

DIN EN 14531-1



ICS 45.060.01

**Bahnanwendungen –
Verfahren zur Berechnung der Anhalte- und Verzögerungsbremswege
und der Feststellbremsung –
Teil 1: Grundlagen;
Deutsche Fassung EN 14531-1:2005**

Railway applications –
Methods for calculation of stopping distances, slowing distances and immobilization
braking –
Part 1: General algorithms;
German version EN 14531-1:2005

Applications ferroviaires –
Méthodes de calcul des distances d'arrêt, de ralentissement et d'immobilisation –
Partie 1: Algorithmes généraux;
Version allemande EN 14531-1:2005

Gesamtumfang 95 Seiten

Normenausschuss Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm wurde unter Federführung der WG 25 „Terminologie, Berechnungen“ (Vorsitz: Frankreich) des CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ (Sekretariat: Deutschland) erarbeitet.

Das zuständige deutsche Arbeitsgremium ist der Arbeitsausschuss AA 3.01 „Bremssysteme und ergänzende Anlagen“ des Normenausschusses Schienenfahrzeuge (FSF).

Deutsche Fassung

Bahnanwendungen —
Verfahren zur Berechnung der Anhalte- und
Verzögerungsbremswege und der Feststellbremsung —
Teil 1: Grundlagen

Railway applications — Methods for calculation of stopping
distances, slowing distances and immobilization braking —
Part 1: General algorithms

Applications ferroviaires — Méthodes de calcul des
distances d'arrêt, de d'immobilisation —
Partie 1: Algorithmes généraux

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 15. März 2005 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 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, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, 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: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	5
Einleitung.....	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen.....	7
3 Begriffe, Formelzeichen und Abkürzungen	7
3.1 Begriffe	7
3.2 Formelzeichen und Indizes	7
3.3 Indizes	9
4 Allgemeiner Rechengang.....	10
4.1 Berechnungen von Anhalte- und Verzögerungswegen.....	10
4.2 Berechnung der Feststellbremse.....	10
5 Berechnung der Anhalte- und Verzögerungswege	10
5.1 Allgemeines	10
5.2 Allgemeine Merkmale	10
5.2.1 Zugkonfiguration	10
5.2.2 Fahrzeug- und Zugmerkmale.....	11
5.3 Bremsmerkmale	14
5.3.1 Merkmale einer Klotz- oder Scheibenbremse.....	14
5.3.2 Charakteristika anderer Bremsausrüstungen	26
5.3.3 Ansprechzeit jeder Bremsausrüstung.....	32
5.3.4 Überlagerungsregeln.....	34
5.4 Ausgangs- und Betriebsbedingungen.....	35
5.4.1 Mittlere Neigung des Gleises.....	35
5.4.2 Anfangsgeschwindigkeit	35
5.4.3 Verfügbarer Kraftschlusswert	35
5.4.4 Höhe der Bremsanforderung.....	35
5.4.5 Anzahl der verfügbaren Bremsausrüstungen	36
5.5 Mittlere Bremskraft jeder Bremsausrüstung	36
5.5.1 Allgemeines	36
5.5.2 Klotzbremskraft.....	36
5.5.3 Scheibenbremskraft	38
5.6 Aufteilung/ Zuordnung der Bremskräfte — wirksame Bremskräfte	39
5.7 Bremskräfte an Lauf- oder Treibradsätzen	39
5.8 Gesamtbremskraft	39
5.8.1 Addition weiterer (äußerer) Kräfte	39
5.8.2 Gesamtbremskraft	40
5.9 Verzögerungen.....	40
5.9.1 Verzögerungen aus den einzelnen unterschiedlichen Bremskräften	40
5.9.2 Äquivalente Ansprechzeit.....	40
5.10 Freilaufzeit.....	40
5.11 Wegberechnungen.....	41
5.11.1 Während der äquivalenten Ansprechzeit zurückgelegter Weg.....	41
5.11.2 Bremsweg	41
5.11.3 Anhalteweg.....	41
5.12 Andere Berechnungen	41
5.12.1 Lambda (λ).....	41
5.12.2 Abgebremste Masse.....	42
5.12.3 Gesamtenergie.....	42
5.12.4 Mittlere Leistung	42
5.12.5 Bremszeit.....	43
5.12.6 Anhaltezeit.....	43
5.12.7 Abbremsung.....	43
5.12.8 Von der jeweiligen Bremsart umgewandelte Energie.....	44

5.12.9	Vom jeweiligen Bremstyp je verfügbarer Bremsfläche umgewandelte Energie.....	45
5.12.10	Mittlere und größte Leistung für den jeweiligen Bremstyp.....	45
5.12.11	Mittlere Leistungsdichte für den jeweiligen Bremstyp.....	45
5.12.12	Kraftschlußausnutzung für jede Bremsart	46
6	Berechnung der Parkbremse	46
6.1	Allgemeine Angaben.....	46
6.1.1	Angaben zum Radsatz	46
6.1.2	Eigenschaften der Feststellbremse, die direkt auf die Schienen wirkt	46
6.2	Eigenschaften der Feststellbremsausrüstung	46
6.2.1	Reibwerte der Beläge und Bremsklötze.....	46
6.2.2	Eigenschaften der Handbremse, die auf den Radreifen wirkt	47
6.2.3	Eigenschaften der Handbremse, die auf eine Bremsscheibe wirkt	49
6.2.4	Eigenschaften einer Bremsausrüstung, die auf eine Bremsscheibe wirkt	52
6.2.5	Eigenschaften einer Klotzbremseinheit.....	54
6.2.6	Eigenschaften der permanent magnetischen Schienenbremse	54
6.3	Zug und Betriebsbedingungen	54
6.4	Bremskraft, die von jeder Bremseinrichtung ausgeübt wird.....	55
6.4.1	Handbremsausrüstung, die auf den Radreifen wirkt.....	55
6.4.2	Handbremsausrüstung, die auf die Bremsscheibe wirkt	56
6.4.3	Bremszylinderausrüstung, die auf eine Bremsscheibe wirkt.....	57
6.4.4	Klotzbremseinheit, die auf den Radreifen wirkt	58
6.4.5	Permanent magnetische Schienenbremsausrüstung	59
6.5	Handbremskraft des Zuges	59
6.6	Externe Kräfte.....	59
6.6.1	Auf den Zug wirkende Hangabtriebskraft.....	59
6.6.2	Auf den Zug wirkende Windkraft	60
6.6.3	Laufwiderstand	60
6.6.4	Addition der externen Kräfte	60
6.7	Endergebnisse.....	60
6.7.1	Sicherheitskoeffizient der Handbremse.....	60
6.7.2	Für jeden gebremsten Radsatz erforderlicher Haftwert	61
6.7.3	Größte zulässige Neigung	61
6.8	Andere Berechnungen	61
6.8.1	Abgebremste Masse der Handbremse	61
6.8.2	Abschleppbedingungen.....	61
Anhang A (normativ)	Grundlagen zur Berechnung von Anhalte- und Verzögerungsbremswegen.....	62
Anhang B (normativ)	Grundlagen zur Berechnung der Parkbremse	65
Anhang C (informativ)	Beispiele zur Berechnung von Anhalte- und Verzögerungswegen	67
C.1	Berechnungsbeispiele für Rollwiderstand von Drehgestellwagen	67
C.1.1	Beispiel offener Güterwagen E7	67
C.1.2	Beispiel 2 Gedeckter Güterwagen G10	67
C.1.3	Beispiel 3 Gedeckter Güterwagen G50	67
C.1.4	Beispiel 4 Flachwagen R18	67
C.2	Berechnungsbeispiel für Klotzbremse mit Gestänge.....	68
C.2.1	Herkömmlicher 2-achsiger Güterwagen mit Klotzbremse mit mechanischer leer-beladen-Umstellung mit UIC Bg Klotz aus 100 km/h	68
C.2.2	Herkömmlicher 2-achsiger Güterwagen mit Klotzbremse mit pneumatischer Umstellung mit UIC Bg Klotz aus 100 km/h	69
C.2.3	Herkömmlicher Drehgestellgüterwagen mit Klotzbremse mit pneumatischer leer-beladen-Umstellung mit UIC-Bgu Klötzen aus 100 km/h.....	70
C.3	Klotzbremskraft mit Zylinder.....	71
C.3.1	Herkömmlicher Drehgestellgüterwagen mit Klotzbremse mit Klotzbremseinheiten	71
C.4	Scheibenbremskraft.....	72
C.4.1	Scheibengebremstes Fahrzeug mit einem Bremszylinder je Bremsscheibe.....	72
C.4.2	Scheibengebremster Güterwagen mit einem Bremszylinder für zwei Bremsscheiben.....	72

