

DIN EN 16834

ICS 45.040

**Bahnanwendungen –
Bremse –
Bremsvermögen;
Deutsche Fassung EN 16834:2019**

Railway applications –
Braking –
Brake performance;
German version EN 16834:2019

Application ferroviaires –
Freins –
Performance de freinage;
Version allemande EN 16834:2019

Gesamtumfang 82 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 16834:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

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

Dieses Dokument beruht auf der Grundlage einer englischen Referenzfassung.

Deutsche Fassung
**Bahnanwendungen —
Bremsen —
Bremsvermögen**

Railway applications —
Braking —
Brake performance

Applications ferroviaires —
Freins —
Performance de freinage

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 12. November 2018 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
1 Anwendungsbereich.....	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen.....	8
5 Grundsätze der Bestimmung des Bremsvermögens	9
5.1 Allgemeines	9
5.2 Bremsbewertung mit Bremsgewichten.....	10
5.3 Bremsbewertung mit dem Verzögerungsverfahren.....	11
6 Durchführung der Prüfungen	11
6.1 Prüfverfahren	11
6.1.1 Allgemeines	11
6.1.2 Güterwagen und Reisezugwagen.....	12
6.1.3 Lokomotiven.....	12
6.1.4 Triebzüge und Hochgeschwindigkeitszüge	12
6.1.5 Prüfung von Fahrzeugen/Zügen mit zusätzlicher Bremsausrüstung	12
6.2 Lastbedingungen bei Prüfungen	13
6.2.1 Güterwagen.....	13
6.2.2 Lokomotiven.....	14
6.2.3 Personenbefördernde Fahrzeuge.....	14
6.3 Bei der Prüfung anzuwendende Geschwindigkeiten	14
6.4 Verfahrensweise bei der Durchführung der Prüfungen	15
6.4.1 Allgemeines	15
6.4.2 Witterungsbedingungen	16
6.4.3 Zustand der Bremsausrüstung	16
6.4.4 Anzahl und Gültigkeit der einzelnen Versuche	16
6.5 Prüfung im Notfall-Modus und unter eingeschränkten Bedingungen	17
6.6 Bestimmung des Bremsvermögens für das ETCS	17
6.7 Bewertung der Prüfergebnisse für den Anhalteweg.....	18
6.7.1 Korrektur der Anhaltewege bei jedem Versuch	18
6.7.2 Bestimmung des Mittelwertes für den Anhalteweg.....	19
6.7.3 Korrektur des mittleren Anhaltewegs.....	22
6.8 Prüfung der Feststell- und Haltebremse.....	25
7 Bewertung des Verzögerungsverfahrens	25
7.1 Allgemeines	25
7.2 Physikalische Prinzipien	26
7.3 Bestimmung der für das Bremsvermögen erforderlichen Parameter	27
7.3.1 Allgemeines	27
7.3.2 Verfahren zur Bestimmung von Verzögerungen	27
7.4 Bewertung des Bremsvermögens unter eingeschränkten Bedingungen	30
7.4.1 Infolge von Feuchtigkeit reduzierter Reibwert.....	30
7.4.2 Auswirkung von vermindertem Kraftschluss	30
7.4.3 Bestimmung von eingeschränkter Verzögerung	31
8 Bewertung des Bremsgewichts	32
8.1 Allgemeines	32

8.1.1	Bestimmung des Bremsgewichtshundertstels	32
8.1.2	Bestimmung des Bremsgewichts	33
8.2	Reisezugwagen und Triebzüge	33
8.3	Zusätzliche Bewertung von Reisezugwagen mit einer Geschwindigkeit von über 160 km/h	34
8.4	Güterwagen in Bremsstellung P	34
8.5	Güterwagen in Bremsstellung G	35
8.6	Lokomotiven	35
8.7	Magnetschienenbremse und Wirbelstrombremse	35
8.7.1	Allgemeines	35
8.7.2	Bewertung mittels Zugprüfung	35
8.7.3	Bewertung durch Einzelfahrzeugprüfung	36
8.8	ep-Bremse (direkt wirkende und indirekte)	36
8.9	Schnellbremsbeschleuniger	36
9	Empfehlungen bei Verwendung von Bremsgewichtshundertsteln im Betrieb	36
9.1	Allgemeines	36
9.2	Grundsätze für Züge in Bremsart P (schnellwirkende Bremse)	37
9.3	Anpassung von Zügen, die aus Lokomotive und Reisezugwagen bestehen	37
9.3.1	Variation des Bremsgewichts unter Berücksichtigung der Zuglänge	37
9.3.2	Bremsgewicht von Zügen, die mit Schnellbremsbeschleunigern ausgestattet sind	38
9.3.3	Regeln für den Einsatz im Fahrbetrieb: Bremsgewicht von Zügen, die mit indirekter ep- Bremse ausgerüstet sind	38
9.3.4	Abweichung beim Bremsgewicht unter Berücksichtigung der zusätzlichen dynamischen Bremse	39
9.4	Korrekturen für P-gebremste Güterzüge	39
9.4.1	Veränderung des Bremsgewichts unter Berücksichtigung der Zuglänge	39
9.4.2	Verringerung des Bremsgewichts eines in Stellung G gebremsten Fahrzeugs bei einem in Stellung P gebremsten Zug	40
9.4.3	Veränderung des Bremsgewichts unter Berücksichtigung von Schnellbremsbeschleuniger und indirekter ep-Bremse	40
9.5	Grundsätze beim Einsatz von in der Betriebsart G betriebenen Zügen	40
9.5.1	Allgemeines	40
9.5.2	Güterzüge	40
10	Betrieb mit dem ETCS	41
11	Bewertung der maximalen Ausnutzung des Kraftschlusses	41
12	Bewertung der Leistungsfähigkeit einer Feststellbremse/Haltebremse auf einer Neigung	42
Anhang A (normativ)	Bremsbewertung für Züge	43
A.1	Bewertungsbogen für Züge mit Bremsstellungen P, R, R + Mg	43
A.2	Übersicht der mathematischen Gleichungen für die Bewertungskurven von Zügen mit den Bremsstellungen P, R, R + Mg	44
Anhang B (normativ)	Bremsbewertung für Einzelfahrzeuge	45
B.1	Bewertungsdiagramm für Einzelfahrzeuge	45
B.2	Übersicht der mathematischen Gleichungen für die Bewertungskurven von Einzelfahrzeugen	46
Anhang C (normativ)	Überprüfung der Reibpaarung von scheibengebremsten Einzelfahrzeugen	47
C.1	Diagramm zur Überprüfung der Reibpaarung von scheibengebremsten Einzelfahrzeugen	47
C.2	Übersicht über die mathematischen Gleichungen für die Bewertungskurven zur Überprüfung der Reibpaarung von scheibengebremsten Einzelfahrzeugen	48
Anhang D (normativ)	Bestimmung des Bremsvermögens von Güterwagen, die mit Graugussbremsklötzen (P10) oder mit umfassend zertifizierten und austauschbaren Bremsklötzen vom Typ „LL“ ausgestattet sind	49

Anhang E (normativ) Ermittlung der äquivalenten Ansprechzeit	52
E.1 Allgemeines	52
E.2 Bestimmung der äquivalenten Ansprechzeit basierend auf der Zugverzögerung.....	52
E.3 Ermittlung der äquivalenten Ansprechzeit basierend auf Bremszylinderfüllzeiten	53
E.3.1 Allgemeines	53
E.3.2 Auswertung.....	53
Anhang F (normativ) Umwandlungsmodell für ERTMS/ETCS	54
F.1 Einleitung	54
F.2 Symbole für diesen Anhang	55
F.3 Geltungsbereich des Modells.....	56
F.4 Bremsmodell	57
F.4.1 Allgemeine Grundsätze	57
F.4.2 Berechnung der äquivalenten Ansprechzeit während der Schnellbremsung	58
F.4.3 Berechnung der äquivalenten Ansprechzeit während der Vollbremsung.....	60
F.4.4 Berechnung der Grundverzögerungen.....	61
F.4.5 Berechnung der Verzögerungen bei einer Schnellbremsung	63
F.5 Berechnungsbeispiel des Anhalte- oder Verzögerungsbremswegs.....	63
Anhang G (normativ) Bewertungsbogen für Einzelfahrzeuge mit Geschwindigkeiten von weniger als 100 km/h mit Bremsstellung P und R.....	65
G.1 Bewertungsbogen für Einzelfahrzeuge, die mit Graugussbremsklötzen (P10) für Geschwindigkeiten unter 100 km/h ausgestattet sind	65
G.2 Übersicht der mathematischen Gleichungen zur Anwendung bei Bewertungskurven für Einzelfahrzeuge, die mit Graugussbremsklötzen (P10) für Geschwindigkeiten unter 100 km/h ausgestattet sind.....	67
G.3 Bewertungsbogen für Einzelfahrzeuge, die mit EN-UIC-Scheibenbremsen oder K-Bremsklötzen für Geschwindigkeiten unter 100 km/h ausgestattet sind.....	67
G.4 Übersicht der mathematischen Gleichungen, die bei Bewertungskurven für Einzelfahrzeuge Anwendung finden, die mit EN-UIC-Scheibenbremsen oder Verbundstoffbremsklötzen für Geschwindigkeiten unter 100 km/h ausgestattet sind.....	69
Anhang H (normativ) Verfahren zur Überprüfung der maximalen Ausnutzung des Kraftschlusses zwischen Rad und Schiene	70
H.1 Symbole und Abkürzungen für diesen Anhang	70
H.2 Allgemeines	70
H.3 Voraussetzungen	70
H.4 Bestimmung der maximalen äquivalenten mittleren Verzögerung basierend auf dem für den Kraftschluss $\bar{a}_{\max,\tau}$ relevanten Weg.....	71
H.5 Berechnung des mittleren Reibwertes für die Reibungsbremse μ_m der Prüfung	71
H.6 Berechnung der maximalen Ausnutzung des Kraftschlusses zwischen Rad und Schiene $\tau_{\max}$	72
Anhang I (informativ) Beispiel zur Überprüfung der maximalen Ausnutzung des Kraftschlusses zwischen Rad und Schiene bei uneinheitlicher Ausrüstung der Reibungsbremse	73
I.1 Uneinheitliche Ausrüstung der Reibungsbremse.....	73
I.2 Änderung des Bremszylinderdruckes während der Bremsung.....	73
Anhang J (informativ) Beispiel für die Korrektur und Bewertung von Prüfergebnissen, die die vorgeschriebenen Prüfbedingungen überschreiten — Umgang mit Bogenradien, die kleiner sind als 1 000 m	76
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden EU-Richtlinie 2008/57/EG	78
Literaturhinweise.....	80

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 16834:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Oktober 2019, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Oktober 2019 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Mandats erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinie 2008/57/EG.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinie 2008/57/EG siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt eine harmonisierte Verfahrensweise zur Bewertung des Bremsvermögens durch Prüfung von Lokomotiven, Reisezugwagen, Güterwagen und Elektro- und Dieselmotortriebwagen und -triebzügen fest.

Dieses Dokument legt das Normverfahren für die Durchführung von Prüfungen des Bremsvermögens und die Korrekturfaktoren dar, die auf die für alle Arten von Schienenfahrzeugen gewonnenen Daten anzuwenden sind.

Dieses Dokument legt auch die Verfahren zur Bewertung des Bremsvermögens in Bezug auf den Anhalteweg und, davon ausgehend, den Prozess zur Bestimmung der Fahrzeugverzögerung und des Bremsgewichts fest.

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

Anhang D enthält ein Verfahren (Kraftmessung) zur Bestimmung des Bremsvermögens von Güterwagen, die mit Bremsklötzen aus Grauguss P10 oder LL-Bremsklötzen ausgestattet sind.

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 14198, *Bahnanwendungen — Bremsen — Anforderungen an die Bremsausrüstung lokbespannter Züge*

EN 14478, *Bahnanwendungen — Bremsen — Fachbegriffe*

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

EN 14531-2:2015, *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 — 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 Magnetschienenbremssystemen für Schienenfahrzeuge*

EN 16452, *Bahnanwendungen — Bremse — Bremsklötze*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 14478, EN 14198 sowie die folgenden Begriffe.

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

- IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

Bremsbewertungsgeschwindigkeit

Geschwindigkeit bei Einleitung der Bremsung, die maßgeblich ist zur Bestimmung des Bremsvermögens

Anmerkung 1 zum Begriff: In der Regel ist dies die Einleitungsgeschwindigkeit, die zum niedrigsten Bremsgewicht führt.

3.2

Bremsgewicht

repräsentative Größe für das mittlere Bremsvermögen des Fahrzeugs oder Zuges, angegeben in Tonnen und stets als ganze Zahl

Anmerkung 1 zum Begriff: Es wird (in Übereinstimmung mit EN 15877-1 und EN 15877-2) am Fahrzeug angeschrieben. Das Bremsgewicht entspricht der Verzögerungskraft und wird gegenwärtig als „B“ angegeben und bezeichnet.

3.3

Bremsgewichtshundertstel

Quotient aus Bremsgewicht und Fahrzeugmasse $\times 100$

Anmerkung 1 zum Begriff: Auch bekannt als λ (Lambda).

3.4

bremstechnische Höchstmasse

Beladungszustand niedriger oder gleich der „Auslegungsmasse bei außergewöhnlicher Zuladung“ wie in EN 15663 definiert und in Übereinstimmung mit zugehörigen Fahrzeugnormen (z. B. EN 16185-1, EN 14198)

3.5

Dienstmasse

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

3.6

Gesamtmasse

Nennlast

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

3.7

vollständig zertifizierter und austauschbarer LL-Bremsklotz

LL-Bremsklotz, der alle UIC-Anforderungen erfüllt, einschließlich der Austauschbarkeit mit P10 (wie in der ERA-Veröffentlichung ERA/TD/2009-02/INT gelistet)

3.8

K-Bremsklotz

Bremsklotz mit "K"-Reibwerkstoffen wie in EN 16452 definiert

3.9

EN-UIC-Bremse

Bremssystem wie in EN 14198 definiert

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole und Abkürzungen aus Tabelle 1.

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen

Symbol	Beschreibung	Einheit
a	Verzögerung	m/s^2
B	Bremsgewicht	t
C	Konstante für die Berechnung der λ -Werte	—
D	Konstante für die Berechnung der λ -Werte	—
d	Durchmesser	mm
F	Kraft	kN
g	Fallbeschleunigung	$9,81 \text{ m/s}^2$
i	Gradient	‰
k	Bewertungsfaktor für die Bestimmung des Bremsgewichts	—
m	Masse des Versuchszugs oder Versuchsfahrzeugs	t
r	Radius	mm
s	Gesamtanhalteweg (bis zu $v = 0$)	m
t	Zeit	s
v	Geschwindigkeit	km/h
λ	Bremsgewichtshundertstel	%
ρ	Trägheitskoeffizient der rotierenden Massen	—
σ_n	Standardabweichung des Prüfergebnisses	m
τ	Kraftschluss	—
μ	Reibwert	—
η	Wirkungsgrad eines Bremsgestänges	—
ATP	Automatisches Zugsicherungssystem (en: automatic train protection)	
Bg	Bremsklotz, Typ Bg (Einzelbremsklotz)	
Bgu	Bremsklotz, Typ Bgu (Doppelbremsklotz)	
DMU	Triebzug mit Dieselantrieb (en: diesel multiple unit)	
ep-Bremse	Indirekte elektropneumatische Bremse	
EMU	Triebzug mit elektrischem Antrieb (en: electric multiple unit)	
ETCS	Europäisches Zugsteuersystem (en: European Train Control System)	
G	Bremsart der langsam wirkenden Bremse (Güterzug)	

Symbol	Beschreibung	Einheit
K	Bremsblockwerkstoff in Übereinstimmung mit EN 16452	
L	Bremsblockwerkstoff in Übereinstimmung mit EN 16452	
LL	Bremsblockwerkstoff in Übereinstimmung mit EN 16452	
Mg	Magnetschienenbremse	
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	Bremsstellung nach EN 14198	
R	Bremsstellung nach EN 14198	
R+E	Bremsstellung R + elektrodynamische Bremse	
R+H	Bremsstellung R + hydrodynamische Bremse	
R+Mg	Bremsstellung R + Magnetschienenbremse	
S	zugabhängige Kategorie des Bremsvermögens nach EN 14198	
SS	zugabhängige Kategorie des Bremsvermögens nach EN 14198	
Sbb	Schnellbremsbeschleuniger	
Wb	Wirbelstrombremse	

5 Grundsätze der Bestimmung des Bremsvermögens

5.1 Allgemeines

Ziel der Definition des Bremsvermögens von Bremsen für Eisenbahnfahrzeuge ist es, die Leistungsfähigkeit der Bremsen der Schienenfahrzeuge zu charakterisieren.

Um das Bremsvermögens festzustellen, können drei Verfahrensweisen der Bremsbewertung angewendet werden: Anhalteweg, Bremsgewicht und Verzögerung. Alle drei Verfahren bestimmen das Bremsvermögen.

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

Die Bewertung des Bremsvermögens wird beruhend auf einer Anzahl normierter Bedingungen 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 Bremskrafttoleranzen, Streuung des Reibwertes, verschlechtertem Wirkungsgrad oder vom Ausfall von Komponenten des Bremssystems usw. sein kann.

Diese Bremsvermögen beinhalten keine Sicherheitsreserven.

Bei Fahrzeugen mit verschiedenen Bremsstellungen, wie in EN 14198 beschrieben, muss jede Bremsstellung bewertet werden.

Das an Fahrzeugen angeschriebene Bremsvermögen (EN 15877-1 und EN 15877-2) muss vom Bremsvermögen abgeleitet werden, das durch Versuche und/oder Berechnungen in Übereinstimmung mit diesem Dokument bestimmt wurde.

Zusammenhänge zwischen Berechnung des Bremsvermögens und Prüfung sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 — Zusammenhänge zwischen Berechnung des Bremsvermögens und Prüfung

Fahrzeugart	Berechnung	Bremsleistung	Validierung durch Prüfung
Alle Fahrzeuge, ausgenommen Güterwagen	EN 14531-1 und/oder EN 14531-2	Verzögerungen + Ansprechzeit/Anhalteweg ↑ ↓ Bremsgewichte	obligatorisch
Güterwagen	EN 14531-1 und/oder EN 14531-2 oder gegebenenfalls Anhang D (Grauguss-Bremsklötze/zertifizierte LL-Bremsklötze)	Anhalteweg ↑ ↓ Bremsgewichte	obligatorisch (mit Ausnahme von Güterwagen, welche die Anforderungen nach Anhang D erfüllen)

5.2 Bremsbewertung mit Bremsgewichten

Dieses Verfahren entstand nach der Einführung der Druckluftbremse. Dazu wurde mit einem Reisezug mit 60 Radsätzen, definierter Bremsausrüstung, bekanntem Bremsvermögen und bekannter Masse eine große Anzahl an Versuchsfahrten auf ebener Strecke mit unterschiedlichen Bremsausgangsgeschwindigkeiten durchgeführt.

Das Bremsverhalten dieses Zuges entsprach fortan $\lambda = 100 \%$ und stellt eine Musterverzögerung dar, die der Normierung dient, so dass per Definition das Bremsgewicht der Masse dieses Zuges entspricht. Durch weitere Versuche mit unterschiedlichen Bremseinstellungen wurden Bremsbewertungskurven als λ definiert:

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

Dabei ist

s der Anhalteweg, in m;

v die Bremsausgangsgeschwindigkeit, in km/h;

λ das Bremsgewichtshundertstel, in %.

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

Als Bezugsgrundlage für die Bestimmung des Bremsvermögens von Neufahrzeugen wird ein **Bremsbewertungsschema** mit der Bremsart „Personenzug“ verwendet.

Die Bewertungsdiagramme (siehe Bild A.1 und Bild B.1) gelten für eine Bremsausgangsgeschwindigkeit 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 Bremsgewichtshundertstel λ des Zuges und bezieht sich auf den Anhalteweg im Falle einer Schnellbremsung.

Die den einzelnen Fahrzeugen oder Fahrzeugsegmenten zugeordneten Bremsgewichte sind in Übereinstimmung mit EN 15877-1 und EN 15877-2 normalerweise an der Außenseite der Fahrzeuge anzuschreiben, wenn sie nur von der Bremseinleitung durch die Hauptluftleitung erhalten werden. Bremsgewichte müssen in Tonnen in ganzen Zahlen angegeben werden, mit Werten $< 0,5$ nach unten abgerundet und bei Werten $\geq 0,5$ nach oben aufgerundet. Stammen die Ergebnisse von Versuchen an einem Zug, werden die Zahlen zunächst für die kleinste Einheit (Wagen), an der ein Bremsgewicht angegeben ist, auf- oder abgerundet.

