

DIN EN 14531-1



ICS 45.060.01

Ersatz für
DIN EN 14531-1:2016-05

**Bahnanwendungen –
Verfahren zur Berechnung der Anhalte- und Verzögerungsbremswege und
der Feststellbremsung –
Teil 1: Allgemeine Algorithmen für Einzelfahrzeuge und Fahrzeugverbände
unter Berücksichtigung von Durchschnittswerten;
Deutsche Fassung EN 14531-1:2015+A1:2018**

Railway applications –

Methods for calculation of stopping and slowing distances and immobilization braking –

Part 1: General algorithms utilizing mean value calculation for train sets or single vehicles;

German version EN 14531-1:2015+A1:2018

Applications ferroviaires –

Méthodes de calcul des distances d'arrêt, de ralentissement et d'immobilisation –

Partie 1: Algorithmes généraux utilisant le calcul par la valeur moyenne pour des rames ou des véhicules isolés;

Version allemande EN 14531-1:2015+A1:2018

Gesamtumfang 84 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 14531-1:2015+A1:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

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

Dieses Dokument enthält die Änderung A1, die vom CEN am 5. August 2018 angenommen wurde.

Anfang und Ende der durch die Änderung eingefügten oder geänderten Texte sind jeweils durch Änderungsmarken **A1** **A1** angegeben.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 80000-3	siehe	DIN EN ISO 80000-3
ISO 80000-4	siehe	DIN EN ISO 80000-4

Änderungen

Gegenüber DIN EN 14531-1:2016-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Aktualisierung der normativen Verweisungen;
- b) 4.4.6 „Mittlerer dynamischer Reibwert von Klotz- und Scheibenbremsen“ geändert;
- c) 5.3 „Statischer Reibwert“ geändert;
- d) Aktualisierung der Literaturhinweise;
- e) Anpassung an die derzeit geltenden Gestaltungsregeln.

Frühere Ausgaben

DIN EN 14531-1: 2005-10, 2016-05

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 80000-3, *Größen und Einheiten — Teil 3: Raum und Zeit*

DIN EN ISO 80000-4, *Größen und Einheiten — