

DIN EN 14531-6



ICS 45.060.01

**Bahnanwendungen –
Verfahren zur Berechnung der Anhalte- und Verzögerungsbremswege
und der Feststellbremsung –
Teil 6: Schrittweise Berechnungen für Zugverbände oder
Einzelfahrzeuge;
Deutsche Fassung EN 14531-6:2009**

Railway applications –
Methods for calculation of stopping and slowing distances and immobilisation braking –
Part 6: Step by step calculations for train sets or single vehicles;
German version EN 14531-6:2009

Application ferroviaires –
Méthodes de calcul des distances d'arrêt, de ralentissement et d'immobilisation –
Partie 6: Calculs pas à pas pour des compositions de trains ou véhicules isolés;
Version allemande EN 14531-6:2009

Gesamtumfang 61 Seiten

Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 14531-6:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der NA 087-00-03-03 AK „Sondergebiete, ergänzende Einrichtungen und Schienenbremsen“ des Normenausschusses Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN.

Deutsche Fassung

Bahnanwendungen —
Verfahren zur Berechnung der Anhalte- und
Verzögerungsbremswege und der Feststellbremsung —
Teil 6: Schrittweise Berechnungen für Zugverbände oder
Einzelfahrzeuge

Railway applications —
Methods for calculation of stopping and slowing distances
and immobilisation braking —
Part 6: Step by step calculations for train sets or single
vehicles

Applications ferroviaires —
Méthodes de calcul des distances d'arrêt, de
ralentissement et d'immobilisation —
Partie 6: Calculs pas à pas pour des compositions de trains
ou véhicules isolés

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 23. April 2009 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 Management-Zentrum des CEN 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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Definitionen, Formelzeichen und Abkürzungen	6
3.1 Begriffe und Definitionen	6
3.2 Formelzeichen und Indizes	7
4 Allgemeine Algorithmen	9
4.1 Allgemeine Algorithmen zur Berechnung der Anhalte- und Regulierbremswege.....	9
4.2 Allgemeiner Algorithmus zur Berechnung der Stillstandsbremsung	9
5 Berechnung der Anhalte- und Regulierbremswege	10
5.1 Genauigkeit der Ausgangswerte	10
5.2 Allgemeine Merkmale	10
5.3 Verhalten der Bremseinrichtungen	12
5.4 Ausgangs- und Betriebsmerkmale	23
5.5 Beteiligung, Verteilung der Bremskräfte — erzielte Kräfte	25
5.6 Bremskraft je Radsatz	25
5.7 Gesamtbremskraft auf Zugebene.....	25
5.8 Zeitschrittintegrationsverfahren	26
5.9 Weitere Verzögerungen	27
5.10 Zeit.....	28
5.11 Wegberechnungen.....	28
5.12 Weitere Berechnungen.....	29
6 Berechnung der Stillstandsbremsung.....	32
6.1 Allgemeines	32
6.2 Allgemeine Merkmale	32
6.3 Merkmale der Stillstandsbremseinrichtungen.....	32
6.4 Zug- und betriebliche Merkmale.....	33
6.5 Erzeugung der Stillstandsbremskraft durch jede Bremseinrichtung	33
6.6 Stillstandsbremskraft	33
6.7 Externe Kräfte	34
6.8 Endergebnisse	35
Anhang A (normativ) Ablauf der dynamischen und statischen Berechnungen	38
Anhang B (informativ) Beispiel für eine Zeitschrittintegrationsschleife	41
Anhang C (informativ) Beispiel für Bremsweg- und weitere dynamische Berechnungen	42
C.1 Ausgangsdaten	42
C.1.1 Daten der Massen	42
C.1.2 Daten der Räder	43
C.1.3 Zugwiderstand	43
C.1.4 Daten der Bremseinrichtungen	43
C.1.5 Verhalten und Einstellungen der Bremseinrichtung	45
C.1.6 Ausgangs- und Endgeschwindigkeit.....	46
C.1.7 Neigung.....	46
C.2 Berechnungsergebnisse	46
C.2.1 Bremskraft je Bremseinrichtung und Zugwiderstand.....	46
C.2.2 Gesamtbremskraft je Bremseinrichtungsart und Zugwiderstand	47
C.2.3 Anhaltewege.....	48

	Seite
C.2.4 Anhaltezeit	48
C.2.5 Äquivalente Ansprechzeit.....	49
C.2.6 Äquivalente Verzögerung	49
C.2.7 Verzögerungen	49
C.2.8 Erforderlicher Kraftschluss	50
Anhang D (informativ) Beispiel für eine Berechnung der Stillstandsbremsung	52
D.1 Ausgangsdaten.....	52
D.1.1 Daten der Massen	52
D.1.2 Daten der Räder	53
D.1.3 Zugwiderstand	53
D.1.4 Auf den Zug wirkende Windkraft	53
D.1.5 Radsatzbezogene Daten der Scheibenbremseinrichtung.....	53
D.1.6 Neigung	54
D.1.7 Verfügbarer Kraftschluss	54
D.1.8 Verwendete Bremseinrichtung	54
D.2 Berechnungsergebnisse der Stillstandsbremsung	54
D.2.1 Stillstandsbremskraft.....	54
D.2.2 Sicherheitsfaktor der Stillstandsbremsung.....	55
D.2.3 Erforderlicher Kraftschluss je Radsatz.....	55
D.2.4 Größtwert der möglichen Neigung	55
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EG-Richtlinie 2008/57/EG	56
Literaturhinweise	59