5.3 Bremsbewertung mit dem Verzögerungsverfahren

Das Bremsvermögen von Zügen kann durch Verzögerungswerte 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 und einem oder mehreren Geschwindigkeitsintervallen von konstanten Verzögerungen angenähert.

Das in diesem Dokument dargelegte Verzögerungsverfahren soll die Verzögerung des Zuges mit einer vereinfachten Reihe von Werten und nicht durch die individuellen Bremsfunktionen beschreiben.

6 Durchführung der Prüfungen

6.1 Prüfverfahren

6.1.1 Allgemeines

Die Prüfungen müssen von einer fachkundigen Instanz durchgeführt werden.

ANMERKUNG Zum Beispiel von einer Prüforganisation in Übereinstimmung mit EN ISO/IEC 17025.

Die Zugprüfung ist die ursprüngliche Verfahrensweise, die genauere Ergebnisse liefert und immer anwendbar ist. In folgenden Fällen kann die Zugprüfung durch eine Einzelfahrzeugprüfung ersetzt werden, die zu restriktiveren Ergebnissen führt:

- 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 Triebzüge (wie in EN 16185-2 definiert).

6.1.2 Güterwagen und Reisezugwagen

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

- Reisezugwagen: Für die Prüfungen sollte ein 400 m langer Wagenzug eingesetzt werden, der aus identischen Reisezugwagen mit der gleichen Bremsausrüstung besteht.
- Güterwagen: Für die Prüfungen sollte ein 500 m langer Wagenzug eingesetzt werden, der aus identischen Güterwagen mit der gleichen Bremsausrüstung besteht.
- In beiden Fällen muss die Lokomotivbremse vom Zug getrennt werden, und alle Schnellbremsbeschleuniger und die indirekte ep-Bremse müssen deaktiviert werden.

6.1.3 Lokomotiven

Bei der Bestimmung des Bremsgewichts der Lokomotive in Bremsstellung G müssen die Versuche ausgehend von 100 km/h in Bremsstellung P mit der Lokomotive im Solobetrieb vorgenommen werden. Für alle anderen Bremsstellungen muss die Prüfung durchgeführt werden wie in 6.3 festgelegt.

Lokomotiven mit verschiedenen Signalwegen zur Bremssteuerung müssen in allen Betriebsarten geprüft werden (z. B.: UIC-Bremsleitung, direkt wirkende ep-Bremse, Rettungs- oder Abschleppmodus usw.).

6.1.4 Triebzüge und Hochgeschwindigkeitszüge

Das Bremsvermögen eines Triebzuges wird durch dynamische Prüfungen bei allen vorgesehenen Bremsstellungen unter Einsatz aller Bremsen bestimmt. Um das Bremsvermögen bei eingeschränktem Betriebszustand zu bestimmen, müssen dynamische Prüfungen für alle relevanten Fälle durchgeführt werden (z. B. abgesperrte Teile der Druckluftbremse, indirekte ep-Bremse, dynamisch Bremse, Magnetschienenbremse).

Bei Zugverbänden, die zu Triebzügen zusammengekoppelt werden können, müssen die Prüfungen in der ungünstigsten Zugzusammenstellung (unter Berücksichtigung der äquivalenten Ansprechzeit in Anhang E) durchgeführt werden, die mit der statischen Prüfung bestimmt wird (d. h. im Allgemeinen ist das die längste vorgesehene Anordnung).

Triebzüge und Hochgeschwindigkeitszugverbände mit verschiedenen Signalwegen zur Bremssteuerung müssen in allen Betriebsarten geprüft werden (z. B.: UIC-Bremsleitung, direkt wirkende ep-Bremse, Rettungs- oder Abschleppmodus usw.).

6.1.5 Prüfung von Fahrzeugen/Zügen mit zusätzlicher Bremsausrüstung

Zu üblichen zusätzlichen Bremsausrüstungen für die Betriebs- und/oder Schnellbremsung gehören: die dynamische Bremse, Wirbelstrombremse, indirekte ep-Bremse, Magnetschienenbremse, Schnellbremsbeschleuniger.

Die in 6.1.4 festgelegte Prüfung muss mit der gesamten betriebsbereiten Bremsausrüstung erfolgen.

Wird eine zusätzliche Bremsausrüstung bei Notbremse oder Betriebsbremse verwendet, sollte eine zusätzliche Prüfung durchgeführt werden, um das Bremsvermögen mit dieser Ausrüstung getrennt zu bestimmen.

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

6.2 Lastbedingungen bei Prüfungen

6.2.1 Güterwagen

Bei Güterwagen mit Lastwechseleinrichtung für leer/beladen müssen Abhängeversuche durchgeführt werden:

- unter Dienstmasse (leere Güterwagen), in der Stellung „leer“;
- in der Stellung „leer“ mit einer Last, die der Lastwechselmasse entspricht. Wenn eine automatische Lastwechseleinrichtung für „leer/beladen“ angewendet wird, ist der Versuch in der Stellung „leer“ mit einer Last nahe der Lastwechselmasse durchzuführen, jedoch weit genug unterhalb, um sicherzustellen, dass die automatische Lastwechseleinrichtung in der Stellung „leer“ stabil bleibt;
- unter Normallast in der Stellung „beladen“ (EN 15663: Auslegungsmasse bei normaler Zuladung).

Bei Güterwagen mit selbsteinstellender Lastabbremung müssen die Abhängeversuche wie folgt durchgeführt werden:

- mit Dienstmasse (leere Güterwagen);
- im niedrigsten Lastzustand, bei dem das maximale Bremsgewicht erreicht ist;
- unter der Bedingung, bei der die maximale Energie verbraucht wird (Kombination aus Geschwindigkeit und Last).

Bei einem S- und SS-Güterwagen, wie in EN 14198 definiert, führt die Lastdefinition zu Tabelle 3.

Tabelle 3 — Lastbedingungen für Abhängeversuche mit S- und SS-Güterwagen

Fahrzeugmasse	Güterwagen für die Gattung S mit Lastwechseleinrichtung für „leer/beladen“ (S1 in EN 14198)	Güterwagen für die Gattung S mit selbsteinstellender Lastabbremung (S2 in EN 14198)	Güterwagen für die Gattung SS
Dienstmasse	x	x	x
Lastwechselmasse	x		
14,5 t/Radsatz		x	
18 t/Radsatz			x
20 t/Radsatz			x
22,5 t/Radsatz	x	x	
x obligatorische Prüfungen			
ANMERKUNG Die Werte des Fahrzeuggewichts sind typische Werte für UIC-Gattung S oder Gattung SS für klotzgebremste Räder.			

6.2.2 Lokomotiven

Bei Lokomotiven muss nur unter Dienstmasse geprüft werden.

