bei normaler Nutzlast“ (wie in EN 15663 definiert)

4 Symbole und Abkürzungen

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen

Symbol	Beschreibung	Einheit
$a_C; a_1; a_2; a_3$	Dimensionslose Konstanten zur Berechnung der „ k “-Werte	[-]
$a_{bi}; a_{b1}; a_{b2}; a_{b3}$	Zwischen den Geschwindigkeitsbereichen geltende konstante Verzögerung v_i und v_{i+1} ; $v_0 - v_1$; $v_1 - v_2$; $v_2 - v_3$	[m/s ²]
a_{bj}	Berechnete Verzögerung	[m/s ²]
a_i	Verzögerung zum Zeitpunkt „ i “	[m/s ²]
a_j	Durchschnittliche Verzögerung	[m/s ²]
a_{jn}	Verzögerung entsprechend der Verzögerungsstufe v_j , in Prüfung „ n “	[m/s ²]
a_m	Mittlere Verzögerung	[m/s ²]
a_{mi}	Mittlere Verzögerung im Geschwindigkeitsbereich $v_i - v_{i+1}$	
a_{max}	Momentane Maximalverzögerung	[m/s ²]
a_{min}	Momentane Mindestverzögerung	[m/s ²]
AL	Selbsteinstellende lastabhängige Bremse	
B	Bremsgewicht	[t]
B_Z	Bremsgewicht des Zuges	[t]
B_{ep}	Mit der elektro-pneumatischen Bremse (EP-Bremse) erhaltenes Bremsgewicht	[t]
B_g	Bremsklotz, Typ B_g (Einzelbremsklotz)	
B_{gu}	Bremsklotz, Typ B_{gu} (Doppelbremsklotz)	
B_h	Bremsgewicht der Feststellbremse	
B_{corr}	Korrigiertes Bremsgewicht je Bremsklotz	[t]
B_{corrtr}	Korrigiertes Bremsgewicht des Zuges	[t]
B_{test}	Mittleres Bremsgewicht je Bremsklotz bei der Prüfung	[t]
BR	Bremsgewicht in Bremsstellung R	[t]
B_{Sbb}	Mit aktivem Bremsbeschleuniger erhaltenes Bremsgewicht	[t]
$B_{wag\ corr}$	Korrigiertes Bremsgewicht des Fahrzeugs	[t]
D	Konstante für die Berechnung der λ -Werte	[-]
C	Konstante für die Berechnung der λ -Werte	[-]
d_m	Durchmesser des halb abgenutzten Rades	[mm]
d_{ver}	Mittlerer Radradius des Prüffahrzeugs	[mm]
ep-Bremse	Elektropneumatische Bremse	
F_b	Berechnete Gesamtkraft von Bremsklotz oder Bremsbelag der Feststellbremse auf dem Prüfstand	[kN]

Symbol	Beschreibung	Einheit
F_{bR}	Berechnete Gesamtkraft von Bremsklotz oder Scheibenbremssattel der Luftdruckbremse unter Berücksichtigung von η_{dyn}	[kN]
F_c	Bremskraft am Radumfang	[kN]
F_{ci}	Aufgebrachte Bremskraft beim Berechnungsschritt „i“	[kN]
F_{dyn}	Kraft je Bremsklotz unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades η_{dyn}	[kN]
$F_{dyn\ test}$	Dynamische Bremskraft je Bremsklotzsohlenhalter bei der Prüfung	[kN]
$F_{dyn\ corr}$	Korrigierte dynamische Bremskraft je Bremsklotzsohlenhalter	[kN]
F_F	Kraft bei der Bremsgestänge-Rückholfeder (allgemein 1,5 kN)	[kN]
F_i	Bremskraft aller kraftschlussabhängigen Bremsen für den Berechnungsschritt oder Verzögerungsschritt „i“	[kN]
F_k	Kraft auf das Handrad oder den Handgriff (0,5 kN)	[kN]
F_{icorr}	Korrigierte Bremskraft	[kN]
F_{mi}	Mittlere Bremskraft am Berechnungsabschnitt „i“	[kN]
F_R	Gegenkraft am Bremszugstangensteller (allgemein: $F_R = 2\text{ kN}$)	[kN]
F_{sp}	„Antriebskraft“ (Drehkraft) der Federkraftbremseinheit im Bremszylinder am Zylinderausgang, wenn die „Federkraftbremse angelegt wird“	[kN]
F_t	Effektivkraft des Bremszylinders (unter Berücksichtigung der Rückstellkräfte von Bremszylinder und Bremsgestänge)	[kN]
F_{test}	Mittlere Bremskraft bei der Prüfung	[kN]
G	Bremseinstellung der langsam wirkenden Bremse (Güterzug)	[kN]
g	Erdbeschleunigung	[9,81 m/s ²]
h	Gewindesteigung der Handspindelbremse	[mm]
h_s	Korrelationsfaktor für die Vorbestimmung des Bremsgewichts einer Scheibenbremse	[-]
i	Marke der Geschwindigkeitsstreckenabschnitte	[-]
i_m	Mittlerer Gradient über s_{imeas} der Prüfstrecke mit Pluszeichen für ansteigenden Gradient (Steigung) und Minuszeichen für absteigenden Gradient (Neigung)	[‰]
i_{ms}	Gradient	[‰]
i^*	Multiplikationsverhältnis hinter dem Bremsgestänge, normalerweise $i^* = 4$ für Güterwagen mit zwei Achsen $i^* = 8$ für Güterwagen mit vier Achsen	[-]
i_G	Gesamtübersetzungsverhältnis des Bremsgestänges	[-]
i_H	Gesamtübersetzungsverhältnis der Handspindelbremse	[-]
i_p	Multiplikationsverhältnis der Druckluftbremse	[-]
i_R	Multiplikationsverhältnis hinter dem Bremszugstangensteller, im allgemeinen $i_R =$ das Doppelte der Anzahl der mit der Handspindelbremse gebremsten Achsen	[-]