C.5	Verzögerung	74
C.5.1	Verzögerung durch die Klotzbremse ($a = F_B/M_{\text{dyn}} = F_{B,a} \times n_a/M_{\text{st}}$)	74
C.5.2	Verzögerung durch die Scheibenbremse ($a = F_B/M_{\text{dyn}} = F_{B,a} \times n_a/M_{\text{st}}$)	74
C.6	Wegberechnungen	74
C.6.1	Beispiel 1	74
C.6.2	Beispiel 2	75
C.6.3	Beispiel 3	75
C.6.4	Beispiel 4	75
C.7	Weitere Berechnungsbeispiele	76
C.7.1	Beispiel 1	76
C.7.2	Beispiel 2	77
C.7.3	Beispiel 3	79
C.7.4	Beispiel 4	81
Anhang D (informativ)	Beispiele zur Berechnung der Feststellbremse	83
D.1	Beispiele zur Berechnung der Feststellbremse für Handbremsausrüstung, die auf den Klotz wirkt	83
D.1.1	Allgemeines	83
D.1.2	Am Zylinderausgang verfügbare Kraft	83
D.1.3	Klotzkraft	83
D.1.4	Festhaltenskraft Radsatz	84
D.2	Beispiele für die Berechnungen der Handbremsausrüstung, die auf die Bremsscheibe wirkt	84
D.2.1	Allgemeines	84
D.2.2	Am Zylinderausgang verfügbare Kraft	84
D.2.3	Kraft die von jedem Zylinder erzeugt wird	84
D.2.4	Belaganpresskraft am Zylinder	85
D.2.5	Handbremskraft, die auf den Radsatz ausgeübt wird	85
D.3	Bremszylinderausrüstung, die auf eine Bremsscheibe wirkt	86
D.3.1	Allgemeines	86
D.3.2	Belaganpresskraft	86
D.3.3	Handbremskraft je Bremsscheibe	86
D.3.4	Handbremskraft, ausgeübt auf den Radsatz	87
D.4	Klotzbremseinheit, die auf die Radreifen wirkt	87
D.4.1	Allgemeines	87
D.4.2	Handbremskraft, ausgeübt auf den Radsatz	87
D.5	Permanent magnetische Schienenbremsausrüstung	87
D.5.1	Allgemeines	87
D.5.2	Handbremskraft, ausgeübt auf das Drehgestell	88
D.6	Externe Kräfte und abschließende Ergebnisse	88
D.6.1	Allgemeines	88
D.6.2	Beispiel eines zweiachsigen Güterwagens, der nur auf einem Drehgestell gebremst wird mit einer Handbremsausrüstung, die auf den Klotz wirkt	88
D.6.3	Beispiel eines zweiachsigen Güterwagens, der nur auf einem Drehgestell gebremst wird mit einer Handbremsausrüstung, die auf die Bremsscheibe wirkt	89
D.6.4	Beispiel eines zweiachsigen Güterwagens, der mit einer Zylinderbremsausrüstung ausgestattet ist und auf die Bremsscheibe wirkt	89
D.6.5	Beispiel einer Zylinderbremsausrüstung, die auf die Lauffläche wirkt	90
Anhang ZA (informativ)	Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der Richtlinie 96/48/EG des Rates vom 23. Juli 1996 über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems	91
Anhang ZB (informativ)	Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der Richtlinie 2001/16/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. März 2001 über die Interoperabilität des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems	92
Literaturhinweise		93

Vorwort

Dieses Dokument (EN 14531-1:2005) 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 Oktober 2005, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Oktober 2005 zurückgezogen werden.

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 96/48 und 2001/16.

Zum Zusammenhang mit EG-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA und ZB die Bestandteil dieses Dokumentes ist.

Diese Norm ist Bestandteil der nachfolgend aufgeführten Normenreihe.

EN 14531, „*Bahnanwendungen — Verfahren zur Berechnung der Anhalte- und Verzögerungsbremswege und der Feststellbremsung*“

- Teil 1: Grundlagen
- Teil 2: Anwendung für einen einzelnen Güterwagen
- Teil 3: Anwendung für den Nahverkehr (Straßenbahnen und Diesel- und Elektrotriebwagen)
- Teil 4: Anwendung für einen einzelnen Reisezugwagen
- Teil 5: Anwendung für Lokomotiven
- Teil 6: Anwendung für Hochgeschwindigkeitszüge

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

Einleitung

Ziel dieser Europäischen Norm ist, der Schienenfahrzeugindustrie und den Betreibern ein gemeinsames Berechnungsverfahren zur Verfügung zu stellen.

Sie beschreibt die grundlegenden Verfahren und Berechnungen zur Auslegung und Konstruktion der Bremsausrüstung für Schienenfahrzeuge.

Diese Europäische Norm wird als technisches Dokument betrachtet, das die physikalische Grundlage für Bremsberechnungen zur Verfügung stellt. Es trägt dazu bei, die Anforderungen des UIC-Merkblatts 544-1 zu verstehen und zu vervollständigen.

Vorrangig werden in dieser Europäischen Norm Beispiele für die Anwendung auf Güterwagen gegeben. Es ist jedoch auf alle Fahrzeugtypen übertragbar. Nötigenfalls werden zusätzliche Anwendungsbeispiele als getrennte Teile dieser Norm ausgeführt.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm beschreibt ein allgemeines Berechnungsverfahren, das für alle Fahrzeugtypen gilt. Es ermöglicht die Berechnung der verschiedenen leistungsbezogenen Aspekte: Anhalte- oder Verzögerungswege, umgewandelte Energie, Berechnungen von Kräften, Feststellbremsungen.

Typische Berechnungsbeispiele für Güterwagen, Reisezugwagen und Lokomotiven werden in den Teilen 2 bis 6 dieser Normenreihe behandelt.

ANMERKUNG Diese Europäische Norm beschreibt nicht die Leistungsanforderungen, die in den verschiedenen in Abschnitt 2 angegebenen Normen angegeben sind.

Diese Europäische Norm ermöglicht den Nachweis, dass die Auslegung und Konstruktion die für das jeweilige Schienenfahrzeug spezifischen Anforderungen berücksichtigt.

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 13452-1:2003, *Bahnanwendungen — Bremsen — Bremssysteme des öffentlichen Nahverkehrs — Teil 1: Anforderungen an das Leistungsvermögen*

EN 13452-2:2003, *Bahnanwendungen — Bremsen; Bremssysteme des öffentlichen Nahverkehrs — Teil 2: Prüfverfahren*

EN 14198:2004, *Bahnanwendungen — Bremsen — Anforderungen für die Bremsausrüstung lokbespannter Züge*

EN 14478, *Bahnanwendungen — Bremsen — Allgemeines Vokabular*

3 Begriffe, Formelzeichen und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 13452-1:2004, EN 14198:2004 und EN 14478:2004.

ANMERKUNG Im Falle, dass zwischen den im vorliegenden Europäischen Norm und EN 14478 enthaltenen Definitionen mangelnde Übereinstimmung besteht, haben die in EN 14478 enthaltenen Vorrang gegenüber dieser Europäischen Norm.

3.2 Formelzeichen und Indizes

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die folgenden Formelzeichen in Tabelle 1 und Indizes nach Tabelle 2.

ANMERKUNG Weitere Formelzeichen sind in den entsprechenden Abschnitten definiert.