6.2.3 Personenbefördernde Fahrzeuge

Lastbedingungen für personenbefördernde Fahrzeuge sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4 —Lastbedingung bei der Prüfung

Fahrzeugart	Lastzustand		
	Dienstmasse	Normallast	Bremstechnische Höchstmasse
Reisezugwagen, Personenzüge, Trieb- und Hochgeschwindigkeitszüge ohne Lastabbremsung	X	X	(x) ^a
Reisezugwagen, Personenzüge, Trieb- und Hochgeschwindigkeitszüge mit Lastabbremsung	X	X	X ^a
(x) Empfehlung X Anforderung			
^a Wenn die Differenz zwischen der Normallast und der bremstechnischen Höchstmasse mehr als 10 % der Normallast beträgt.			

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

Die Simulation wird wie folgt vorgenommen:

Die Anzahl der abgetrennten Bremsen wird so festgelegt, 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, Triebzüge und Hochgeschwindigkeitszüge.

6.3 Bei der Prüfung anzuwendende Geschwindigkeiten

Die in Tabelle 5 angegebenen Geschwindigkeitskriterien müssen für alle Arten von Bremsungen bis zum Stillstand angewendet werden, d. h. bei den Schnellbremsungen für die Bremsbewertung sowie für (z. B.) Betriebsbremsungen oder bei Prüfungen in eingeschränktem Betriebszustand.

Kombinationen aus Geschwindigkeit und Bremsstellung, die nicht für den Betrieb anwendbar sind, sind für die Prüfung nicht obligatorisch.

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	
30	C, D, E	D, E	C, D, E	D, E	—	—	D, E
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
Höchstgeschwindigkeit (< 160) ^a	A, B, C, D, E	D, E	A, C, D, E	D, E	C, E	C, E	D, E
Höchstgeschwindigkeit (> 160) ^{a, b}	B, C, D, E	D, E	C, D, E	D, E	C, E	C, E	D, E
A = Einzelfahrzeug – Güter- oder Reisezugwagen B = Güterzug C = Personenzug D = Lokomotive E = Triebzüge und Hochgeschwindigkeitszüge Güterfahrzeuge/-züge mit Bremsstellung R müssen als Personenzüge/-züge bewertet werden.							
^a Die Prüfung muss ebenfalls bei Höchstgeschwindigkeit durchgeführt werden, wenn es nicht in der Tabelle aufgeführt ist. ^b Bei Geschwindigkeiten > 250 km/h müssen andere Geschwindigkeiten in Schritten von nicht mehr als 40 km/h von 200 km/h bis zur maximalen Auslegungsgeschwindigkeit geprüft 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 wird die Traktion ausgeschaltet, und danach wird eine Schnellbremsung auf ebenem geradem Gleis eingeleitet. Wenn es mehrere Möglichkeiten zur Einleitung einer Schnellbremsung gibt (z. B. durch das Führerbremsventil, Pilzschlagknopf, ATP-Ventile...), muss für die Versuche zur Bewertung des Bremsvermögens diejenige Möglichkeit ausgewählt werden, die zur längsten Ansprechzeit führt. Die Wahl muss durch passende Versuche validiert werden.

Bei Einzelfahrzeugprüfungen ist der Abhängeversuch anzuwenden. Das Fahrzeug muss nach Erreichen der Versuchsgeschwindigkeit abgekoppelt werden, und die Schnellbremsung muss zur selben Zeit oder kurz nach dem Abkoppeln ausgelöst werden.

Bei jedem Versuch wird der Anhalteweg ab dem Punkt, an dem die Schnellbremsung eingeleitet wurde (z. B. Verlassen der Fahrstellung der Bremsenansteuerung oder Pilzschlagknopf gedrückt), bis zum Stillstand gemessen.

Der gemessene Anhalteweg umfasst die Strecke, die während der Verzugszeit und der Bremsaufbauzeit der Bremsausrüstung zurückgelegt wird.

Dieses Prüfverfahren kann in vergleichbarer Weise für andere Bremsanwendungen als die Schnellbremsung angewendet werden (z. B. maximale Betriebsbremsung).

6.4.2 Witterungsbedingungen

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

Unter Schneefallbedingungen ist keine Prüfung zulässig.

6.4.3 Zustand der Bremsausrüstung

6.4.3.1 Räder

Bei klotzgebremsten Fahrzeugen mit neuen oder neu profilierten Rädern sollten diese Räder vorher mindestens 1 200 km gefahren sein.

6.4.3.2 Reibelemente

Vor Beginn der Versuche 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 muss mit Hilfe von Fotos von einer zweckmäßigen Auswahl der Reibelemente dokumentiert werden.

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

Das Einfahren der Reibelemente kann im betrieblichen Einsatz oder über spezielle Einschleif-Bremsungen vonstattengehen. Im letzteren Fall muss die Temperatur der Reibelemente regelmäßig überwacht werden, 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 der Bremsscheiben oder Räder auf unter 100 °C abkühlen können.

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 Versuche

Es müssen mindestens vier gültige Versuche durchgeführt werden, aus denen dann der Mittelwert berechnet wird. Die Bestimmung des Mittelwerts, einschließlich der statistischen Kriterien ist in 6.7.2 beschrieben.

- a) Die Ausgangstemperatur der Räder/Bremsscheiben muss an mindestens vier der Räder/Bremsscheiben gemessen werden, die der theoretisch größten Belastung ausgesetzt sind. Diese Durchschnittstemperatur sollte an den Messpunkten unter 60 °C liegen. Die Ausgangstemperatur darf an keinem Messpunkt 100 °C überschreiten.
- b) Der mittlere Gradient über den Anhalteweg muss $|i| < 3 ‰$ betragen; der maximale Gradient auf der Messstrecke darf $\pm 5 ‰$ nicht überschreiten, außer in Fällen, bei denen die von einem Zug befahrenen Strecken diese Bedingung auf keinem Teilstück erfüllen. Die Abweichung von der vorstehenden Regelung muss im Prüfbericht dokumentiert werden.
- c) Versuche auf Bogenradien $< 1\,000$ m sind nicht zulässig.

- d) Die Abweichung der Bremsenleitungsgeschwindigkeit von der Sollgeschwindigkeit muss $|v_{j,meas} - v_{j,nom}| \leq 4 \text{ km/h}$ sein. Wenn die Nennausgangsgeschwindigkeit größer oder gleich 200 km/h ist, darf sich die Abweichung bis auf 6 km/h erhöhen. Wenn die Nennausgangsgeschwindigkeit kleiner oder gleich 30 km/h ist, darf die Abweichung 2 km/h nicht überschreiten.
- e) Bei Trockenprüfungen darf kein Eingriff durch eine Gleitschutteinrichtung erfolgen.

In dem Fall, dass eine dieser Prüfbedingungen zur Bremsbewertung aufgrund infrastrukturbedingter Einschränkungen nicht erfüllt werden kann, sind folgende Maßnahmen für die einzelne, zu bewertende Einheit zu ergreifen:

- Bestimmung des Einflusses dieser Abweichungen;
- Festlegung eines Verfahrens zur Korrektur der Prüfergebnisse;
- Validierung des Korrekturverfahrens.

Als ein Beispiel zeigt Anhang J den Umgang mit Bogenradien, die kleiner sind als 1 000 mm.

6.5 Prüfung im Notfall-Modus und unter eingeschränkten Bedingungen

Wenn für Fahrzeugprüfungen anzuwendende Normen keine Bestimmungen für den Betrieb im Notfall-Modus und unter eingeschränkten Bedingungen vorgeben, wird folgende Vorgehensweise empfohlen, um den Notfall-Modus (Störung) und den Einfluss von Feuchtigkeit auf den Rad/Schiene-Kraftschluss zu berücksichtigen. Der Einfluss von Feuchtigkeit auf den Reibwert der mechanischen Bremsen wird durch das in 7.4.1 beschriebene Verfahren abgedeckt und verlangt keine zusätzlichen dynamischen Prüfungen.

- a) Simulierter Notfall-Modus durch Abschalten von Bremsen:
- 1) Abschalten einer unabhängigen dynamischen Bremse oder Wirbelstrombremse oder Magnetschienenbremseinheit. Wenn diese von der Stromversorgung abhängen, müssen alle Einheiten abgeschaltet werden;
 - 2) Abschalten einer lokalen Bremssteuereinheit (z. B. Steuerventil).
- b) Eingeschränkte Bedingungen durch:
- 1) Benetzung der Schiene zur Erzeugung von geringem Kraftschluss, wie in EN 15595 dargestellt.

6.6 Bestimmung des Bremsvermögens für das ETCS

Um das Bremsvermögen für das ETCS zu bestimmen, müssen die festgelegten Versuche durchgeführt werden.

Die Anzahl der festgelegten Verzögerungsstufen darf sieben Stufen nicht überschreiten. Diese Bestimmung muss unter Berücksichtigung der folgenden Sollzustände vorgenommen werden, bevor Sicherheitsreserven angewendet werden:

- Gleiszustand (Rad/Schiene-Kontakt):
Die Sollverzögerung bei Schnellbremsung muss auf trockenen Schienen erfolgen.
- Feuchtigkeit von Reibelementen:
Die Sollverzögerung bei Schnellbremsung muss mit trockenen Reibelementen erfolgen.

- Streckengradienten:
Streckenprüfungen zur Bestimmung der Sollverzögerung bei Schnellbremsung müssen auf gerader, ebener Strecke durchgeführt werden. Die in 6.4.4 genannten Kriterien sind anzuwenden. Die Verzögerung muss im Verhältnis zum Gradienten korrigiert werden.
- Beladung — bei Personenzügen ohne automatische Lastabbremsung:
Die Sollverzögerung bei Schnellbremsung gilt für normal beladene Fahrzeuge.
- Beladung — bei Personenzügen mit automatischer Lastabbremsung:
Bei Fahrzeugen mit automatischer Lastabbremsung muss die Sollverzögerung bei Schnellbremsung die geringste Verzögerung bei allen Beladungszuständen sein (von der Dienstmasse bis hin zur bremstechnischen Höchstmasse) und, wenn die geringste Verzögerung bei unterschiedlichen Beladungszuständen erreicht ist, dann gilt die größte Last als der Nennlastzustand.
- Normal-Modus/Notfall-Modus:
Alle in der Schnellbremsung vorgesehenen Bremssysteme, die durch das ETCS ausgelöst werden, müssen für die Prüfung verwendet werden. Eine Zuverlässigkeits- und/oder Verfügbarkeitsstudie muss für zusätzliche Prüffälle unter eingeschränkten Bedingungen hinzugezogen werden.
- Raddurchmesser:
Die Sollverzögerung basiert auf dem neuen Raddurchmesser.
- Ansprechzeit:
Die Nennansprechzeit ist die äquivalente Ansprechzeit, gegebenenfalls einschließlich der Unterstützung von der elektro-pneumatischen Bremse, dem pneumatischen Schnellbremsbeschleuniger oder einem gleichwertigen System (das verwendete System muss auf der Grundlage einer Zuverlässigkeits- und/oder Verfügbarkeitsstudie basieren).

6.7 Bewertung der Prüfergebnisse für den Anhalteweg

6.7.1 Korrektur der Anhaltewege bei jedem Versuch

Der bei der Prüfung erhaltene Anhalteweg muss korrigiert werden, um folgende Faktoren zu berücksichtigen:

- Nenngeschwindigkeit in Bezug auf die im Versuch gemessene Ausgangsgeschwindigkeit;
- Gradient der Versuchsstrecke.

Für die Korrektur muss Gleichung (3) angewendet werden:

$$\frac{v_{j,nom}^2}{2 \times 3,6^2 \times s_{j,corr}} = \frac{v_{j,meas}^2}{2 \times 3,6^2 \times s_{j,meas}} - \frac{g}{\rho} \times \frac{i_m}{1\,000} \quad (3)$$

Die Umwandlung ergibt die Gleichung (4):

$$s_{j,corr} = \frac{3,933 \times \rho \times v_{j,nom}^2}{3,933 \times \rho \times v_{j,meas}^2 - i'_m \times s_{j,meas}} \times s_{j,meas} \quad (4)$$

mit

$$i'_m = i_m + W_{Bo} \quad (5)$$

Dabei ist

- $s_{j,corr}$ der korrigierte Anhalteweg, der der Nenngeschwindigkeit bei der Prüfung entspricht, in m;
 - $s_{j,meas}$ der bei den Versuchen gemessene Anhalteweg, in m;
 - $v_{j,nom}$ die Nennausgangsgeschwindigkeit bei der Prüfung, in km/h;
 - $v_{j,meas}$ die beim Versuch gemessene Ausgangsgeschwindigkeit, in km/h;
 - i_m der mittlere Gradient über s an der Versuchsstrecke, mit dem Pluszeichen für ansteigende Neigungen und dem Minuszeichen für absteigende Neigungen, in ‰. Bei Prüfungen von Zügen muss der Gradient mit Bezugnahme auf den Schwerpunkt des Zuges bestimmt werden;
 - W_{Bo} der mittlere Bogenwiderstand über $s_{j,meas}$ der Versuchsstrecke. Bei Versuchen in Bögen zwischen 1 000 m und 5 000 m Radius muss der mittlere Bogenwiderstand mit $W_{Bo} = 650/(r - 55)$, in N/kN, berechnet werden. Oberhalb 5 000 m Radius ist der Bogenwiderstand vernachlässigbar;
 - ρ der Trägheitskoeffizient der rotierenden Massen, der in Gleichung (6) definiert ist;
 - g Fallbeschleunigung.
- $$\rho = 1 + \frac{m_r}{m} \quad (6)$$

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 muss für Lokomotiven $\rho = 1,15$ und für Personenzugwagen $\rho = 1,04$ verwendet werden.

6.7.2 Bestimmung des Mittelwertes für den Anhalteweg

Um den Mittelwert zu bestimmen, müssen vier oder mehr gültige Versuche durchgeführt werden. Zuvor müssen alle Anhaltewege entsprechend dem in 6.7.1 beschriebenen Verfahren korrigiert werden.