Vorwort

Dieses Dokument (EN 14531-6:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis November 2009, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis November 2009 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Diese Norm¹⁾ ist eine von einer sechsteiligen Normenreihe, mit dem allgemeinen Titel EN 14531, *Bahnanwendungen — Verfahren zur Berechnung der Anhalte- und Verzögerungsbremswege und der Feststellbremsung*. Die fünf anderen sind:

- Teil 1: *Grundlagen*;
- Teil 2: *Anwendung für einzelne Güterwagen (in Vorbereitung)*;
- Teil 3: *Anwendungen für den Nahverkehr (in Vorbereitung)*;
- Teil 4: *Einzelne Reisezugwagen (in Vorbereitung)*;
- Teil 5: *Lokomotiven (in Vorbereitung)*.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EG-Richtlinien 2008/57/EG.

Zum Zusammenhang mit EG-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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

1) Obwohl es ursprünglich vorgesehen war sechs Teile dieser Norm zu erstellen, ist jetzt eine Restrukturierung und Rationalisierung der Norm beabsichtigt, damit sie weniger Teile umfasst.

Einleitung

Das Ziel der vorliegenden Europäischen Norm besteht darin, den Herstellern und Betreibern von Eisenbahnmateriail zu ermöglichen, ein gemeinsames Berechnungsverfahren zu verwenden.

In ihr werden die angepassten Algorithmen und Zeitschrittverfahren für die Auslegung aller Arten von Bremsanlagen für Lok gespannte Züge, elektrische Triebzüge, Dieseltriebzüge und Einzelfahrzeuge beschrieben.

1 Anwendungsbereich

In dieser Europäischen Norm wird ein grundlegender Algorithmus beschrieben, der verwendet werden kann für alle Betriebsarten der konventionellen und Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge, einschließlich selbst fahrender Züge und Einheiten, die elektrisch oder durch Verbrennungskraft getrieben werden, Reisezugwagen, mobile Arbeits- und Wartungsfahrzeuge und Güterwagen. Die vorliegende Norm enthält keine Anforderungen an das Bremsvermögen. Es ermöglicht, die verschiedenen Kriterien des Bremsvermögens zu berechnen: Wege der Anhalte- oder Regulierbremsung, Energiedissipation, Kraftberechnungen und Stillstandsbremsung.

Die vorliegende Norm ermöglicht es, Anforderungen an Anhalte-, Verzögerungs- sowie Stillstandsbremsvermögen für konventionelle und Hochgeschwindigkeitszüge, die auf konventionellen und Hochgeschwindigkeitsstrecken verkehren, mittels Berechnungen zu überprüfen.

Andere Berechnungsmethoden können genutzt werden, vorausgesetzt, dass die Genauigkeit in Übereinstimmung mit dieser Europäischen Norm erreicht wird.

Die vorliegende Norm enthält:

- a) ein Beispiel der Weg- und anderer dynamischer Berechnungen, siehe Anhang C;
- b) Berechnungsbeispiele einer Stillstandsbremsung, siehe Anhang D.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente 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 14478:2005, *Bahnanwendungen — Bremsen — Oberbegriff*

EN 14531-1:2005, *Bahnanwendungen — Verfahren zur Berechnung der Anhalte- und Verzögerungsbremswege und der Feststellbremsung — Teil 1: Grundlagen*

prEN 15328, *Bahnanwendungen — Bremsen — Bremsbeläge*²⁾

ISO 80000-3:2006, *Quantities and units — Part 3: Space and time*

ISO 80000-4:2006, *Quantities and units — Part 4: Mechanics*

3 Definitionen, Formelzeichen und Abkürzungen

3.1 Begriffe und Definitionen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 14478:2005, EN 14531-1:2005, ISO 80000-3:2006, ISO 80000-4:2006, und die folgenden Begriffe.

3.1.1

statische Radsatzmasse

(1) Masse je Radsatz im Ruhezustand, gemessen durch einen Wiegevorgang an der Schnittstelle zwischen Rad und Schiene, oder abgeschätzt auf Basis der Entwurfsberechnung

(2) statische Zugmasse, geteilt durch die Anzahl der Radsätze, falls die statische Radsatzmasse unbekannt ist

2) Zur Zeit der Veröffentlichung befand sich diese Norm noch im Entwurfsstadium.

3.1.2

statische Zugmasse

Summe sämtlicher Werte der statischen Radsatzmassen, einschließlich aller betrieblich vorkommenden Massen

3.1.3

Bremseinrichtung

Gruppe von Einrichtungsbauteilen, deren Aufgabe die Erzeugung von Bremskraft ist

3.1.4

abgesperrte Bremseinrichtung

betriebsunfähiger Zustand der Bremsen z. B. eines Drehgestells (siehe EN 14478)

3.1.5

aktive Bremseinrichtung

Einrichtung, die während der Berechnung einer bestimmten Bremsungsart berücksichtigt wird (im Gegensatz zur Absperrung) (siehe EN 14478)

3.1.6

schrittweise Berechnung

numerisches Verfahren mit begrenzten Zeitschritten

ANMERKUNG Synonym für einen numerischen Typ, einen Integral zu lösen.

3.2 Formelzeichen und Indizes

Für die Anwendung des vorliegenden Dokuments gelten die in Tabelle 1 enthaltenen allgemeinen Formelzeichen sowie die in Tabelle 2 enthaltenen Indizes.

ANMERKUNG Besondere Formelzeichen und Indizes sind in den jeweiligen Abschnitten erläutert.

Tabelle 1 — Formelzeichen

Symbol	Definition	Einheit
A	Fläche	m^2
A_s	Überstrichene Reibfläche	m^2
a	Verzögerung	m/s^2
B	Bremsgewicht	t
D	Raddurchmesser	m
d	Durchmesser	m
F	Kraft	N
F_B	Bremskraft	N
F_g	Hangabtriebskraft des Zuges	N
f	Reibwert	—
g_n	Normfallbeschleunigung = 9,806 65 m/s^2 (siehe: ISO 80000-3)	m/s^2
i	Neigung ^a	—
i_C	Zylinderübersetzung	—
i_{rig}	Gestängeübersetzung	—

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Definition	Einheit
i_{tra}	Getriebeübersetzung	–
m	Masse	kg
n	Anzahl	–
P	Leistung	W
p	Druck	Pa
R	Radradius	m
r	Radius	m
s	Wegstrecke	m
S	Sicherheitsfaktor	–
t	Zeit	s
τ	Kraftschluss	–
v	Geschwindigkeit	m/s
W	Energie	J
W_S	Energie je Flächeneinheit	J/m ²
λ	Bremshundertstel	–
μ	Reibwert (Bremsbelag oder Bremsklotz)	–
η	Wirkungsgrad	–
^a eine Neigung mit einem positiven Vorzeichen ist eine Steigung, z. B. eine Steigung von 5 ‰ $i = 0,005$.		

Tabelle 2 — Allgemeine Indizes

Symbol	Begriff
AMG	Anzugskraft der Magnetschienenbremse
ax	Radsatz
a	verfügbar
B	Reibung
BEC	Bremskraft der Wirbelstrombremse
BED	elektrodynamische Bremskraft
BFR	hydrodynamische Bremskraft
BMG	Bremskraft der Magnetschienenbremse
b	Klotz oder Belag
bog	Drehgestell
C	Zylinder
cha	charakteristisch
Bd	Bremskraftanforderung
disc	Scheibe
dyn	dynamisch
e oder 2	End-
e	äquivalent
ext	extern, äußer(e)(s)
H	Handbremse
i	Bremseinrichtung

Tabelle 2 (fortgesetzt)

Symbol	Begriff
im	Stillstand, Parken, Halten
int	intern, innere(r)(s)
inst	momentan, augenblicklich
m	durchschnittlich, Mittel-, mittler(e)(s)
max	Größtwert, Höchst-
min	Kleinstwert, Mindest-
mot	Trieb-, angetrieben
m_unsp	ungefederte Masse
MG	Magnetschienenbremse
n	Normalrichtung
r	Ansprechen
Ra	Zugwiderstand
req	erforderlich
rig	Gestänge
rot	rotatorisch, rotierend
R1	Rückstellfeder
R2	Nachsteller
S	Feder
st	statisch
t	Umfangsrichtung
tot	Gesamt-
tra	Getriebe
wind	Wind
0 oder 1	Ausgangs-, Anfangs-

4 Allgemeine Algorithmen

4.1 Allgemeine Algorithmen zur Berechnung der Anhalte- und Regulierbremswege

Dieser Algorithmus wird in Bild A.1 dargestellt.

Dieser Algorithmus muss mit Momentanwerten angewandt werden, die schrittweise errechnet werden. Die numerische Integration muss auf Zeitschritte bezogen sein (siehe 5.8). Eine grobe Näherung kann auf der Grundlage von EN 14531-1 vorgenommen werden. Die grobe Näherung darf nur der Überprüfung der Ergebnisse der numerischen Integration dienen.

Der Inhalt von jedem Algorithmus, die jeweiligen Definitionen der Ausgangswerte sowie die verschiedenen Abschnitte der Berechnung sind in Abschnitt 5 beschrieben.

4.2 Allgemeiner Algorithmus zur Berechnung der Stillstandsbremsung

Dieser Algorithmus wird in Bild A.2 dargestellt.

Der Inhalt von jedem Algorithmus, die jeweiligen Definitionen der Ausgangswerte sowie die verschiedenen Abschnitte der Berechnung sind in Abschnitt 6 beschrieben.

5 Berechnung der Anhalte- und Regulierbremswege

5.1 Genauigkeit der Ausgangswerte

Die Genauigkeit der hier beschriebenen Berechnung ist direkt abhängig von dem Genauigkeitsgrad der Ausgangswerte. Alle Ausgangswerte müssen einen angemessenen Genauigkeitsgrad aufweisen, der durch Versuche, weitere Berechnungen oder Abschätzungen des Konstrukteurs usw. nachgewiesen werden muss.

Entsprechende Berechnungen oder Prüfberichte (oder Auszüge aus diesen Dokumenten) sollten der Berechnung des Bremsvermögens anhängen.

5.2 Allgemeine Merkmale

5.2.1 Zugkonfiguration

Zur Definition der Zugkonfiguration sind folgende Parameter zu verwenden:

- a) Anzahl der Triebradsätze;
- b) Anzahl der Laufradsätze;
- c) Anzahl der gebremsten Radsätze für jede vom Kraftschluss abhängige Bremseinrichtung;
- d) Anzahl der vom Kraftschluss unabhängigen Bremseinrichtungen.

Entsprechend der Bremssystemauslegung können die Parameter auch auf der Ebene der Drehgestelle oder der Fahrzeuge definiert sein.

Die Berechnungen sind für jede Bremseinrichtung vorzunehmen. Dabei sind die Bremskraftanteile jedes der Bremsteilsysteme (z. B. Scheibenbremsen, Klotzbremsen, elektrodynamische Bremsen) zu berücksichtigen. Alle verwendeten Bremseinrichtungen, die auf einen Radsatz wirken, müssen beschrieben und berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 1 Wenn mehrere Bremseinrichtungen vorhanden sind, ist es vorteilhaft, jede einzelne Bauart zu kennzeichnen (zum Beispiel durch eine Zahl: Typ 1, Typ 2, usw.).

Wenn eine Bremseinrichtung in einem Teil des Zuges unter gewissen Bedingungen und in einem anderen Teil unter anderen Bedingungen (zum Beispiel mit zwei unterschiedlichen Zylinderdrücken für die gleiche Laststufe) verwendet wird, sind zwei unterschiedliche Bremseinrichtungen zu berücksichtigen. In solchen Fällen sind beide Bremseinrichtungen bei der Berechnung getrennt zu beschreiben und zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 2 Die Gesamtanzahl der Radsätze ergibt sich aus der Summe der gebremsten und der ungebremsten Radsätze.

5.2.2 Fahrzeug- und Zugmerkmale

5.2.2.1 Statische Radsatzmasse, statische Masse

Falls verschiedene „statische Radsatzmassen“ vorhanden sind, siehe 3.1.1, ist der Ort im Zug zu beschreiben.

5.2.2.2 Äquivalente rotierende Masse

Die rotierende Masse (wie in EN 14478 definiert) ist unter Verwendung eines theoretischen Ansatzes oder, sofern zutreffend, eines genehmigten Prüfverfahrens zu berechnen.

Es ist die Radgröße und der relevante statische Massezustand zu beschreiben, der sich auf das Massenträgheitsmoment bezieht (z. B. neues Rad und unbeladener Zustand).

Falls es unterschiedliche „rotierende Massen“ gibt, ist der Ort im Zug zu beschreiben.

5.2.2.3 Raddurchmesser

Der Raddurchmesser wird auf der Laufkreisebene des Rades gemessen.

Der bei der Berechnung der Not- bzw. Schnellbremsung verwendete Raddurchmesser muss so beschaffen sein, dass das Rad die geringste mögliche Verzögerung ergibt (z. B. bei Scheibenbremsen ist dies üblicherweise der Größtwert des Raddurchmessers).

Für die Überprüfung des erforderlichen Kraftschlusses τ_{req} ist der verwendete Raddurchmesser so zu wählen, dass der größte mögliche Kraftschluss entsteht (z. B. bei Scheibenbremsen ist dies üblicherweise der Kleinstwert des Raddurchmessers).

Falls der Zug mit unterschiedlichen Radgrößen ausgerüstet ist, ist der Bezug jeder Radgröße auf die Zugzusammensetzung zu beschreiben.

5.2.2.4 Zugwiderstand

Der Zugwiderstandswert kann analog zu dem eines anderen vorhandenen Fahrzeugs gewählt oder mittels einer eigenen Berechnung errechnet werden.

Falls die Werte auf Versuchsergebnissen beruhen, müssen die Versuchsbedingungen den zu erwartenden Betriebsbedingungen ähnlich sein.

Der Zugwiderstand wird durch eine Gleichung dargestellt, welche aus

- a) einem von der Fahrzeuggeschwindigkeit unabhängigen Glied;
- b) einem zur Geschwindigkeit proportionalen Glied, das die mechanischen Bauteile (Zug und Strecke) abdeckt;
- c) einem Exponent n der Geschwindigkeit (aerodynamischer Widerstand) proportionalen dritten Glied besteht.

Entsprechend dieser Gleichung sind folgende mathematischen Formeln anzuwenden:

Um den momentanen Zugwiderstand abhängig von der Geschwindigkeit zu erhalten,

$$F_{\text{Ra}} = A + B \cdot v + C \times v^n \quad (1)$$

Dabei ist

F_{Ra}	der Momentanwert des Rollwiderstandes	N
v	die momentane Fahrzeuggeschwindigkeit	m/s
A	der fahrzeugspezifische Koeffizient	N
B	der fahrzeugspezifische Koeffizient	N/(m/s)
C	der fahrzeugspezifische Koeffizient	N/(m/s) ⁿ
n	der genau zu definierender Exponent. Falls kein genauer Wert vorhanden ist, ist n mit 2 anzunehmen.	–

Für die Verwendung üblicherer Einheiten sind die Koeffizienten der Formel anzupassen.

Die oben genannten Einheiten sind für den Berechnungszweck zu verwenden, die Geschwindigkeit wird aber üblicherweise in km/h und der Zugwiderstand in N oder kN ausgedrückt. In diesem Fall werden A , B , C in N, N/(km/h), N/(km/h)ⁿ oder kN, kN/(km/h), kN/(km/h)ⁿ ausgedrückt.

ANMERKUNG 1 Die Koeffizienten A , B und C sind von verschiedenen Parametern abhängig, z. B. Masse, Zuglänge. Die Werte A , B und C können ermittelt werden, indem das in EN 14067-2 enthaltene Prüfverfahren angewandt wird.

ANMERKUNG 2 Für eine erste Berechnung kann der durchschnittliche Zugwiderstand, wie in EN 14531-1 beschrieben, verwendet werden.

BEISPIEL In allen Formeln ist der Rollwiderstand F_{Ra} mit N und die momentane Geschwindigkeit v in m/s angegeben.

$$A = 4\,144,9 \text{ N};$$

$$B = 100,8 \text{ N/(m/s)};$$

$$C = 7,53 \text{ N/(m/s)}^2.$$

Bei einer Geschwindigkeit von 300 km/h, dies entspricht 83,3 m/s, beträgt der Zugwiderstand:

$$F_{Ra} = 4\,144,9 + 100,8 \times 83,3 + 7,53 \times 83,3^2;$$

$$F_{Ra} = 64\,791 \text{ N}.$$

ANMERKUNG Andere Beispielwerte sind in Anhang C zu finden.

5.3 Verhalten der Bremseinrichtungen

5.3.1 Allgemeines

Das Ergebnis dieses Unterabschnitts ist die Bremskraft von jeder Bremseinrichtung, die auf die Schienenoberkante bezogen ist.

Dieser Abschnitt behandelt die erzeugte Bremskraft der einzelnen Bremseinrichtungen unter Bezug auf die meist üblichen Bremseinrichtungen, das sind Klotz- und Scheibenbremsung. Falls diese Einrichtungsmerkmale nicht anwendbar sind, sollten andere passende Methoden der Bremskraftberechnung angewendet werden.

5.3.2 Bremskräfte von Reibungsbremseinrichtungen

5.3.2.1 Klotzbremseinheit

Die Bremseinrichtung einer Klotzbremseinheit wirkt auf eine Klotzanordnung je Zylinder, wie in Bild 1 und Bild 2 gezeigt.

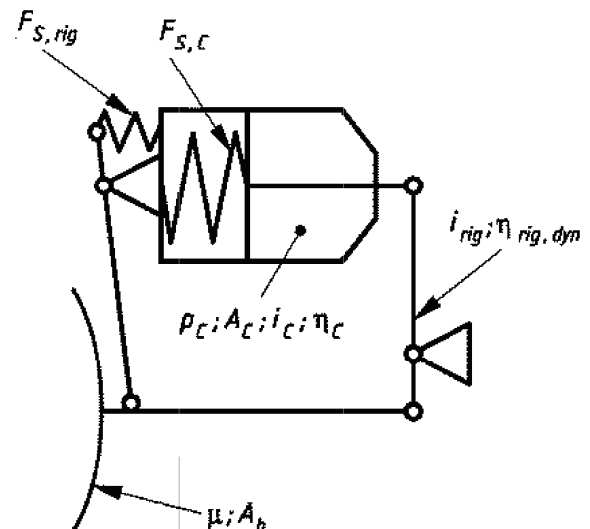
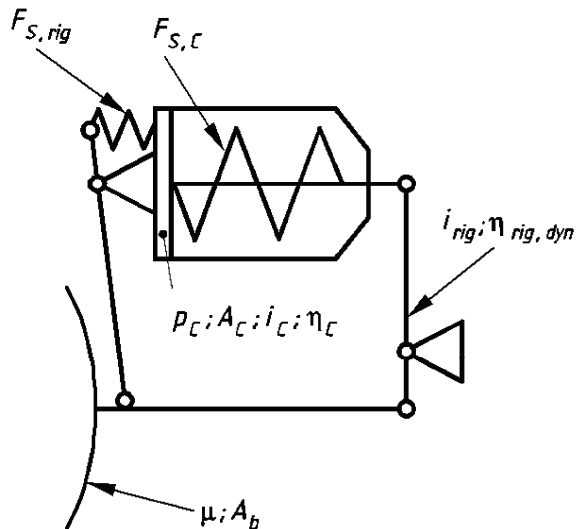