Tabelle 1 — Formelzeichen

Formelzeichen	Erläuterung	Einheit
A	Fläche	m^2
a	Verzögerung	m/s^2
B	Bremsgewicht (siehe UIC 544-1)	kg
D	Raddurchmesser	m
d	Durchmesser	m
F	Kraft	N
F_B	Verzögerungskraft	N
F_g	Hangabtriebskraft	N
f_0	Verfügbarer Kraftschlusswert	—
g	Erdbeschleunigung	m/s^2
i	Gestängeübersetzung	—
I	Massenträgheitsmoment	kg m^2
m	Masse	kg
n	Anzahl	—
P	Leistung	W
p	Druck	Pa
R	Radradius	m
r	Radius	m
s	Weg	m
t	Zeit	s
v	Geschwindigkeit	m/s
W	Energie	J
W_s	Energiedichte	—
λ	Bremshundertstel	—
μ	Reibwert	—
η	Wirkungsgrad	—

3.3 Indizes

Tabelle 2 — Allgemeine Indizes

Formelzeichen	Benennung	Einheit
AMG	Haftkraft der Magnetbremse	
a	Radsatz	
BEC	Bremskraft der Wirbelstrombremse	
BED	Elektrodynamische Bremskraft	
BFR	hydrodynamisch	
BMG	Bremskraft der Magnetbremse	
b	Klotz oder Belag	
bog	Drehgestell	
C	Zylinder	
disc	Scheibe	
dyn	dynamisch	
eq	Ersatz	
ext	Extern	
e, 2	End-	
H	Handbremse	
int	Intern	
κ	Koeffizient des Massenzuschlags	
MG	Magnetbremse	
M_unsp	ungefederte Masse	
m	Mittel, mittlere	
max	maximal	
min	minimal	
mot	Trieb	
park	Feststell-	
Ra	Rollwiderstand	
R1	Rückstellfeder	
R2	Regler	
R	Reaktion	
rot	rotatorisch, rotierend	
st	statisch	
tot	gesamt	
tra	Lauf	
tra	Mittelwagen	
veh	Schienenfahrzeug	
w	Rad	
weig	Bewertung	
wind	Wind	
0,1	Eingangs-	

ANMERKUNG In diesem Dokument wird der Radsatz als „Achse“ bezeichnet.

4 Allgemeiner Rechengang

4.1 Berechnungen von Anhalte- und Verzögerungswegen

Der Rechengang ist in Anhang A dargestellt.

Der Inhalt jedes Abschnittes dieser Norm und die dazugehörigen Berechnungen sind in Abschnitt 5 erläutert.

Dieser Rechengang gilt sowohl für Mittelwerte als auch für Momentanwerte, z. B. Kraft oder Verzögerung, die schrittweise integriert werden.

4.2 Berechnung der Feststellbremse

Dieser Rechengang ist in Anhang B dargestellt.

Der Inhalt jedes Abschnittes dieser Norm und die dazugehörigen Berechnungen sind in Abschnitt 6 erläutert.

5 Berechnung der Anhalte- und Verzögerungswege

5.1 Allgemeines

Alle verwendeten Zahlenwerte müssen z. B. durch Versuche, Berechnungen oder Plausibilitätsbetrachtungen bewertet werden, in Übereinstimmung mit den entsprechenden Normen, wie EN 13452-2.

5.2 Allgemeine Merkmale

5.2.1 Zugkonfiguration

Folgende Parameter werden zur Definition von Zugkonfigurationen verwendet:

- Anzahl der Treibradsätze;
- Anzahl der Laufradsätze;
- Anzahl der gebremsten Radsätze je Bremskonfiguration.

In den Fällen einzelner Güterwagen, Reisezugwagen oder Lokomotiven ist der Begriff Zug auf den einzelnen Güterwagen, den Reisezugwagen oder die Lokomotive beschränkt.

Bremskonfiguration bedeutet die Zusammenfassung der Geräte, die Bremskraft erzeugen.

An einem Güter- oder Reisezugwagen enthält die Reibungsbremse beispielsweise alle Komponenten vom Steuerventil bis hin zum Rad-Schiene-Kontakt.

Jede Bremskonfiguration ist einzeln zu berechnen und alle Radsätze gleicher Bremskonfiguration sind jeweils einem Typ zuzuordnen.

ANMERKUNG 1 Wenn verschiedene Bremskonfigurationen vorhanden sind, sollte jede gekennzeichnet werden (beispielsweise durch Nummerierung: Typ 1, Typ 2 usw.)

Wenn die gleiche Bremsausrüstung in einem Teil des Zuges unter bestimmten Bedingungen und in einem anderen Teil unter anderen Bedingungen verwendet wird, müssen zwei verschiedene Bremskonfigurationen berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 2 Bei anderen Bedingungen kann es sich beispielsweise um verschiedene Bremszylinderdrucke handeln.

Die beiden Bremskonfigurationen werden getrennt beschrieben und berechnet.

Die gesamte Radsatzanzahl ist die Summe der gebremsten und ungebremsten Radsätze.

5.2.2 Fahrzeug- und Zugmerkmale

5.2.2.1 Fahrzeugmasse je Radsatz, Gesamtmasse

Die Fahrzeugmasse je Radsatz ist im stationären Zustand durch Wägung ermittelte Masse je Radsatz.

Die Gesamtmasse des Zuges ist die Summe aller Fahrzeugmassen je Radsatz und beinhaltet alle Gesamtmassen.

Die Fahrzeugmasse je Radsatz ist die Gesamtmasse des Zuges geteilt durch die Anzahl der Radsätze, wenn die Gesamtmasse gleichmäßig auf alle Radsätze verteilt ist. Sie wird in der Einheit Tonnen (t) angegeben.

Wenn verschiedene Bremskonfigurationen vorhanden sind, ist die Fahrzeugmasse je Radsatz für jede Bremskonfiguration anzugeben.

ANMERKUNG Wenn der Zug mit verschiedenen Radtypen ausgerüstet ist entsprechend der Definition von „Bremsausrüstung“, wird empfohlen, dass jeder Radtyp als eigene Bremskonfiguration betrachtet wird.

5.2.2.2 Trägheitsmoment je Radsatz, Trägheitsmoment

5.2.2.2.1 Allgemeines

Das Trägheitsmoment wird in EN 14478 definiert.

Es kann berechnet oder auf der Basis von Erfahrungswerten abgeschätzt werden.

Für den einzelnen Güter- oder Reisezugwagen kann das Trägheitsmoment in erster Näherung unberücksichtigt bleiben, wenn gleichzeitig der Rollwiderstand vernachlässigt wird.

ANMERKUNG Wenn der Zug mit verschiedenen Radtypen ausgerüstet ist entsprechend der Definition von „Bremsausrüstung“, wird empfohlen, dass jeder Radtyp als eigene Bremskonfiguration betrachtet wird.

5.2.2.2.2 Beispiel für eine Überschlagsrechnung

Im Falle einer Bremsscheibe wird in erster Näherung die Scheibe als ein einzelner Ring betrachtet, dessen Masse auf dem Bremsradius konzentriert ist.

Im Falle eines Rades wird in erster Näherung das Rad als ein einzelner Ring betrachtet, dessen Masse auf dem Durchmesser konzentriert ist, der dem Verschleißgrenzmaß entspricht.

5.2.2.2.3 Typische Werte

In einigen Fällen wird das Trägheitsmoment durch einen Zuschlag auf die Fahrzeugmasse je Radsatz angegeben.

Dieser Koeffizient κ berechnet sich zu:

$$\kappa = \frac{M_{\text{st}} + M_{\text{rot}}}{M_{\text{st}}} \quad (1)$$

Dabei ist

κ der Koeffizient des Massenzuschlags;

M_{st} die statische Masse je Radsatz, in Tonnen;

M_{rot} das Trägheitsmoment, in Tonnen.

Die Abhängigkeit des Koeffizienten des Massenzuschlags vom Beladungszustand wird nachfolgend am Beispiel des Güterwagens verdeutlicht. Die beiden Fälle leerer Wagen (5 t oder 6 t/Radsatz) und beladener Wagen (etwa 20 t/Radsatz) werden betrachtet:

BEISPIEL 1 Für nicht angetriebenen Radsatz/Laufradsatz mit Ø 920 mm Rad, halb abgenutzt ohne Bremsscheibe ergibt sich Folgendes:

- leer: $\kappa = 1,06$
- beladen: $\kappa = 1,02$

BEISPIEL 2 Für nicht angetriebenen Radsatz/Laufradsatz mit Ø 1 000 mm Rad, halb abgenutzt ohne Bremsscheibe ergibt sich Folgendes:

- leer: $\kappa = 1,07$
- beladen: $\kappa = 1,02$

BEISPIEL 3 Für nicht angetriebenen Radsatz/Laufradsatz mit Ø 850 mm Rad, halb abgenutzt ohne Bremsscheibe ergibt sich Folgendes:

- leer: $\kappa = 1,05$
- beladen: $\kappa = 1,02$

5.2.2.3 Raddurchmesser

Der Raddurchmesser wird in der Messkreisebene gemessen.