Bei Versuchen mit einer Nennausgangsgeschwindigkeit von mehr als 30 km/h, die durchgeführt werden, um die Bremsleistung im Sinne der vorliegenden Norm zu bestimmen, müssen die Prüfergebnisse die im Folgenden beschriebenen Anforderungen erfüllen.

Der Mittelwert muss nur dann als gültig betrachtet werden, wenn die Kriterien aus Gleichung (7) und Gleichung (8) gleichzeitig erfüllt sind:

Kriterium K1:

$$\frac{\text{Standardabweichung der Prüfung } (\sigma_n)}{\text{Mittelwert der Prüfung } (\bar{s})} \leq 3,0 \% \quad (7)$$

und

Kriterium K2:

$$| \text{Extremwert } (s_e) - \text{Mittelwert } \bar{s} | \leq 1,95 \times \sigma_n \quad (8)$$

mit

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum |s_{j,\text{corr}} - \bar{s}|^2}{n}} \quad (9)$$

Dabei ist

- $s_{j,\text{corr}}$ der während des Versuchs „j“ gemessene und mit Gleichung (4) korrigierte Anhalteweg, in m;
- $\bar{s}$ der mittlere Anhalteweg, in m;
- n die Anzahl gültiger Versuche;
- σ_n die Standardabweichung des Prüfergebnisses;
- s_e der einzelne Anhalteweg, der am weitesten vom Mittelwert abweicht.

Wenn nach dem vierten Versuch eines der beiden Kriterien nicht erfüllt ist, muss ein zusätzlicher Versuch durchgeführt werden und die Kriterien müssen erneut angewendet werden.

Ist die Anzahl der gültigen Versuche ≥ 5 und das Kriterium K2 nicht erfüllt, muss der Extremwert s_e verworfen werden und die Kriterien müssen erneut überprüft werden.

Wenn jedoch nur K1 nicht erfüllt ist oder beide Kriterien nicht erfüllt sind, nachdem der Extremwert verworfen wurde, muss zusätzlich ein weiterer Versuch durchgeführt werden.

Das Verfahren muss so lange angewendet werden, bis K1 und K2 erfüllt sind oder insgesamt 10 Versuche durchgeführt wurden (sowohl gültige als auch ungültige Prüfungen werden gezählt).

Die Anzahl der gültigen Versuche muss mindestens 70 % von der Anzahl aller durchgeführten Versuche betragen, wenn in Betracht gezogen wird, dass verworfene Versuche aufgrund externer Faktoren (falsche Prüfbedingungen 6.4.4) nicht als Teil der Gesamtanzahl der durchgeführten Versuche gezählt werden.

Sind nach insgesamt 10 Versuchen beide Kriterien nicht erfüllt, muss die Versuchsreihe abgebrochen werden, und das Bremssystem und die Prüfbedingungen müssen überprüft werden. Die Unterbrechung der Prüfung muss im Prüfbericht vermerkt werden.

Das nachstehend angegebene Flussdiagramm, siehe Bild 1, zeigt die richtige Vorgehensweise.

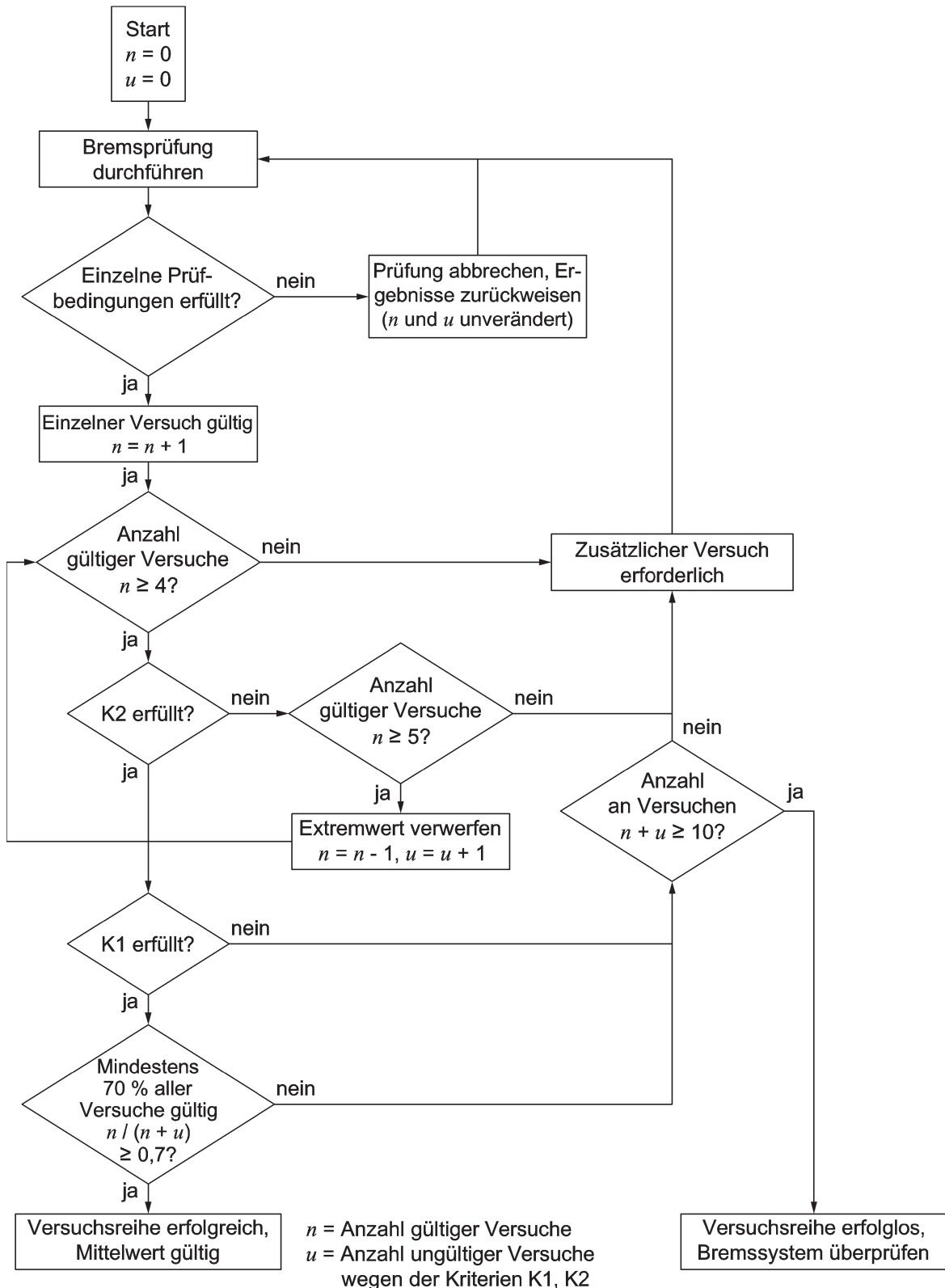


Bild 1

6.7.3 Korrektur des mittleren Anhaltewegs

6.7.3.1 Grundprinzip

Der mittlere Anhalteweg $\bar{s}$ wird beziehungsweise auf den aktuellen Zustand des Fahrzeugs ermittelt. Um das Bremsvermögen festzustellen, muss dieses im Zusammenhang mit dem aktuellen Zustand des Fahrzeugs stehende Ergebnis für einen Zustand korrigiert werden, der allgemein auf die Konstruktionsreihe anwendbar ist. Die nachstehend beschriebene Vorgehensweise kann nur auf Bremsarten angewendet werden, bei denen die Bremskraft ausschließlich über die Rad/Schiene-Schnittstelle übertragen wird, d. h. Magnetschienenbremsen oder Wirbelstrombremsen sind ausgenommen. Folgende Faktoren werden in diesem Zusammenhang in Betracht gezogen.