Bild 1 — Druckbetätigte Klotzbremseinheit

Bild 2 — Federspeicherbetätigte Klotzbremseinheit

Die Bremskraftcharakteristik einer Klotzbremseinheit kann ausgedrückt werden durch:

Zylinderausgangskraft

$$F_C = p_C \times A_C \times i_C \times \eta_C + F_{S,C} \quad (2)$$

Klotzkraft

$$F_n = F_C \times i_{rig} \times \eta_{rig, dyn} + F_{S,rig} \quad (3)$$

Bremskraft je Einheit

$$F_{B,C} = F_n \times \mu \quad (4)$$

Dabei ist

p_C	der Bremszylinderdruck	Pa
A_C	die Bremszylinderkolbenfläche	m ²
η_C	der Zylinderwirkungsgrad	—
i_C	die Zylinderübersetzung	—
	ANMERKUNG 1 Bei druckbetätigten Bremseinrichtungen: positiver Wert; bei federspeicherbetätigten Bremseinrichtungen: negativer Wert.	
$F_{S,C}$	die Zylinderfederkraft	N
	ANMERKUNG 2 Bei bremsender Kraft: positiver Wert; bei lösender Kraft: negativer Wert.	
$\eta_{rig, dyn}$	der Wirkungsgrad des Gestänges in dynamischem Zustand	—
i_{rig}	die Gestängeübersetzung	—
$F_{S,rig}$	die Gestängefederkraft	N
	ANMERKUNG 3 Bei bremsender Kraft: positiver Wert; bei lösender Kraft: negativer Wert.	
μ	der Reibwert	—
A_b	die Klotzfläche (erscheint nur in Bild 1 und Bild 2, nicht in den oben genannten Gleichungen)	m ²

5.3.2.2 Zweiseitig wirkende Bremse

Falls zweiseitig wirkende Klötzbremsen zum Einsatz kommen, werden ihre maßgebenden und spezifischen Bremsmerkmale nach EN 14531-1 angewendet.

5.3.2.3 Scheibenbremseinheit

Eine Scheibenbremseinheit wirkt in der Regel auf eine Zange je Zylinder, wie in Bild 3 und Bild 4 gezeigt.

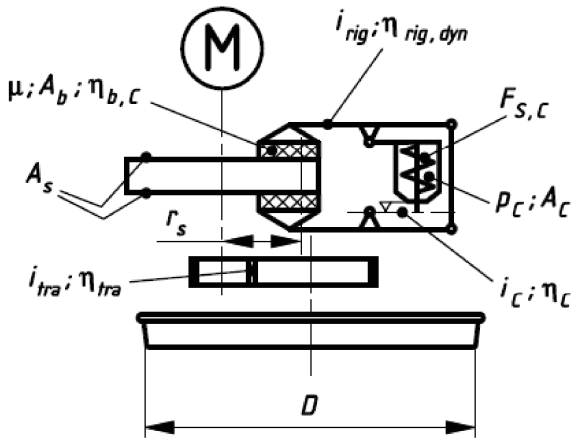


Bild 3 — Druckbetätigte Scheibenbremseinheit

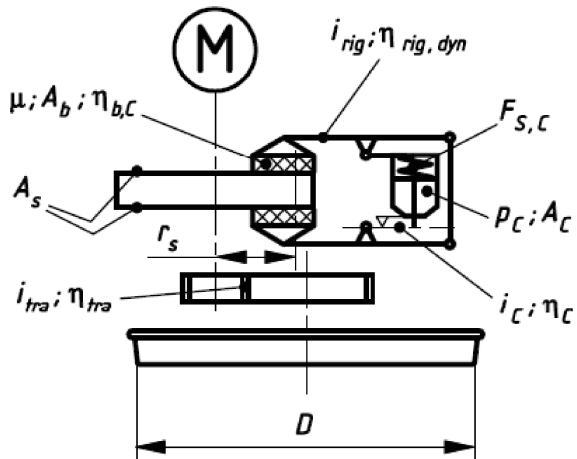


Bild 4 — Federspeicherbetätigte Scheibenbremseinheit

Die Bremskraft einer Scheibenbremse kann ausgedrückt werden durch:

Zylinderausgangskraft

$$F_C = p_C \times A_C \times i_C \times \eta_C + F_{S,C} \quad (5)$$

Belaganpresskraft

$$F_n = (F_C \times i_{\text{rig}} \times \eta_{\text{rig,dyn}}) / n_{\text{b,C}} \quad (6)$$

Tangentialkraft (Reibkraft) an der Scheibe

$$F_t = F_n \times \mu \times n_{b,C} \quad (7)$$

Bremskraft je Einheit

$$F_{B,C} = F_t \times \frac{r_s}{D/2} \times \frac{i_{tra}}{\eta_{tra}} \quad (8)$$

Dabei ist

p_C	der Bremszylinderdruck	Pa
A_C	die Bremszylinderkolbenfläche	m ²
η_C	der Zylinderwirkungsgrad	–
i_C	die Zylinderübersetzung	–
	ANMERKUNG 1 Bei druckbetätigten Bremseinrichtungen: positiver Wert; bei federspeicherbetätigten Bremseinrichtungen: negativer Wert.	
$F_{S,C}$	die Zylinderfederkraft	N
	ANMERKUNG 2 Bei bremsender Kraft: positiver Wert; bei lösender Kraft: negativer Wert.	
$\eta_{rig,dyn}$	der Gestängewirkungsgrad in dynamischem Zustand	–
i_{rig}	die Gestängeübersetzung	–
μ	der Reibwert	–
η_{tra}	der Getriebewirkungsgrad	–
i_{tra}	die Getriebeübersetzung	–
A_b	die Belagfläche je Scheibenseite (erscheint nur in Bild 3 und Bild 4, nicht in den oben genannten Gleichungen)	m ²
r_s	der mittlere überstrichene Radius	m
D	der Raddurchmesser	m
A_s	die überstrichene Fläche (zwei Seiten) der Scheibe (erscheint nur in Bild 3 und Bild 4, nicht in den oben genannten Gleichungen)	m ²
$n_{b,C}$	die Anzahl der Beläge je Zylinder	–

5.3.2.4 Reibwert

Die Nennreibwerte in statischem und dynamischem Zustand sind unter Verwendung der Verfahren nach prEN 15328.

Aufgrund des großen Einflusses sind Informationen zur Verfügung zu stellen, die auf Versuchsergebnissen beruhen, aus denen die Kennlinie des Reibwertes der Bremsklötze und/oder -beläge hervorgeht. Zumindest sind gemittelte Reibwerte für die projektspezifischen Geschwindigkeitsbereiche vorzusehen.

Entsprechende Prüfberichte (oder Auszüge dieser Dokumente) sollten der Berechnung des Bremsvermögens beiliegen.

ANMERKUNG Im Allgemeinen ist der Reibwert insbesondere von fünf Parametern, insbesondere der Momentangeschwindigkeit, der Temperatur, dem Druck, der Feuchtigkeit und der dissipierten Energie abhängig. In einigen Fällen ist die Berücksichtigung anderer Umwelteinflüsse (zum Beispiel korrosionsfördernde Umgebung) erforderlich. Es ist nicht möglich, den Reibwert mit allen fünf oben genannten Parametern zugleich genau zu beschreiben. Im Allgemeinen werden, abhängig vom Reibmaterial des Klotzes oder Belages, nur zwei, die für die Empfindlichkeit des Werkstoffs am repräsentativsten sind, herangezogen. Nachdem mit einem bestimmten Reibmaterial Erfahrungen bei besonderen Anwendungen oder bei Prüfstandsversuchen gewonnen wurden, kann ein durchschnittlicher Reibwert, der von nur einem oder zwei Parametern abhängig ist, ermittelt werden. Sofern nicht anderweitig vorgeschrieben, sollte das Bremsvermögen für die definierten klimatischen Verhältnisse erreicht werden.

5.3.2.5 Lastabbremmung

Auf Fahrzeugen kann der Zylinderdruck ständig an die statische Masse angepasst werden.

$$p_C = f(m_{st}) \quad (9)$$

Dabei ist

p_C	der Bremszylinderdruck	Pa
m_{st}	die statische Masse	kg

5.3.3 Verhalten weiterer Bremseinrichtungen

5.3.3.1 Elektrodynamische Bremse

Im Allgemeinen kann die elektrodynamische Bremskraft durch eine Kennlinie dargestellt werden, die einen Näherungswert erster Ordnung bildet. Dieses Prinzip zeigt Bild 5.