Der der Berechnung zu Grunde zu legende Raddurchmesser muss der des neuen Rades sein, wenn nicht anders festgelegt. Dieser Wert ergibt die geringste Verzögerung bei der Verwendung für Scheibenbremsen.

ANMERKUNG Wenn der Zug mit verschiedenen Radtypen ausgerüstet ist entsprechend der Definition von „Bremsausrüstung“ wird empfohlen, dass jeder Radtyp als eigene Bremskonfiguration betrachtet wird.

5.2.2.4 Laufwiderstand

Der Laufwiderstand ist die Bremskraft, die durch den Rad-Schiene-Kontakt und die Fahrzeug- und Zugstruktur vorgegeben wird.

Wenn nicht anderweitig festgelegt, wird der Luftwiderstand nicht berücksichtigt.

Der Wert des Laufwiderstands kann in Analogie zu bestehenden Fahrzeugen übernommen oder durch Berechnung ermittelt werden.

Wenn die Werte auf Versuchsergebnissen beruhen, müssen die Prüfbedingungen den zu erwartenden Betriebsbedingungen ähneln.

ANMERKUNG 1 In erster Näherung kann der Laufwiderstand für einzelne Güter- oder Reisezugwagen vernachlässigt werden, wenn gleichzeitig das Trägheitsmoment nicht berücksichtigt wird.

Der Laufwiderstand wird durch eine Formel ausgedrückt, die folgende Terme enthält:

- einen geschwindigkeitsunabhängigen Term;
- einen geschwindigkeitsproportionalen Term, der die mechanischen Bauteile betrifft (Rad-Schiene-Kontakt);
- einen dem Quadrat der Geschwindigkeit proportionalen Term (Luftwiderstand).

Entsprechend der vorstehenden Definition lauten die anzuwendenden mathematischen Gleichungen wie folgt:

- a) Berechnung des geschwindigkeitsabhängigen momentanen Laufwiderstands F_{Ra} in Newton (N), unter Verwendung der folgenden Gleichung:

$$F_{Ra} = A + B \times V + C \times v^2 \quad (2)$$

Dabei ist

- v die momentane Fahrzeuggeschwindigkeit, in m/s;
- A der fahrzeugspezifische Beiwert, in N;
- B der fahrzeugspezifische Beiwert, in N/(m/s);
- C der fahrzeugspezifische Beiwert, in N/(m/s)².

ANMERKUNG 2 Die Geschwindigkeit kann in km/h und der Laufwiderstand in [daN] oder [kN] ausgedrückt werden. In diesem Falle werden A , B , C in [daN], [daN/(km/h)], [daN/(km/h)²] oder [kN], [kN/(km/h)], [kN/(km/h)²] ausgedrückt.

ANMERKUNG 3 Die Werte für A , B und C können durch die Anwendung der in EN 14067-2 enthaltenen Prüfverfahren ermittelt werden.

- b) Berechnung des durchschnittlichen Laufwiderstands als Funktion der Anfangsgeschwindigkeit, $F_{Ra, m}$ in N unter Verwendung der folgenden Gleichung:

— Mittlerer Laufwiderstand bei einer Haltebremsung:

$$F_{Ra, m} = A + \frac{2}{3} \times B \times v_0 + \frac{1}{2} \times C \times v_0^2 \quad (3)$$

Dabei ist

- v_0 die Bremsanfangsgeschwindigkeit, in m/s;
- A , B , C die Beiwerte wie in Gleichung (2).

ANMERKUNG 4 Die Geschwindigkeit kann in km/h und der Laufwiderstand in [daN] oder [kN] ausgedrückt werden. In diesem Falle werden A , B , C in [daN], [daN/(km/h)], [daN/(km/h)²] oder [kN], [kN/(km/h)], [kN/(km/h)²] ausgedrückt.

— Mittlerer Laufwiderstand bei einer Verzögerungsbremsung:

$$F_{Ra, m} = A + \frac{2}{3} \times B \times \frac{v_0^2 + v_0 \times v_e + v_e^2}{v_0 + v_e} + \frac{1}{2} \times C \times (v_0^2 + v_e^2) \quad (4)$$

Dabei ist

- v_0 die momentane Fahrzeuggeschwindigkeit, in m/s;
- v_e die Endgeschwindigkeit, in m/s;
- A , B , C die Beiwerte wie in Gleichung (2)

ANMERKUNG 5 Die Geschwindigkeit kann in km/h und der Laufwiderstand in [daN] oder [kN] ausgedrückt werden. In diesem Falle werden A , B , C in [daN], [daN/(km/h)], [daN/(km/h)²] oder [kN], [kN/(km/h)], [kN/(km/h)²] ausgedrückt.

ANMERKUNG 6 Beispiele für die Berechnungen für Drehgestell-Güterwagen sind in C.1 enthalten.

5.3 Bremsmerkmale

ANMERKUNG Die folgenden Beispiele verdeutlichen die Anwendung des allgemeinen Berechnungsverfahrens. Für besondere Anwendungsfälle sollte ein Verweis auf die entsprechenden Fahrzeugtypen gemacht werden, die in den nachfolgend aufgeführten Teilen dieser Normenreihe behandelt werden:

- Teil 2: Anwendung für einen einzelnen Güterwagen;
- Teil 3: Anwendung für den Nahverkehr (Straßenbahnen und Diesel- und Elektrotriebwagen);
- Teil 4: Anwendung für einen einzelnen Reisezugwagen;
- Teil 5: Anwendung für Lokomotiven;
- Teil 6: Anwendung für Hochgeschwindigkeitszüge.

5.3.1 Merkmale einer Klotz- oder Scheibenbremse

5.3.1.1 Unveränderliche Merkmale einer Klotzbremsausrüstung

5.3.1.1.1 Allgemeine Merkmale

Die Systemeigenschaften ergeben sich aus dem Zusammenwirken aller Einzelteile einer Bremsanlage, die ein Gestänge aufweist.

Eine Klotzbremseinheit ist wie eine Scheibenbremse zu behandeln.

ANMERKUNG “Unveränderlich” bedeutet „wird während der Berechnung nicht verändert“.

Die Merkmale einer herkömmlichen Klotzbremsausrüstung sind in Tabelle 3 beschrieben.

Tabelle 3 — Merkmale einer herkömmlichen Klotzbremsausrüstung

Charakteristische Merkmale	Fußnote	Formelzeichen	Einheit
a) Bremszylinderdruck	a	p_C	[bar]
— leer			[bar]
— beladen			[bar]
b) Zylinderfläche		A_C	[cm ²]
c) Zylinderwirkungsgrad		η_C	[-]
d) Gesamtübersetzung nach dem Zylinder		i_C	[-]
— leer	b		[-]
— beladen			[-]
e) Bremsgestänge – Rückzugfeder		F_{R1}	[N]
f) Gestängeübersetzung hinter der Rückzugfeder		i_{R1}	[-]

Tabelle 3 (fortgesetzt)

Charakteristische Merkmale	Fußnote	Formelzeichen	Einheit
g) Gestängesteller Gegenkraft	c	F_{R2}	[N]
h) Gesamtübersetzung nach dem Gestängesteller		i_{R2}	[-]
i) Gestängewirkungsgrad, dynamisch		η_{dyn}	[-]
j) Typ und Reibfläche des Klotzes		A_b	[m²]
k) Anzahl Klötze je Rad		$n_{b,w}$	[-]
a Kann eine kontinuierlich veränderliche Funktion der Statischen Radsatzfahrmasse sein. b In vielen Fällen befindet sie sich innerhalb des Zylinders. In diesen Fällen ist die Übersetzung von d) = Übersetzung von f). c Üblicherweise beträgt die Übersetzung hinter dem Gestängesteller für das Bremsgestänge eines 4-achsigen Waggons (2 Drehgestelle) 8, wenn jedes Rad beidseitig von Bremsklötzen gebremst wird.			

Die in 5.3.1.1.2 bis 5.3.1.1.4 enthaltenen Beispiele beschreiben die verschiedenen Typen von Gestängeanordnungen und unterstützen die Berechnung.

5.3.1.1.2 Herkömmlicher 2-achsiger Güterwagen mit mechanischer leer-beladen-Umstellvorrichtung.

Ein herkömmlicher 2-achsiger Güterwagen mit mechanischer leer-beladen-Umstellvorrichtung ist in Bild 1 sowie in Tabelle 4 beschrieben.