Symbol	Beschreibung	Einheit
i_{sp}	Multiplikationsverhältnis zwischen dem Bremszylinder mit Federkraftbremse und den Bremsklötzen oder Bremssohlen	[-]
k	Bewertungsfaktor für die Bestimmung des Bremsgewichts	[-]
k_{Bg}	Bewertungsfaktor für die Bestimmung des Bremsgewichts von Fahrzeugen mit Bremsklötzen des Typs Bg	[-]
k_{Bgu}	Bewertungsfaktor für die Bestimmung des Bremsgewichts von Fahrzeugen mit Bremsklötzen des Typs Bgu	[-]
k_d	Korrelationsfaktor	[-]
k_v	Faktor für die Korrektur der Bremskraft	[-]
k_h, k_{hi}	Korrekturfaktor für die Bremskraft aufgrund der Wirkung von Feuchtigkeit	[-]
k_w	Faktor für die Korrektur der Bremskraft aufgrund der Verringerung des Kraftschlusses	[-]
m	Masse des Versuchszugs oder Versuchsfahrzeugs	[t]
m_z	Masse des Zugs	[t]
m_e	äquivalente Masse des Fahrzeugs (einschließlich rotierender Massen)	[t]
Mg	Abkürzung für Magnetschienenbremse	
m_r	Äquivalente Masse von rotierenden Teilen	[-]
n_{Fed}	Anzahl der Bremszylinder mit Federkraftbremse	[-]
n_s	Anzahl der gebremsten Einheiten (Scheibenbremse)	[-]
n	Anzahl der Prüfungen	[-]
P	Bremsstellung der Notbremse (Personenzug)	
P+E	Bremsstellung P + elektrodynamische Bremse	
P+H	Bremsstellung P + hydrodynamische Bremse	
P+Mg	Bremsstellung P + Magnetschienenbremse	
P10	Werkstoffbezeichnung des Grauguss-Bremsklotzes mit einem Phosphorgehalt von 1 %	[-]
<R>	Schnell wirkende Bremsstellung am Zug ohne Bremsbeschleunigern	
R	Schnell wirkende Bremsstellung am Zug mit Bremsbeschleunigern	
R+E	Bremsstellung R + elektrodynamische Bremse	
R+H	Bremsstellung R + hydrodynamische Bremse	
R+Mg	Bremsstellung R + Magnetschienenbremse	
r_h	Radius des halb abgenutzten Rades	[mm]
r_m	Mittlerer Bremsradius an der Bremsscheibe	[mm]
r_r	Radius von Rädern in Neuzustand	[mm]
RSL	Achslast	[t]
$(\bar{s})$	Mittlerer Bremsweg	[m]
s	Gesamtbremsweg (bis zu $v = 0$)	[m]

Symbol	Beschreibung	Einheit
$s_1; s_2; s_3$	Erreichte Bremswege zwischen den Geschwindigkeiten v_0 und v_1 ; v_1 und v_2 oder v_2 und v_0	[m]
Sbb	Abkürzung für Bremsbeschleuniger	
s_e	Am meisten vom mittleren Bremsweg abweichender Bremsweg	[m]
s_{ek}	Während der Bremseneinfallzeit zurückgelegter Bremsweg	[m]
s_i	Korrigierter, bei der Prüfung gemessener Bremsweg „i“	[m]
s_j	Mittlerer Bremsweg in einem Geschwindigkeitsintervall	[m]
s_{jcorr}	Entsprechend der Nenngeschwindigkeit bei der Prüfung korrigierter Bremsweg „i“	[m]
s_{jmeas}	Bei der Prüfung gemessener Bremsweg „i“	[m]
$(\bar{s})_{corr}$	Korrigierter mittlerer Bremsweg	[m]
$s_{w1}; s_{w2}; s_{wi}$	Abschnitt des Bremswegs im nassen Zustand	[m]
$s_{t1}; s_{t2}; s_{ti}$	Abschnitt des Bremswegs im trockenen Zustand	[m]
s_p	Zurückgelegter Weg zwischen v_p und v_1	[m]
s_{vjn}	Zurückgelegter Bremsweg bei der Prüfung „n“	[m]
Δs_i	Zurückgelegter Bremsweg im Intervall Δt	[m]
t_e	Äquivalente Ansprechzeit der Bremse (äquivalente Zeit für die Entwicklung der Bremskraft)	[s]
t_f	Gemessene mittlere Bremszylinderfüllzeit	[s]
t_0	Zeitverlust zwischen dem Zeitpunkt, wenn der Bremsbefehl angegeben wird und dem Beginn der Erhöhung der Bremskraft: Reaktionszeit	[s]
t_{on}	Zeitverlust bei der Messung „n“ : Ansprechzeit	[s]
t_s	Bremseneinfallzeit, gemessen von 0 % bis 95 % der voll entwickelten Verzögerungskraft	[s]
t_{sn}	Bremseneinfallzeit bei der Messung „n“	[s]
Δt	Zeitintervall für die Berechnung ($\Delta t \leq 1$ s)	[s]
v	Geschwindigkeit	[km/h]
$v_i; v_1; v_2$	Geschwindigkeit am Beginn des Intervalls Δt_i ; Δt_1 ; Δt_2	[km/h; m/s]
v_{i+1}	Geschwindigkeit am Ende des Intervalls Δt	[km/h; m/s]
v_{i-1}	Geschwindigkeit vor dem Berechnungsabschnitt „i“	[km/h; m/s]
$v_{0nom}; v_{jnom}$	Nenngeschwindigkeit der Prüfung „0“ oder „j“	[km/h; m/s]
v_j	Geschwindigkeit beim Schritt „j“ zur Bestimmung der durchschnittlichen Prüfung	[m/s]
v_{jmeas}	Bei der Prüfung gemessene Geschwindigkeit „j“	[km/h; m/s]
v_{max}	Höchstgeschwindigkeit	[km/h]
v_n	Geschwindigkeitsstufen bei Bremsprüfungen	[km/h]