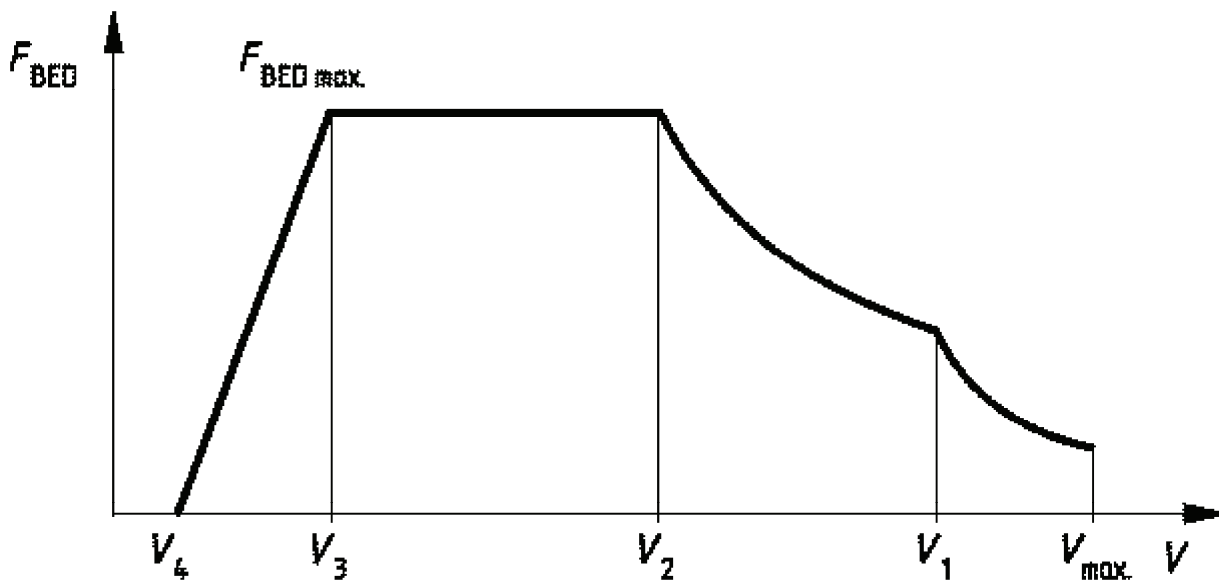


Bild 5 — Verhalten der elektrodynamischen Bremskraft

ANMERKUNG 1 Die Indizes 1, 2, 3, 4 zur Bezeichnung der Geschwindigkeit v sind im Sinne des Bremsablaufes angegeben, beginnend mit der Ausgangsgeschwindigkeit.

ANMERKUNG 2 Der Abschnitt der Kennlinie (abhängig von $1/v_2$) wird bei der Nutzbremmung verwendet, wenn die Spannung begrenzt wird. Falls dieser Abschnitt nicht verwendet wird, ist der Größtwert der Geschwindigkeit v_{max} identisch mit v_1 .

ANMERKUNG 3 Die elektrodynamische Bremskraft kann abhängig von der statischen Masse variieren.

Die Kennlinie setzt sich zusammen aus:

einem linearen Abschnitt von v_4 bis v_3
$$F_{\text{BED}} = F_{\text{BED,max}} \times \frac{v - v_4}{v_3 - v_4} \quad (10)$$

einem konstanten Abschnitt von v_3 bis v_2
$$F_{\text{BED}} = F_{\text{BED,max}} \quad (11)$$

einem hyperbolischen Abschnitt mit konstanter Leistung von v_2 bis v_1
$$F_{\text{BED}} = F_{\text{BED,max}} \times \frac{v_2}{v} \quad (12)$$

einem Abschnitt, abhängig von $1/v^2$ von v_1 bis v_{max}
$$F_{\text{BED}} = F_{\text{BED,max}} \times \frac{v_2 \times v_1}{v^2} \quad (13)$$

Dabei ist

F_{BED}	die momentane, elektrodynamische Bremskraft	N
$F_{\text{BED,max}}$	der Größtwert der elektrodynamische Bremskraft (= Wert der Kraft im konstanten Abschnitt)	N
v	die momentane Geschwindigkeit	m/s
$v_1 \dots v_4$	die Übergangsgeschwindigkeiten	m/s
v_{max}	der Größtwert der Betriebsgeschwindigkeit	m/s

Diese Kennlinie kann auch durch rechnerische oder praktische Verfahren ermittelt werden. Die Werte können in Form einer Tabelle angegeben werden.

5.3.3.2 Hydrodynamische Bremse

Falls hydrodynamische Bremsen zum Einsatz kommen, werden ihre maßgebenden und spezifischen Bremsmerkmale angewendet.

5.3.3.3 Magnetschienenbremse

Üblicherweise wird die Bremskraft der Magnetschienenbremse durch eine Kennlinie dargestellt, in welcher die momentane Bremskraft in Abhängigkeit von der momentanen Geschwindigkeit dargestellt wird. Dieses Prinzip zeigt Bild 6.