Maße in Millimeter

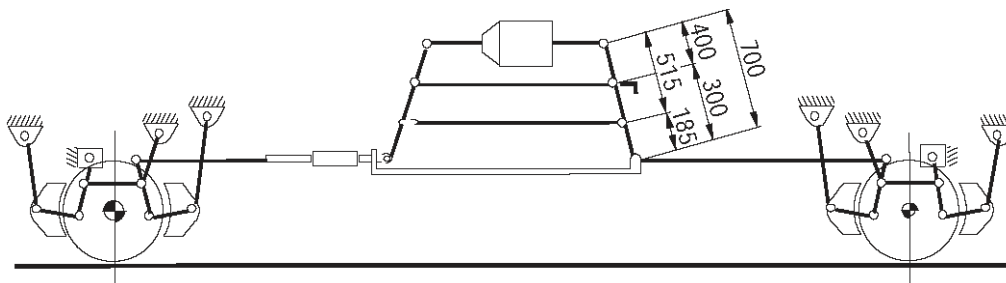


Bild 1 — Herkömmlicher 2-achsiger Güterwagen mit mechanischer leer-beladen-Umstellvorrichtung

Tabelle 4 — Herkömmlicher 2-achsiger Güterwagen mit mechanischer leer-beladen-Umstellvorrichtung

Charakteristische Merkmale	Formelzeichen	Einheit	Wert
a) Bremszylinderdruck	p_C		
— leer		[bar]	= 3,8
— beladen		[bar]	= 3,8
b) Zylinderfläche	A_C	[cm ²]	= 706,9
c) Zylinderwirkungsgrad	η_C	[-]	= 1
d) Gesamtübersetzung nach dem Zylinder	i_C		
— leer		[-]	= $(a/b) \times 4 = 5,33$
— beladen		[-]	= $(c/d) \times 4 = 11,135$
e) Bremsgestänge – Rückzugfeder	F_{R1}	[N]	= 1 500
f) Gestängeübersetzung hinter der Rückzugfeder	i_{R1}	[-]	= gleiche Werte wie d)
g) Gestängesteller Gegenkraft	F_{R2}	[N]	= 2 000
h) Gesamtübersetzung nach Gestängesteller	i_{R2}	[-]	= 4
i) Gestängewirkungsgrad, dynamisch	η_{dyn}	[-]	= 0,83
j) Reibfläche des Klotzes	A_b	[m ²]	0,027 2
k) Anzahl Klötze je Rad	$n_{b,w}$	[-]	= 2

5.3.1.1.3 Herkömmlicher 2-achsiger Güterwagen mit pneumatischer leer-beladen-Umstellvorrichtung

Ein herkömmlicher 2-achsiger Güterwagen mit pneumatischer leer-beladen-Umstellvorrichtung ist in Bild 2 sowie in Tabelle 5 beschrieben.

Maße in Millimeter

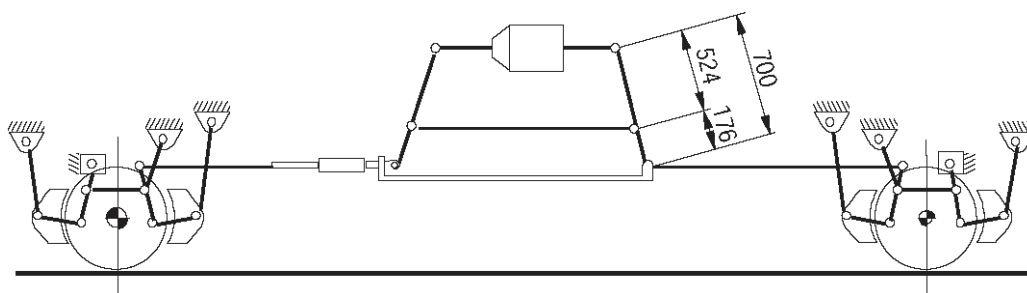


Bild 2 — Herkömmlicher 2-achsiger Güterwagen mit pneumatischer leer-beladen-Umstellvorrichtung

Tabelle 5 — Herkömmlicher 2-achsiger Güterwagen mit pneumatischer leer-beladen-Umstellvorrichtung

Charakteristische Merkmale	Formelzeichen	Einheit	Wert
a) Bremszylinderdruck	p_c	[bar]	
— leer		[bar]	= 1,75
— beladen		[bar]	= 3,8
b) Zylinderfläche	A_c	[cm ²]	= 706,9
c) Zylinderwirkungsgrad	η_c	[-]	= 1
d) Gesamtübersetzung nach dem Zylinder	i_c	[-]	= $(a/b) \times 4 = 11,91$
e) Bremsgestänge – Rückzugfeder	F_{R1}	[N]	= 1 500
f) Gestängeübersetzung hinter der Rückzugfeder	i_{R1}	[-]	= 11,91
g) Gestängesteller Gegenkraft	F_{R2}	[N]	= 2 000
h) Gesamtübersetzung nach dem Gestängesteller	i_{R2}	[-]	= 4
i) Gestängewirkungsgrad, dynamisch	η_{dyn}	[-]	= 0,83
j) Reibfläche des Klotzes	A_b	[m ²]	0,027 2
k) Anzahl Klötze je Rad	$n_{b,w}$	[-]	= 2

5.3.1.1.4 Herkömmlicher Drehgestell-Güterwagen mit pneumatischer leer-beladen-Umstellvorrichtung

Ein herkömmlicher Drehgestell-Güterwagen mit pneumatischer leer-beladen-Umstellvorrichtung ist in Bild 3 und Tabelle 6 beschrieben.

Maße in Millimeter

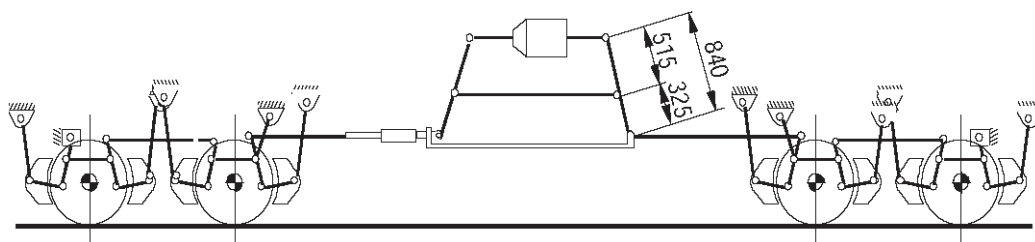


Bild 3 — Herkömmlicher Drehgestell-Güterwagen mit pneumatischer leer-beladen-Umstellvorrichtung

Tabelle 6 — Herkömmlicher Drehgestell-Güterwagen mit pneumatischer leer-beladen-Umstellvorrichtung

Charakteristische Merkmale	Formelzeichen	Einheit	Wert
a) Bremszylinderdruck	p_c	[bar]	
— leer		[bar]	= 1,27
— beladen		[bar]	= 3,8
b) Zylinderfläche	A_c	[cm ²]	= 1 295,0
c) Zylinderwirkungsgrad	η_c	[-]	= 1
d) Gesamtübersetzung nach dem Zylinder	i_c	[-]	= $(a/b) \times 8 = 12,68$
e) Bremsgestänge – Rückzugfeder	F_{R1}	[N]	= 1 500
f) Gestängeübersetzung hinter der Rückzugfeder	i_{R1}	[-]	= 12,68
g) Gestängesteller Gegenkraft	F_{R2}	[N]	= 2 000
h) Gesamtübersetzung nach dem Gestängesteller	i_{R2}	[-]	= 8
i) Gestängewirkungsgrad, dynamisch	η_{dyn}	[-]	= 0,83
j) Reibfläche des Klotzes	A_b	[m ²]	= 0,042 5
k) Anzahl Klötze je Rad	$n_{b,w}$	[-]	= 2

5.3.1.2 Unveränderliche Merkmale einer Scheibenbremsausrüstung

5.3.1.2.1 Allgemeine Merkmale

Die Systemeigenschaften ergeben sich aus dem Zusammenwirken aller Einzelteile, die zur Bremskraft beitragen.

Im Allgemeinen können Klotzbremssysteme, die Bremszylinder verwenden, ähnlich beschrieben werden.

ANMERKUNG „Unveränderlich“ bedeutet „wird während der Berechnung nicht verändert“.