Symbol	Beschreibung	Einheit
Δv	Geschwindigkeitsbereich	[km/h]
Δv_i	Geschwindigkeitsintervall bei der Prüfung „i“	[km/h]
v_{mi}	Mittlere Geschwindigkeitsintervall Δt	[km/h; m/s]
v_0	Anfangsbremsgeschwindigkeit	[km/h; m/s]
v_p	Niedrigste Geschwindigkeit vom bestimmten v_p -Wert	[m/s]
v_{pf}	Bei der Prüfung bestimmte Geschwindigkeit „f“	[m/s]
w_i	Widerstand gegen Vorwärtsbewegung zum Zeitpunkt „i“	[kN]
W_m	Mittlerer Widerstand gegen Vorwärtsbewegung	[kN]
w_m	Spezifischer Widerstand gegen Vorwärtsbewegung	[kN]
β	Am Fahrzeug anzuschreibender Umrechnungsfaktor für das Bremsgewicht: alt-neu	
λ	Bremshundertstel	[%]
$\lambda_{100}; \lambda_{120}; \lambda_{140}; \lambda_{160}$	Bremshundertstel bei Geschwindigkeiten von 100 km/h; 120 km/h; 140 km/h; 160 km/h	[%]
λ_{test}	Bei der Prüfung bestimmtes Bremshundertstel	[%]
λ_{marked}	λ -Wert, der als Kennzeichnung zur Ermittlung des Bremsgewichts verwendet wird und am Fahrzeug anzuschreiben ist	[%]
$\lambda_{calculated}$	Berechnetes Bremshundertstel	[%]
κ	Kappa (der Korrekturfaktor in Bezug auf die Zuglänge)	[-]
ρ	Trägheitskoeffizient der rotierenden Massen	[-]
σ_n	Standardabweichung bei der Prüfung	[m]
ΣF_i	Summe der Verzögerungskräfte aller Bremsen zum Zeitpunkt „i“	[kN]
ΣF_{dyn}	Summe aller Bremsklotzkräfte (Bremssohlenkräfte) während der Fahrt	[kN]
τ	Kraftschluss	[-]
τ_i	Kraftschluss zwischen Rad und Schiene zum Zeitpunkt „i“	[-]
$\tau_{120}; \tau_{140}; \tau_{160}$	Erforderlicher Kraftschluss bei Geschwindigkeiten von 120 km/h, 140 km/h; 160 km/h	[-]
$\tau_{wheel/rail}$	Kraftschluss zwischen Rad und Schiene	[-]
μ_1	Reibwert bei 50 km/h für einen gegebenen Werkstoff: bei Grauguss-Bremsklötzen 0,19 Verbundbremsklötzen 0,20 Sinterbremsklötzen 0,20 Verbundbremsbelägen 0,35 Sinter-Bremsbelägen 0,30	[-]
μ_m	Mittlerer Reibwert von Bremssohlen	[-]
$\mu_m - act$	In Prüfständen bestimmter Reibwert	[-]

Symbol	Beschreibung	Einheit
$\mu_m - \text{nom}$	Nennreibwert	[-]
μ_{os}	Reibwert von Bremsbelag/Bremsscheibe, wenn stationär $\mu_{os} = 0,35$ bei Verbundstoffen und Sinterwerkstoffen (siehe UIC 541-3)	[-]
μ_{stat}	Reibwert bei 0 km/h für einen gegebenen Werkstoff: bei Gauguss-Bremsklötzen 0,35 K-Klötzen 0,20 Sinterbremsklötzen 0,20 LL-Bremssohlen 0,17 Sinterbremsbelägen 0,30 Verbundbremsbelägen 0,35	[-]
η_{dyn}	Mittlerer Wirkungsgrad (Effizienz) eines Bremsgestänges zwischen zwei Wartungsinspektionen (maximal: 0,95 siehe 6.6.3.2.3); bei Normgestänge von Klotzbremsen: 0,83)	[-]
$\eta_{dyn \text{ test}}$	Dynamischer Wirkungsgrad des Bremsgestänges bei den Prüfungen	[-]
$\eta_{stat \text{ test}}$	Statischer Wirkungsgrad des Bremsgestänges bei den Prüfungen	[-]
η_{fi}	Faktor, der die statische Kraftübertragung zwischen dem Bremszylinder mit Federspeicherbremse und den Bremsklötzen oder Bremssätteln repräsentiert $\eta_{fi} = 1$ Wenn die Federspeicherbremse direkt an den Bremsklötzen wirkt $\eta_{fi} = 0,9$ wenn die Federspeicherbremse über das Gestänge auf eine Scheibenbremse wirkt	[-]
η_H	Faktor, der dem statischen Wirkungsgrad entspricht, mit dem die Kraft am Handrad oder am Handgriff auf die Bremsklötze übertragen wird; gewöhnlich: $\eta_H = 0,19$	[-]
η_{H1}	Faktor, der dem statischen Wirkungsgrad der Spindel entspricht; gewöhnlich: $\eta_{H1} = 0,25$	[-]
η_{H2}	Faktor, der dem statischen Wirkungsgrad der Kraftübertragung zwischen der Spindel und den Bremsbelägen oder Bremssätteln entspricht	[-]
η_m	Wirkungsgrad des Bremsgestänges bei durchschnittlichen Betriebsbedingungen	[-]
η_p	Faktor, der dem statischen Wirkungsgrad des Bremsgestänges der Druckluftbremse entspricht; gewöhnlich: $\eta_p = 0,8$	[-]
η_R	Faktor, der dem statischen Wirkungsgrad des Bremsgestänges hinter der Bremsgestänge-Nachstellvorrichtung entspricht; gewöhnlich $\eta_p = 0,9$	[-]