- Dynamischer Wirkungsgrad des Bremsgestänges am Versuchsfahrzeug in Bezug auf den Mittelwert, der für Betriebsabläufe vorgesehen ist. Wenn dynamische Bremsen berücksichtigt werden, ist der Korrekturfaktor in Bezug auf den Wirkungsgrad des Bremsgestänges nicht relevant.
- Im Falle von scheibengebremsen Versuchsfahrzeugen mit mittleren Raddurchmessern, der Vergleich mit dem Durchmesser des zur Hälfte abgenutzten Rades. Wenn dynamische Bremsen berücksichtigt werden, ist der Korrekturfaktor in Bezug auf den Raddurchmesser anwendbar, wenn die dynamische Bremskraft vom Raddurchmesser unabhängig ist.
- Für den Fall, dass bei der Konstruktionsreihe der Bremszylinderdruck am Versuchsfahrzeug vom angenommenen Sollwert abweicht, muss eine Korrektur innerhalb eines maximalen Toleranzbereichs von $\pm 0,2$ bar ($\pm 0,1$ bar für Güterwagen in Leerzustand) vorgenommen werden.

Korrekturen müssen mit Gleichung (10) und Gleichung (11) vorgenommen werden:

$$F_{\text{corr}} = F_{\text{test}} \times \frac{\eta_{\text{dyn}}}{\eta_{\text{dyn, test}}} \times \frac{d_{\text{test}}}{d_{\text{m}}} \times \left(\frac{p_{\text{nom}} - p_{\text{Feder}}}{p_{\text{test}} - p_{\text{Feder}}} \right) \quad (10)$$

und

$$\bar{s}_{\text{corr}} = t_e \times v_{\text{nom}} + \frac{F_{\text{test}} + W_{\text{m}}}{F_{\text{corr}} + W_{\text{m}}} \times (\bar{s} - v_{\text{nom}} \times t_e) \quad (11)$$

Dabei ist

- $\bar{s}_{\text{corr}}$ der korrigierte mittlere Anhalteweg, in m;
- $\bar{s}$ der mittlere Anhalteweg während der Prüfung, in m;
- t_e die äquivalente Ansprechzeit, in s;
- v_{nom} die Nennausgangsgeschwindigkeit während der Prüfung, in km/h;
- d_{test} der mittlere Raddurchmesser von Versuchsfahrzeugen, in mm;
- d_{m} der Durchmesser des halb abgenutzten Rades, in mm; bei Klotzbremsen ist $d_{\text{m}} = d_{\text{test}}$;
- p_{nom} der Nenndruck des Bremszylinders, in bar;
- p_{test} tatsächlicher Bremszylinderdruck während des Versuchs, in bar;
- p_{Feder} der äquivalente Druck, um die Kraft der Rückholfeder auszugleichen, in bar;
- F_{corr} die korrigierte Bremskraft, in kN (gemittelt über den Anhalteweg);
- F_{test} die mittlere Bremskraft bei der Prüfung, in kN;
- η_{dyn} der mittlere Wirkungsgrad eines Bremsgestänges zwischen zwei vorgesehenen Instandhaltungsmaßnahmen;

$\eta_{\text{dyn, test}}$ der Wirkungsgrad des Bremsgestänges bei der Prüfung;

W_m der Mittelwert des Laufwiderstands, in kN.

Die Ansprechzeit t_e ist in Anhang E definiert.

Um sicherzustellen, dass Neufahrzeuge auch die ermittelte Bremskraft liefern, muss der Faktor $\frac{\eta_{\text{dyn}}}{\eta_{\text{dyn, test}}} \times \frac{d_{\text{test}}}{d_m}$ auf Werte ≤ 1 beschränkt werden, wenn bei Prüfungen an Neufahrzeugen Korrekturen vorgenommen werden.

6.7.3.2 Empfehlung für die Bestimmung der bei der Korrektur enthaltenen Werte

6.7.3.2.1 Allgemeines

Die Festlegungen in diesem Kapitel gelten für einheitliche Reibungsbremssysteme (bezüglich der Parameter Wirkungsgrad, Raddurchmesser, Bremszylinderdruck).

In anderen Fällen, wie beispielsweise uneinheitlichen Systeme oder wenn dynamische Bremsen verwendet werden, muss die Korrekturberechnung die Auslegung der einzelnen Bremse und ihren Beitrag zur Gesamtbremskraft berücksichtigen.

6.7.3.2.2 Mittlere Bremskraft F_{test}

Die mittlere Bremskraft bei der Prüfung kann aus dem mittleren Anhalteweg $\bar{s}$ mit Gleichung (12) berechnet werden.

$$F_{\text{test}} = m \times \rho \times \frac{v_{\text{nom}}^2}{2 (\bar{s} - v_{\text{nom}} \times t_e)} - W_m \quad (12)$$

Dabei ist

m die Masse des Prüffahrzeugs, in t;

t_e die äquivalente Ansprechzeit, in s;

ρ der Trägheitskoeffizient der rotierenden Massen;

v_{nom} die Nennausgangsgeschwindigkeit während der Prüfung, in m/s;

$\bar{s}$ der mittlere Anhalteweg während der Prüfung, in m;

W_m der Mittelwert des Laufwiderstands, in kN.

6.7.3.2.3 Mittlerer dynamischer Wirkungsgrad η_{dyn} beim Betrieb

Folgende Regeln sind für die Annahme des dynamischen Wirkungsgrades bei normaler Betriebsbedingung anzuwenden:

- bei einem Standard-Bremsgestänge von Klotzbremsen nach EN 14531-1 muss ein Wert von $\eta_{\text{dyn}} = 0,83$ angenommen werden;
- bei Bremsgestängen mit einer direkteren Bremskraftübertragung von einem Zylinder auf mehr als eine Bremsscheibe oder ein Rad muss der angenommene Wert auf $\eta_{\text{dyn}} = 0,91$ begrenzt sein;
- bei Bremssätteln oder Bremsklotzeinheiten, die gleichzeitig nur auf eine Bremsscheibe oder ein Rad einwirken, muss der angenommene Wert auf $\eta_{\text{dyn}} = 0,95$ begrenzt sein.