Die Merkmale einer herkömmlichen Scheibenbremsausrüstung sind in Tabelle 7 beschrieben.

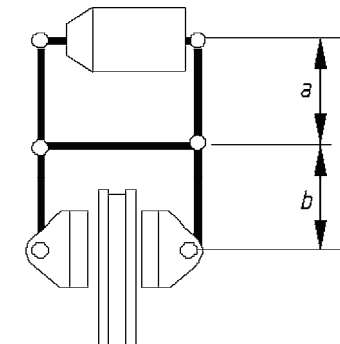
Tabelle 7 — Merkmale einer herkömmlichen Scheibenbremsausrüstung

Charakteristische Merkmale	Formelzeichen	Einheit
a) Bremszylinderdruck ^a	p_C	[bar]
— leer		[bar]
— beladen		[bar]
b) Zylinderfläche	A_C	[cm ²]
c) Zylinderwirkungsgrad	η_C	[-]
d) Bremsgestänge – Rückzugfeder	F_{R1}	[N]
e) Gestängesteller Gegenkraft ^b	F_{R2}	[N]
f) Bremszylinderkraft ^c	F_C	[N]
g) Gestängewirkungsgrad, dynamisch	η_{dyn}	[-]
h) Gestängeübersetzung	i_C	[-]
i) Typ und Belagfläche je Reibfläche	A_b	[m ²]
j) Bremsradius	r_s	[m]
k) Überstrichene Fläche (2 Reibflächen)	A_s	[m ²]
l) Anzahl Scheiben je Zylinder	$n_{disc,C}$	[-]
m) Anzahl Reibflächen je Bremsscheibe	n_s	[-]
n) Anzahl Zylinder je Radsatz	$n_{C,a}$	[-]
o) Anzahl Beläge je Zylinder	$n_{b,C}$	[-]
^a Kann eine kontinuierlich veränderte Funktion der statischen Radsatzfahrmasse sein. ^b Im Allgemeinen in d) enthalten ^c Im Falle eines herkömmlichen Druckluftzylinders wird diese aus den Daten von a), b), c), d), e) berechnet oder sie wird vom Hersteller als Funktion des Bremszylinderdrucks angegeben.		

5.3.1.2.2 Scheibengebremstes Fahrzeug mit einem Zylinder je Bremsscheibe

Ein scheibengebremstes Fahrzeug mit einem Zylinder je Bremsscheibe ist in Bild 4 sowie in Tabelle 8 beschrieben.

Maße in Millimeter



Die Gestängeübersetzung ist: $i_c = 2 \times \frac{a}{b}$

Bild 4 — Scheibengebremstes Fahrzeug mit einem Zylinder je Bremsscheibe

Tabelle 8 — Scheibengebremstes Fahrzeug mit einem Zylinder je Bremsscheibe

Charakteristische Merkmale	Formelzeichen	Einheit	Wert
a) Bremszylinderdruck	p_c	[bar]	
Im Allgemeinen wird bei diesen Anwendungen der Druck abhängig von der statischen Radsatzfahrmasse kontinuierlich verändert.			
b) Zylinderfläche	A_c	[cm ²]	= 510,7
c) Zylinderwirkungsgrad	η_c	[-]	= 0,97
d) Bremsgestänge – Rückzugfeder	F_{R1}	[N]	= 1500
e) Gestängesteller Gegenkraft	F_{R2}	[N]	= 0
f) Bremszylinderkraft	F_c	[N]	= <i>muss berechnet werden</i>
g) Gestängewirkungsgrad, dynamisch	η_{dyn}	[-]	= 0,95
h) Gestängeübersetzung	i_c	[-]	= 2 (wobei $a = b$)
i) Typ und Belagfläche je Reibfläche	A_b	[m ²]	= 0,017 5 × 2
j) Bremsradius	r_s	[m]	= 0,235
k) Überstrichene Fläche	A_s	[m ²]	= $2 \times \pi \times (0,560^2 - 0,366^2)/4 = 0,282$
l) Anzahl Scheiben je Zylinder	$n_{disc,C}$	[-]	= 1
m) Anzahl Reibfläche je Scheibe	n_s	[-]	= 2
n) Anzahl Zylinder je Radsatz	$n_{C,a}$	[-]	= 2
o) Anzahl Beläge je Zylinder	$n_{b,C}$	[-]	= $n_{disc,C} \times n_s = 1 \times 2 = 2$

5.3.1.2.3 Scheibengebremster Güterwagen mit einem Zylinder für zwei Brems­scheiben.

Ein scheibengebremster Güterwagen mit einem Zylinder für zwei Brems­scheiben ist in Bild 5 sowie Tabelle 9 beschrieben.

Maße in Millimeter

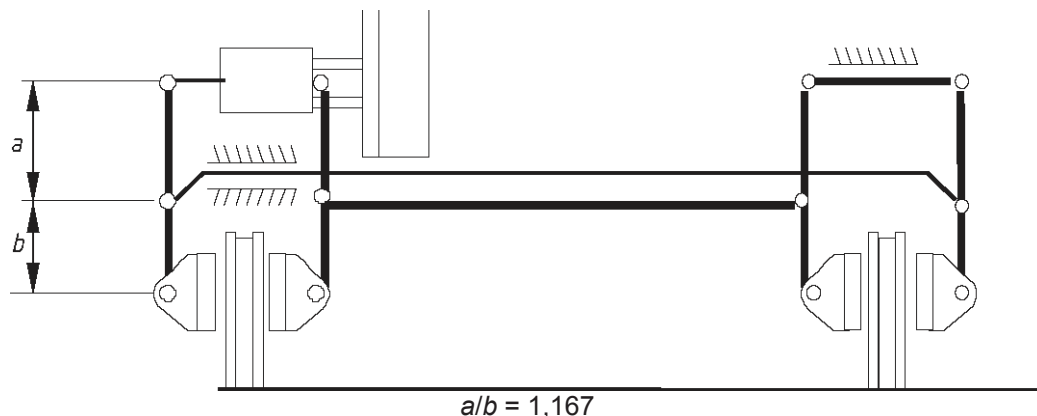


Bild 5 — Scheibengebremster Güterwagen mit einem Zylinder für zwei Brems­scheiben

Tabelle 9 — Scheibengebremster Güterwagen mit einem Zylinder für zwei Brems­scheiben

Charakteristische Merkmale	Formelzeichen	Einheit	Wert
a) Bremszylinderdruck ^a	p_C	[bar]	
b) Zylinderfläche	A_C	[cm ²]	= 510,7
c) Zylinderwirkungsgrad	η_C	[-]	= 0,97
d) Bremsgestänge – Rückzugfeder	F_{R1}	[N]	= 1500
e) Gestängesteller Gegenkraft ^b	F_{R2}	[N]	= 0
f) Bremszylinderkraft ^c	F_C	[N]	= muss aus a), b), c) d) und e) berechnet werden
g) Gestängewirkungsgrad, dynamisch	η_{dyn}	[-]	= 0,90
h) Gestängeübersetzung	i_C	[-]	= $4 \times a/b = 4,668$
i) Typ und Belagfläche je Reibfläche	A_b	[m ²]	= $0,0175 \times 2$
j) Bremsradius	r_s	[m]	= 0,244
k) Überstrichene Fläche	A_s	[m ²]	= $\frac{2 \times \pi}{0,366^2} \times (0,560^2 - 0,366^2)/4 = 0,282$ —
l) Anzahl Scheiben je Zylinder	$n_{disc,C}$	[-]	= 2
m) Anzahl Reibfläche je Scheibe	n_s	[-]	= 2
n) Anzahl Zylinder je Radsatz	$n_{C,a}$	[-]	= 1
o) Anzahl Beläge je Zylinder	$n_{b,C}$	[-]	= $n_{disc,C} \times n_s = 2 \times 2 = 4$
^a Kann eine kontinuierlich veränderte Funktion der statischen Radsatzfahrmasse sein. ^b Im Allgemeinen in d) enthalten ^c Im Falle eines herkömmlichen Druckluftzylinders wird diese aus den Daten von a), b), c), d), e) berechnet oder sie wird vom Hersteller als Funktion des Bremszylinderdrucks angegeben.			

5.3.1.2.4 Klotzgebremster Güterwagen mit (Einzel-) Zylindern

Ein klotzgebremster Güterwagen mit (Einzel-) Zylindern ist in Bild 6 sowie Tabelle 10 enthalten.