5 Grundsätze der Bestimmung der Bremsleistung

5.1 Allgemeines

5.1.1 Festlegung

Die Aufgabe, die Bremsleistung von Bremsen für Eisenbahnfahrzeuge festzulegen besteht darin, die Brems-tauglichkeit der Schienenfahrzeuge in bestimmten Situationen zu charakterisieren.

Um die Bremstauglichkeit festzustellen, können drei Verfahrensweisen der Bremsbewertung angewendet werden: Anhalteweg, Bremsgewicht und Verzögerung; sie alle bestimmen die Bremsleistung.

Ausgehend von der Fahrzeugprüfung wird das Bremsgewicht vom Anhalteweg abgeleitet. Bei Güterwagen (ausgestattet mit Grauguss-Bremsklötzen oder vollständig zertifizierten LL-Bremssohlen) kann das Brems-gewicht nach Anhang D berechnet werden.

Die Bewertung der Bremsleistung ist auf einer Anzahl normierter Bedingungen beruhend, festgelegt (z. B. flache Strecke, trockene Schiene und mittlerer Betriebszustand des Fahrzeugs). Die Bremsbewertung geht deshalb nicht vom schlechtesten Betriebszustand des Fahrzeugs aus, der z. B. das Ergebnis von Bremskraft-toleranzen, Streuung des Reibwertes, verschlechtertem Wirkungsgrad oder vom Ausfall von Komponenten des Bremssystems usw. sein kann.

Diese Bremsleistungen, sofern sie mit Sicherheitsspielräumen (Züge und Signalanlagen) kombiniert sind, bilden die Grundlage für eine Übereinstimmung zwischen der Infrastruktur und Eisenbahnunternehmen, um eine Zugfahrt mit einer bestimmten Geschwindigkeit auf einer bestimmten Strecke zu ermöglichen (siehe TSI OPE).

Die an Fahrzeugen angeschriebene Bremsleistung (EN 15877-1 und EN 15877-2) muss von der nach diesem Dokument bestimmten Leistung abgeleitet werden.

Verknüpfungen zwischen Berechnung der Bremsleistung und Prüfung sind in Tabelle 2 dargestellt:

Tabelle 2

Fahrzeugart	Berechnung	Bremsleistung	Validierung der Prüfung
Sämtliche Fahrzeuge, ausgenommen Güter-wagen	EN 14531-1 und EN 14531-2	Verzögerungen + Ansprechzeit/Bremsweg ^a ↑ ↓ Bremsgewichte	Auszuführen Auszuführen
Güterwagen	EN 14531-1 und EN 14531-2 oder Anhang D (Grauguss-Bremsklötze/zertifizierte LL-Bremssohlen)	Bremsweg ^a ↑ ↓ Bremsgewichte	Auszuführen (mit einigen Ausnahmen)
^a Umrechnung Bremsweg in Bremsgewichte (siehe Bewertungstabelle)			

Das Umwandlungsmodell von Bremsgewicht in Verzögerung ist nur für ETCS gültig.

5.1.2 Auswirkung der Bremsstellung

Bei Fahrzeugen mit unterschiedlichen Bremsstellungen, wie in EN 14198 beschrieben, muss eine Bewertung für jede Bremsstellung vorgenommen werden.

In der Bremsstellung G darf keine separate Bewertung der Bremsleistung erfolgen. Das Bremsgewicht darf nur durch Prüfung in der Bremsstellung P bewertet werden. Der erhaltene Wert gilt auch für die Bremsstellung G bei Güterwagen und Reisezugwagen.

5.2 Bremsbewertung mit Bremsgewichten

Dieses Verfahren entstand nach der Einführung der Druckluftbremse. Es betraf einem Personenzug mit 60 Achsen mit spezieller Bremsausrüstung und bekanntem Gewicht, ohne Einbeziehung des Gewichts der Lokomotive, mit einer bekannten Bremsleistung als rechnerischer Anteil des Zuggewichts, angegeben in Tonnen [t], und Durchführung einer großen Anzahl an Probefahrten auf ebener Strecke mit unterschiedlichen Bremsereinstellungen und anfänglichen Bremsgeschwindigkeiten mit Blick auf empirisch erhaltene „Bremsbewertungskurven“, so dass

$$s = f(v, \lambda) \quad (1)$$

Dabei ist

- s der Bremsweg (m);
- v die Geschwindigkeit (km/h);
- λ das Bremshundertstel (%).

Der Referenzzug wurde mit Klotzbremsen mit phosphorarmen Grauguss-Bremsklötzen ausgestattet.

Als Bezugsgrundlage für die Bestimmung der Bremsleistung von Neufahrzeugen wird ein **Bremsbewertungsschema** mit der Bremsereinstellung für „Fahrgäste“ verwendet.

Die Bewertungsdiagramme (siehe Bild A.1 und Bild B.1) gelten für eine anfängliche Bremsgeschwindigkeit von bis zu 200 km/h.

Das Bremsgewicht wird in Tonnen angegeben. Der aus der Summe aller Bremsgewichte und der Masse des Zuges, multipliziert mit 100, erhaltene Quotient ergibt das Bremshundertstel λ des Zuges und bezieht sich auf den Bremsweg im Falle einer Notbremsung.