Maße in Millimeter



Bild 6 — Klotzgebremster Güterwagen mit (Einzel-) Zylindern

Tabelle 10 — Klotzgebremster Güterwagen mit (Einzel-) Zylindern

Charakteristische Merkmale	Formelzeichen	Einheit	Wert
a) Bremszylinderdruck ^a	p_C	[bar]	
b) Zylinderfläche	A_C	[cm ²]	= 510,7
c) Zylinderwirkungsgrad	η_C	[-]	= 0,97
d) Bremsgestänge – Rückzugfeder	F_{R1}	[N]	= 1500
e) Gestängesteller Gegenkraft ^b	F_{R2}	[N]	= 0
f) Bremszylinderkraft ^c	F_C	[N]	<i>muss aus a), b), c), d) und e) berechnet werden</i>
g) Gestängewirkungsgrad, dynamisch	η_{dyn}	[-]	= (4)
h) Gestängeübersetzung	i_C	[-]	= (5)
i) Typ und Reibfläche des Klotzes	A_b	[m ²]	= $Bg = > 0,320 \times 0,085$
j) Anzahl Zylinder je Radsatz ^d	$n_{C,a}$	[-]	= 2
k) Anzahl der Bremsklötze je Zylinder ^e	$n_{b,C}$	[-]	= 1
^a Kann eine kontinuierlich veränderte Funktion der statischen Radsatzfahrmasse sein. ^b Im Allgemeinen in d) enthalten. ^c Im Falle eines herkömmlichen Druckluftzylinders wird diese aus den Daten von a), b), c), d), e) berechnet oder sie wird vom Hersteller als Funktion des Bremszylinderdrucks angegeben. ^d Üblicherweise wird ein Zylinder je Klotz verwendet. Der Wirkungskreis ist in c) enthalten. ^e Üblicherweise sind die Bauteile der Gestänge eingebaut, so dass sich eine Übersetzung von 1 ergibt.			

5.3.1.3 Wiegeeinrichtung, die auf den Bremszylinderdruck oder die Gestängeübersetzung wirkt

Der Bremszylinderdruck der Fahrzeuge kann kontinuierlich an die statische Radsatzfahrmasse angepasst werden.

Dann kann dieser Druck durch eine mathematische Gleichung angegeben werden.

- a) Von der Wiegeeinrichtung gelieferter Druck p_{weig} , in bar unter Anwendung folgender Gleichung:

$$p_{\text{weig}} = f(M_{\text{st}}) \quad (5)$$

Dabei ist

M_{st} die statische Radsatzfahrmasse, in t.

- b) Bremszylinderdruck p_c , in bar, als Funktion des von der Wiegeeinrichtung gelieferten Drucks

$$p_c = f(p_{\text{weig}}) \quad (6)$$

Dabei ist

p_{weig} der von der Wiegeeinrichtung gelieferte Druck, in bar.

- c) Gestängeübersetzung nach dem Zylinder i_c als Funktion des von der Wiegeeinrichtung gelieferten Drucks (dabei wird der Bremszylinderdruck nicht von der Wiegeeinrichtung verändert).

$$i_c = f(p_{\text{weig}}) \quad (7)$$

Dabei ist

p_{weig} der von der Wiegeeinrichtung gelieferte Druck, in bar.

ANMERKUNG 1 In diesem Fall wird der Zylinderdruck durch die Wiegeeinrichtung nicht verändert.

ANMERKUNG 2 Der Steuerdruck am Wiegeventil muss festgelegt werden.

BEISPIEL 1 Vom Wiegeventil gelieferter Druck

$$p_{\text{weig}} = \left[(M_{\text{st}} - M_{\text{unsp}}) \times \frac{g}{n_R} \right] \times i_{\text{int}} \times i_{\text{ext}} \quad (8)$$

Dabei ist

p_{weig} der von der Wiegeeinrichtung gelieferte Druck, in bar;

M_{st} die statische Radsatzfahrmasse, in t;

M_{unsp} die ungedeferte Masse, in t;

(= Summe der Radsatzmassen

+ Summe der Massen der Lagergehäuse

+ Summe der ungedeferten Massen der Radsatzanlenkung)

Diese Definition gilt nur dann, wenn die Wiegeeinrichtung in der Primärfederung eingebaut ist.

g	die Erdbeschleunigung (= 9,81), in m/s ² ;
n_R	die Anzahl der Abstützpunkte der Radsatzfederung;
i_{int}	die charakteristische innere Übersetzung (Verhältnis zwischen Eingangs- und Ausgangssignal);
i_{ext}	die charakteristische äußere Übersetzung (abhängig von den Einbaubedingungen);
$i_{int} \times i_{ext}$	die Eigenschaften der Wiegeeinrichtung in bar/N.

ANMERKUNG 3 Bei einigen Wiegeeinrichtungen wird der Wert üblicherweise durch den Lieferanten festgelegt, entweder durch zeichnerische Darstellung oder besondere Berechnung unter Berücksichtigung des Eingangsgewichts auf die Wiegeeinrichtung.

BEISPIEL 2 Bremszylinderdruck:

$$p_C = a_0 + a_1 \times p_{weig} + a_2 \times p_{weig}^2 \quad (9)$$

mit kleinsten $p_C = p_{C,min} = x$ bar
größten $p_C = p_{C,max} = y$ bar

Üblicherweise erhält man die endgültigen Werte für „ a_0 “, „ a_1 “ und „ a_2 “ aus Prüfstandversuchen.

5.3.1.4 Reibwert

5.3.1.4.1 Allgemeines

Die Reibwerte sind so genau wie möglich zu bestimmen, da bereits kleine Abweichungen beträchtliche Änderungen des Bremswegs bewirken.

Aufgrund dieses wichtigen Einflusses sollte der Klotz- bzw. der Belaghersteller im Versuch ermittelte detaillierte Reibwertcharakteristika zur Verfügung stellen.

ANMERKUNG 1 Im Allgemeinen hängt der Reibwert von vier grundsätzlichen Parametern ab: Momentangeschwindigkeit, Temperatur, Belagdruck und Feuchtigkeit. In manchen Fällen ist es erforderlich, weitere Umgebungseinflüsse zu berücksichtigen (z. B. korrosive Atmosphäre).

Es ist nicht möglich, den Reibwert mit allen vier Parametern gleichzeitig exakt zu bestimmen. Daher werden je Reibbelagmaterial für Klotz oder Belag zwei Materialqualitäten ausgesucht, die als repräsentativ für die Empfindlichkeit der Materialien gelten.

Nachdem ausreichende Erfahrungen über eine spezielle Belagqualität in bestimmten Einsatzspektren vorliegen, ist es möglich einen mittleren Reibwert zu bestimmen, der nur von ein oder zwei Parametern abhängt. Aus praktischen Erwägungen wird in diesen Fällen die Momentangeschwindigkeit durch die Bremsausgangsgeschwindigkeit ersetzt. Dieser Mittelwert sollte der Berechnung des Bremswegs zu Grunde gelegt werden.

ANMERKUNG 2 Der Reibwert von Gusseisen-Bremsklötzen hängt unwesentlich von der Feuchtigkeit ab. Aufgrund der größeren Erfahrung in ihrer Anwendung braucht ihr Reibwert in einer ersten Näherungsrechnung nur in Abhängigkeit von der Bremsausgangsgeschwindigkeit angegeben werden. Wenn eine genauere Berechnung gefordert wird, sollten Bremsausgangsgeschwindigkeit und Belagdruck berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 3 Der Reibwert von Verbundstoffklötzen oder –belägen ist im Allgemeinen feuchtigkeitsabhängig. Wenn sie verhältnismäßig heiß sind, hängt ihr Reibverhalten von der beim Bremsen erreichten Temperatur ab. Jedes Material für Klötze und Beläge weist eine eigene Charakteristik auf und diese werden für die Berechnungen benötigt, sowohl in trockenem als auch in nassem Zustand, wie in UIC 541-3 und 541-4 beschrieben. Soweit möglich, wird empfohlen, dass der Belaghersteller die Eigenschaften als Funktion der umgesetzten Energie zur Verfügung stellt.

ANMERKUNG 4 Der Reibwert von Sinterklötzen oder –belägen ist vom Sintermaterial abhängig. Für die Berechnungen werden die gleichen Angaben wie für Verbundstoffmaterialien benötigt.

5.3.1.4.2 Reibwerte für UIC-Gusseisen-Bremsklötze (Bg, Bgu)

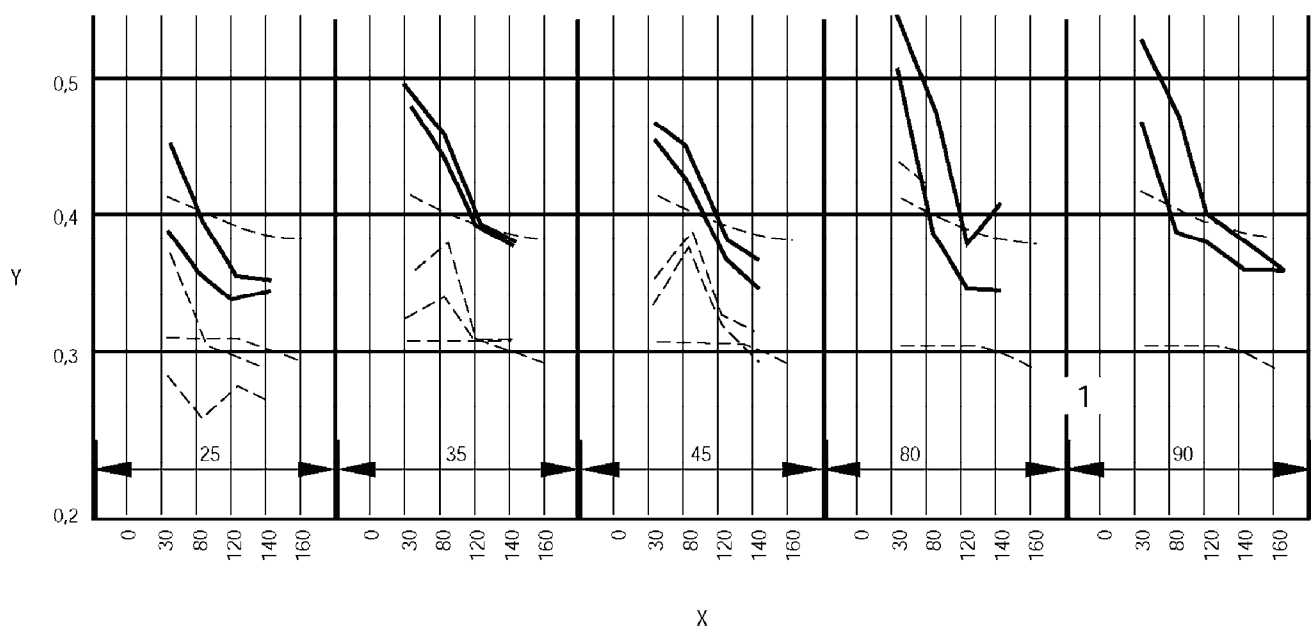
Wenn das UIC-Berechnungsverfahren mit dem „k“-Koeffizienten nicht angewendet wird (siehe UIC 544-1), kann das allgemeine Berechnungsverfahren mit einem mittleren Reibwert, der von der Bremsausgangsgeschwindigkeit und dem Belagdruck abhängt, verwendet werden.

5.3.1.4.3 Reibwert für Verbundstoff- oder Sinterklötze

Wenn nicht anderweitig angegeben, sollte die Bremsleistung unter allen klimatischen Bedingungen sichergestellt werden. Für den Betreiber ist es erforderlich, die Bremswege sowohl unter trockenen als auch unter nassen Bedingungen zu kennen.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass bei Verbundstoff- und Sinterklötzen Abweichungen des Bremswegs auftreten können.

Ein Beispiel der Charakteristika wird in Bild 7 gezeigt, die für Berechnungen benötigt werden.



Legende

- | | | | |
|---|---|-------|-------------------|
| 1 | Klotzkraft je Flächeneinheit (N/cm^2) | ————— | trockener Zustand |
| X | Bremsausgangsgeschwindigkeit (km/h) | | nasser Zustand |
| Y | Reibwert | | |

ANMERKUNG Die Kurven zeigen die kleinsten und größten mittleren Reibwerte, dargestellt, über der Bremsausgangsgeschwindigkeit bis zum Stillstand.

Bild 7 — Typische Eigenschaften eines Verbundstoff- oder Sinterbelags

5.3.2 Charakteristika anderer Bremsausrüstungen

5.3.2.1 Elektrodynamische Bremse

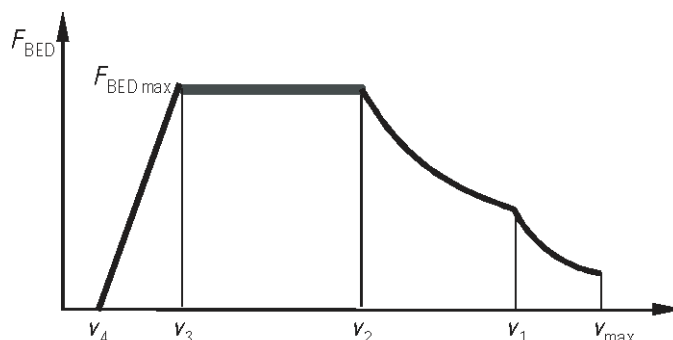


Bild 8 — Charakteristische Kurve für elektrodynamische Bremskraft

Die elektrodynamische Bremskraft kann mit einer charakteristischen Kurve wie in Bild 8 gezeigt beschrieben werden, die sich zusammensetzt aus:

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

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

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

— einem Abschnitt, der von $1/v^2$ abhängt von v_1 nach v_{max} $F_{\text{BED}} = F_{\text{BED,max}} \times \frac{v_2 \times v_1}{v^2}$ (13)

Dabei ist

F_{BED}	die momentane elektrodynamische Bremskraft, in N;
$F_{\text{BED,max}}$	die maximale elektrodynamische Bremskraft, in N; (= Wert der Kraft im konstanten Abschnitt);
v	die momentane Geschwindigkeit, in km/h;
v_1, v_2	die speziellen Geschwindigkeiten, in km/h;
v_{max}	die größte Betriebsgeschwindigkeit, in km/h.

Wenn die Verzögerung des Zuges während des Bremsens annähernd konstant ist, wird der Mittelwert der elektrodynamischen Bremskraft von 0 bis v_0 durch nachfolgende Gleichung angegeben:

Für $v_0 > v_1$

$$F_{\text{BED},m} = F_{\text{BED},\max} \times \left[\frac{2 \times v_1 \times v_2 \times \left(\text{Log} \frac{v_0}{v_1} + 1 \right) - v_2^2 - \frac{1}{3} \times (v_3^2 + v_3 \times v_4 + v_4^2)}{v_0^2} \right] \quad (14)$$

Für $v_1 > v_0 > v_2$

$$F_{\text{BED},m} = F_{\text{BED},\max} \times \left[\frac{2 \times v_0 \times v_2 - v_2^2 - \frac{1}{3} \times (v_3^2 + v_3 \times v_4 + v_4^2)}{v_0^2} \right] \quad (15)$$

Für $v_2 > v_0 > v_3$

$$F_{\text{BED},m} = F_{\text{BED},\max} \times \left[\frac{v_0^2 - \frac{1}{3} \times (v_3^2 + v_3 \times v_4 + v_4^2)}{v_0^2} \right] \quad (16)$$

Für $v_3 > v_0 > v_4$

$$F_{\text{BED},m} = F_{\text{BED},\max} \times \frac{v_0 - v_4}{v_3 - v_4} \times \frac{2 \times v_0^2 - v_0 \times v_4 - v_4^2}{3 \times v_0^2} \quad (17)$$

Dabei ist

- $F_{\text{BED},m}$ die mittlere elektrodynamische Bremskraft, in N;
- $F_{\text{BED},\max}$ die maximale elektrodynamische Bremskraft, in N (= Wert der Kraft im konstanten Abschnitt);
- v_1, v_2 die speziellen Geschwindigkeiten, in km/h;
- v_0 die Bremsausgangsgeschwindigkeit, in km/h.

ANMERKUNG Der letzte Abschnitt der Kurve (abhängig von $1/v^2$) wird bei regenerativer Bremse verwendet, wenn die Spannung begrenzt wird. Wenn dieser Abschnitt nicht angewendet wird, ist die Höchstgeschwindigkeit $v_{\max}$ gleich v_1 .