Die den einzelnen Fahrzeugen oder Fahrzeugsegmenten zugeordneten Bremsgewichte sind normalerweise entsprechend den Anforderungen von EN 15877-1 und EN 15877-2 an der Außenseite der Fahrzeuge angeschrieben, wenn sie nur von der Bremsbetätigung durch Bremsleitung erhalten werden. Bremsgewichte sind in einer geraden Anzahl an Tonnen anzugeben, mit Werten $< 0,5$ nach unten abgerundet und bei Werten $\geq 0,5$ nach oben aufgerundet. Stammen die Ergebnisse von Prüfungen an einem Zug, werden die Zahlen anfangs immer für die kleinste Einheit (Wagen), an der ein Bremsgewicht angegeben ist, nach oben oder unten gerundet.

5.3 Bremsbeurteilung mit dem Verzögerungsverfahren

Die Bremsleistung von Zügen kann mit Verzögerungen angegeben werden. Diese Verfahrensweise kann bei allen Geschwindigkeitsbereichen angewendet werden. Bei Geschwindigkeiten über 200 km/h, ist sie obligatorisch.

Das tatsächliche Verzögerungsprofil des Zuges wird durch eine Funktion mit äquivalenter Ansprechzeit der Bremse und einem oder mehreren Geschwindigkeitsintervallen von konstanten Verzögerungen angenähert.

Um den Prozess zu vereinfachen, sollen die in diesem Dokument dargelegten Verzögerungsverfahren die Verzögerung des Zuges mit nur wenigen Werten und nicht mit verschiedenen Funktionen beschreiben.

6 Durchführung der Prüfungen

6.1 Prüfverfahren

6.1.1 Allgemeines

Die ursprüngliche Verfahrensweise ist der Versuchszug, der die genaueren Ergebnisse liefert. In einigen, hier zur Vereinfachung erläuterten Fällen kann der Versuchszug durch eine Einzelfahrzeugprüfung ersetzt werden, die zu restriktiveren Ergebnissen führt.

Der Versuchszug ist immer zulässig; in den folgenden Fällen kann der Versuchszug durch Einzelfahrzeugprüfungen ersetzt werden:

- für Reisezugwagen mit einer Höchstgeschwindigkeit ≤ 160 km/h;
- für Reisezugwagen mit nur einer Bremskraftstufe und einer maximalen Geschwindigkeit bis zu 200 km/h (Sonderbewertungsregeln: siehe Bremsgewichtsbewertung 8.3);
- für Güterwagen;
- für Lokomotiven;
- für einzelne EMUs/DMUs.

6.1.2 Güterwagen und Reisezugwagen

Wenn das Bremsgewicht von Güterwagen/Reisezugwagen durch eine Prüfung mit einem Zug bestimmt wird, gelten die folgenden besonderen Bedingungen:

- Reisezugwagen: Für die Anwendung der Prüfungen sollte ein 400 m langer bespannter Zug eingesetzt werden, der aus identischen Reisezugwagen mit der gleichen Bremsausrüstung besteht.
- Güterwagen: Für die Anwendung der Prüfungen sollte ein 500 m langer bespannter Zug eingesetzt werden, der aus identischen Güterwagen mit der gleichen Bremsausrüstung besteht.
- Bei allen ist die Lokomotivbremse vom Zug zu trennen und bei den Fahrzeugen sind alle Bremsbeschleuniger und die EP-Bremse zu trennen.

6.1.3 Lokomotiven

Zur Ermittlung des Bremsgewichts der Lokomotive in der Bremsstellung G sind die Prüfungen ab 100 km/h in der Bremsstellung P mit der Lokomotive im Solobetrieb vorzunehmen. Bei allen anderen Bremsstellungen sind die Prüfungen so durchzuführen, wie sie in 6.3 festgelegt sind.

6.1.4 EMUs/DMUs und Hochgeschwindigkeitszüge

Die Bremsleistung eines Triebzuges wird mit der Durchführung von Probefahrten bei allen vorgesehenen Bremsstellungen unter Einsatz aller aktiven Bremsen bestimmt, und auch bei einem Ausfall der autonomen Bremssysteme (z. B. EP-Bremsen, dynamische Bremsen, Mg-Bremsen [Magnetschienenbremsen]). Innerhalb dieser Prüfungen müssen unterschiedliche Arten der Bremsbetätigung berücksichtigt werden. Das Verfahren kann auf verschiedene andere Konfigurationen angewendet werden (beispielsweise Ausfall einzelner Drehgestellbremsen usw.), wenn bestimmte Beweisführungen für diesen Zweck verlangt sind.

Bei Triebzeigeneinheiten, die zusammengekoppelt werden können, um zusammen zu funktionieren, müssen die Prüfungen in der ungünstigsten Zugzusammenstellung (unter Berücksichtigung der äquivalenten Ansprechzeit der Bremse, Anhang E), bestimmt mit der statischen Prüfung (d. h. im Allgemeinen die längste vorgesehene Anordnung), durchgeführt werden.

EMUs/DMUs mit mehreren Bremssteuerarchitekturen müssen in allen Betriebsarten geprüft werden (z. B.: UIC-Bremsleitung, direkt wirkende EP-Bremse, usw ...).

6.1.5 Prüfung von Fahrzeugen/Zügen mit zusätzlicher Bremsausrüstung

Übliche zusätzliche Bremsausrüstungen für die Betriebsbremse sind: die dynamische Bremse, Wirbelstrombremse¹⁾, EP-Bremse, ...

Weitere Bremsausrüstungen nur für die Notbremse sind: Magnetschienenbremse, Schnellbremsbeschleuniger, ...

Die im vorangegangenen Abschnitt festgelegte Prüfung hat mit der gesamten betriebsbereiten Bremsausrüstung zu erfolgen.

Wird eine zusätzliche Bremsausrüstung bei Notbremse oder Betriebsbremse verwendet, sollte eine zusätzliche Prüfung durchgeführt werden, um die Bremsleistung mit dieser Ausrüstung getrennt für die bereits vorgegebene Geschwindigkeit zu bestimmen.

Wenn mehr als eine zusätzliche Ausrüstung angebracht ist, sollte es weitere Prüfungen geben, um den Beitrag dieser Ausrüstungen zu bestimmen.

6.2 Lastbedingungen bei Prüfungen

6.2.1 Güterwagen

Bei Güterwagen mit Lastwechseleinrichtung (Bremsumstellvorrichtung) für leer/beladen müssen Schlupfprüfungen durchgeführt werden:

- in der Stellung „leer“ mit einer Last, die sich dem Übergangspunkt nähert, wenn das Fahrzeug in geeigneter Weise konstruiert ist. Wenn eine automatische Lastwechseleinrichtung für „leer/beladen“ angewendet wird, ist die Prüfung noch einmal in der Stellung „leer“ mit einer Last durchzuführen, die sich dem Übergangspunkt nähert, jedoch weit genug unterhalb, um sicherzustellen, dass die automatische Lastwechseleinrichtung in der Stellung „leer“ stabil bleibt.
- unter maximaler Last in der Beladen-Stellung. (EN 15663: Auslegungsmasse bei normaler Zuladung).

Bei Güterwagen mit selbsteinstellender Lastabbremse sind diese Schlupfprüfungen durchzuführen:

- bei Auslegungsmasse, betriebsbereites Fahrzeug (leere Güterwagen),
- im untersten Lastzustand, bei dem das maximale Bremsgewicht erreicht ist,
- außerdem ist die Bremsleistung mit Hilfe von Schlupfprüfungen an dem Punkt zu verifizieren, an dem die maximale Bremsenergie verbraucht wird. (Maximale Kombination von Geschwindigkeit und zulässigen Lastbedingungen)

Bei einem S- und SS-Güterwagen führt die Lastdefinition zu Tabelle 3:

¹⁾ Könnte sich wegen der nationalen Vorschriften auf die Notbremse beschränken.

Tabelle 3

Fahrzeugmasse	Güterwagen für das S-Regime	Güterwagen für das SS-Regime
Auslegungsmasse in betriebsfähigem Zustand	x	x
14,5 t/Radsatz	x ^a	
18 t/Radsatz		x
20 t/Radsatz		x
22,5 t/Radsatz	x	
^a Bei Güterwagen, die mit einer Lastwechseleinrichtung für „leer/beladen“ ausgestattet ist, ist es das „Lastwechselgewicht“		

6.2.2 Lokomotiven

Bei Lokomotiven ist nur der der betriebsbereite Zustand unter Last zu prüfen.

6.2.3 Personenzugwagen

Tabelle 4 —Lastbedingung bei der Prüfung

Fahrzeugart	Lastzustand		
	Mindestlast	Normallast	Maximale Bremslast
Reisezüge, Personenzüge, Trieb- und Hochgeschwindigkeitszüge ohne Lastabbremung	x	x	(x) ^a
Reisezüge, Personenzüge, Trieb- und Hochgeschwindigkeitszüge mit Lastabbremung	x	x	x ^a
^a Wenn die Differenz zwischen der Normallast und die maximalen Bremslast mehr als 10 % beträgt			
(x) Empfehlung			
X Anforderung			

In Fällen, in denen keine Belastung möglich ist, sind alternative Verfahren zulässig, wie z. B. Simulation durch Abtrennen anderer Bremsen, solange dadurch keine wesentlichen Fehler in das Verfahren eingebracht werden. Vor allem ist bei Fahrzeugen mit automatischer Lastabbremung zu beachten, dass die richtigen Bremszylinderdrücke (entsprechend der Last) simuliert werden.

Die Simulation ist wie folgt vorzunehmen:

Die Anzahl der abgetrennten Bremsen ist so festzulegen, dass das Verhältnis von

$$\frac{\sum \text{Die wirksamen Bremskräfte}}{\sum \text{Die installierten Bremskräfte}} = \frac{\text{Dynamische Masse des Messzuges}}{\text{Dynamische Masse des beladenen Zuges}} \quad (2)$$

im Allgemeinen eingehalten wird.

Die Simulation ist nur bei langen Zügen zulässig (400 m ohne die Lokomotive), nicht für Einzelfahrzeuge, EMUs/DMUs und Hochgeschwindigkeitszüge.

6.3 Bei der Prüfung anzuwendende Geschwindigkeiten

Die nachstehend angegebenen Geschwindigkeitskriterien sind für alle Arten von Bremsungen bis zum Stillstand anzuwenden, d. h. bei den Notbremsungen für die Bremsbewertung sowie für (z. B.) Betriebsbremsungen oder bei Prüfungen im eingeschränkten Betriebszustand.

Tabelle 5 — Prüfung der Bremsstellung

PRÜF- GESCHWINDIGKEIT [km/h]	Notbremse						Betriebsbremse (nicht erforderlich bei Bewertung des Bremsgewichts)
	P	P+E P+H	R	R+E R+H	R+Mg P+E+Mg	R+Wb P+E+Wb	
100	A, B, C, D, E	D, E	A, C, D, E	D, E	—	—	D, E
120	A, B, C, D, E	D, E	A, C, D, E	D, E	—	—	D, E
140	A, B, C, D, E	D, E	A, C, D, E	D, E	A, C, E	C, E	D, E
160	A, B, C, D, E	D, E	A, C, D, E	D, E	A, C, E	C, E	D, E
200	C, D, E	D, E	C, D, E	D, E	C, E	C, E	D, E
Höchst- geschwindigkeit ^{a, b}	A, B, C, D, E	D, E	A, C, D, E	D, E	C, E	C, E	D, E

^a Die Prüfung sollte ebenfalls bei maximaler Geschwindigkeit durchgeführt werden, wenn es nicht in der Tabelle aufgeführt ist.

^b Bei Geschwindigkeiten > 250 km/h sollten andere Geschwindigkeiten in Schritten von nicht mehr als 40 km/h von 200 km/h bis zur maximalen Auslegungsgeschwindigkeit geprüft werden (entsprechend den besonderen nationalen Durchführungsbestimmungen).

A = Einzelfahrzeug – Güter- oder Reisezugwagen
 B = Güterzug
 C = Personenzug
 D = Lokomotive
 E = EMU /DMU und Hochgeschwindigkeitszüge

Güterwagen mit Bremsstellung R sollten als Personenwagen bewertet werden.

6.4 Verfahrensweise bei der Durchführung der Prüfungen

6.4.1 Allgemeines

Der Versuchszug oder das Versuchsfahrzeug ist bis zu der Geschwindigkeit für die beabsichtigte Bremsung zu beschleunigen. Bei dieser Geschwindigkeit ist die Traktion auszuschalten oder ein einzelnes Fahrzeug abzukoppeln und danach wird eine Notbremsung auf ebenem geradem Gleis vorgenommen. Bei jeder Prüfung ist der Bremsweg ab dem Punkt, an dem die Notbremsung eingeleitet wurde, zu messen (Verlassen der Fahrstellung der Bremsenansteuerung oder Nothaltnopf: Auswahlmöglichkeit durch statische Prüfung ermittelt).

Der gemessene Anhalteweg umfasst die Strecke des während der Fahrt ausgelösten Bremssignals und die Kraftentwicklungszeit der Bremsausrüstung.

In vergleichbarer Weise: Die Notbremse kann gegebenenfalls durch maximale Bremsung oder Betriebsbremsprüfung (2/3 vom Maximum) ersetzt werden.

6.4.2 Witterungsbedingungen

Um ungünstige Witterungsbedingungen zu vermeiden, die die Messergebnisse beeinträchtigen könnten, sollten die Prüfungen bei minimalem Wind und trockenen Schienen durchgeführt werden.

Unter Schneefallbedingungen sind keine Prüfungen zulässig.

6.4.3 Zustand der Bremsausrüstung

6.4.3.1 Räder

Wenn die Prüfungen mit klotzgebremsten Fahrzeugen mit neuen oder neu profilierten Rädern durchgeführt werden, wird empfohlen, dass diese Räder mindestens 1 200 km gefahren sein sollten.

6.4.3.2 Reibelemente

Vor Beginn der Prüfungen müssen die Flächen der Reibelemente (Bremsbeläge/Bremsklötze) eingefahren werden, damit sich ein Kontaktmuster von mindestens 85 % ergibt. Wenn die Prüfungen Bremsungen bei Nässe einbeziehen, muss die Vorderkante der Beläge/Bremsklötze in der Drehrichtung eingefahren werden. Der Einfahrzustand ist mit Hilfe von Fotos einer zweckmäßigen Auswahl der Reibelemente zu dokumentieren.

Nach dem erfolgreichen Einfahren der Bremsbeläge gilt die Bremsscheibenrauheit für die nachfolgenden Bewertungsprüfungen als geeignet.

Das Einfahren der Reibelemente kann im betrieblichen Einsatz oder über spezielle Bremsungen vonstattengehen. Im letzteren Fall ist die Temperatur der Reibelemente regelmäßig zu überwachen, um thermische Überlastung zu vermeiden. Die maximalen, vom Hersteller festgelegten regulären Temperaturgrenzen für jedes Teil der Reibpaarung dürfen nicht überschritten werden. Zwischen den Bremsvorgängen sollte die Temperatur auf unter 100 °C abkühlen.

6.4.3.3 Magnetschienenbremsen

Magnetschienenbremsen müssen auf dem Schienenkopf eingefahren werden, bis ein Kontaktmuster von 60 % erreicht ist, und vor den Bewertungsprüfungen muss die Kontaktfläche der Magnetschienenbremse wie in EN 16207 festgelegt konditioniert werden.

6.4.4 Anzahl und Gültigkeit der einzelnen Prüfungen

Es müssen mindestens vier gültige Prüfungen durchgeführt werden, aus denen dann der Mittelwert berechnet wird. Die Bestimmung des Mittelwerts, einschließlich der statistischen Kriterien ist in 6.6.2 beschrieben.

- a) Die Ausgangstemperatur der Räder/Bremsscheiben ist an mindestens vier der Räder/Bremsscheiben zu messen, die der theoretisch größten Belastung ausgesetzt sind. Diese Temperatur sollte über die Messpunkte gemittelt unter 60 °C liegen. Die Ausgangstemperatur darf an keinem Messpunkt 100 °C überschreiten.
- b) Der mittlere Gradient über den Anhalteweg muss $|j| < 3 \text{ ‰}$ betragen; der maximale Gradient auf der Messstrecke darf bis zu 5 ‰ betragen. In den Fällen, bei denen die von einem Zug befahrenen Strecken diese Bedingung auf keinem Teilstück erfüllen, ist die Abweichung von der vorstehenden Regelung im Prüfbericht zu dokumentieren.
- c) Prüfungen auf Kurvenradien $< 1\,000 \text{ m}$ sind nicht zulässig.

- d) Die Abweichung der Bremsenleistungsgeschwindigkeit von der Sollgeschwindigkeit muss $|v_{j, \text{mess}} - v_{j, \text{nom}}| \leq 4 \text{ km/h}$ sein. Wenn $v > 200 \text{ km/h}$ ist, darf sich die Abweichung bis auf 6 km/h erhöhen.
- e) Bei Trockenprüfungen darf kein Eingriff durch eine Gleitschutzeinrichtung erfolgen.

6.5 Prüfung unter eingeschränkten Bedingungen

Prüfungen unter eingeschränkten Bedingungen sollten den nationalen Vorschriften entsprechend durchgeführt werden.

Wenn jedoch derartige Regelungen oder Spezifikationen keine Möglichkeiten für den Betrieb unter eingeschränkten Bedingungen vorsehen, wird folgende Vorgehensweise empfohlen, die den Notfall-Modus (Störung) und den Einfluss von Feuchtigkeit auf den Reibwert der mechanischen Bremsen und den Rad-/Schiene-Kraftschluss berücksichtigen:

- Simulierter Notfall-Modus durch Abschalten von Bremsen:
 - Abschalten einer unabhängigen dynamischen Bremse oder Wirbelstrombremse oder Mg-Bremsen-einheit. Wenn diese von der Stromversorgung abhängen, sind alle Einheiten abzuschalten;
 - Abschalten einer lokalen Bremssteuereinheit (z. B. Steuerventil).
- Eingeschränkte Bedingungen durch:
 - Benetzung der Schiene zur Erzeugung von geringerem Kraftschluss, wie in EN 15595 festgelegt;
 - Reduzierung der Bremskraft aufgrund von Nässe an Reibungsbremsen.

6.6 Bewertung der Prüfergebnisse für den Anhalteweg

6.6.1 Korrektur der Anhaltewege bei jeder Prüfung

Die bei der Prüfung erhaltenen Anhaltewege müssen unter Berücksichtigung der folgenden Faktoren korrigiert werden:

- Nenngeschwindigkeit in Bezug auf die bei der Prüfung gemessene Ausgangsgeschwindigkeit;
- Gradient der Versuchsstrecke.

Die Korrektur ist nach Formel (3) vorzunehmen:

$$\frac{v_{j, \text{nom}}^2}{2 \times 3,6^2 \times s_{j, \text{kor}}}} = \frac{v_{j, \text{meas}}^2}{2 \times 3,6^2 \times s_{j, \text{meas}}} - \frac{g}{\rho} \times \frac{i_m}{1000} \quad (3)$$

Die Umwandlung ergibt die Formel (4):

$$s_{j, \text{kor}} = \frac{3,933 \times \rho \times v_{j, \text{nom}}^2}{3,933 \times \rho \times v_{j, \text{meas}}^2 - i_m \times s_{j, \text{meas}}} \times s_{j, \text{meas}} \quad (4)$$

Dabei ist

- $s_{j, \text{kor}}$ der korrigierte Anhalteweg, der der Nenngeschwindigkeit bei der Prüfung entspricht [m];
- $s_{j, \text{meas}}$ der bei den Prüfungen gemessene Anhalteweg [m];

- v_{jnom} die Nennausgangsgeschwindigkeit bei der Prüfung [km/h];
- v_{jmeas} die bei der Prüfung gemessene Ausgangsgeschwindigkeit [km/h];
- i_m der mittlere Gradient über s an der Versuchsstrecke, mit dem Pluszeichen für ansteigende Neigungen und dem Minuszeichen für absteigende Neigungen [‰]. Bei Prüfungen von Zügen ist der Gradient mit Bezugnahme auf den Schwerpunkt des Zuges zu bestimmen.
- W_{Bo} der mittlere Kurvenwiderstand über s_{jmeas} der Versuchsstrecke. Bei Prüfungen in Kurven zwischen 1 000 m und 5 000 m Radius ist der mittlere Kurvenwiderstand mit $W_{Bo} = 650/(r - 55)$ [N/kN] zu berechnen. Oberhalb 5 000 m Radius ist der Kurvenwiderstand vernachlässigbar.
- ρ der Trägheitskoeffizient der rotierenden Massen, der in Formel (5) definiert ist

$$\rho = 1 + \frac{m_r}{m} \quad (5)$$

Dabei ist

m die Masse des Versuchszugs oder Versuchsfahrzeugs;

m_r die äquivalente Masse der rotierenden Komponenten;

(wenn kein genauer Wert zu erhalten ist, dann ist für Lokomotiven mit einem einachsigen Antriebssystem $\rho = 1,15$ und für Personenzugwagen $\rho = 1,04$ zu verwenden).

6.6.2 Mittelwertbestimmung des Anhaltewegs

Um den Mittelwert zu bestimmen, sind vier oder mehr gültige Prüfungen durchzuführen. Zuvor sind alle Anhaltewege entsprechend dem zuvor in 6.6.1 beschriebenen Verfahren zu korrigieren.

Bei den Prüfungen, die durchgeführt werden, um die Bremsleistung im Sinne der vorliegenden Norm zu bestimmen, müssen die bewerteten Prüfungen die im Folgenden beschriebenen Anforderungen erfüllen.

Der Mittelwert ist nur dann als gültig zu betrachten, wenn gleichzeitig die folgenden Kriterien erfüllt sind:

Kriterium K1:

$$\frac{\text{Standardabweichung der Prüfung } (\sigma_n)}{\text{Mittelwert der Prüfung } (\bar{s})} \leq 3,0 \% \quad (6)$$

und

Kriterium K2:

$$| \text{Extremwert } (s_e) - \text{Mittelwert } \bar{s} | \leq 1,95 \times \sigma_n \quad (7)$$

mit:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum |s_j - \bar{s}|^2}{n}} \quad (8)$$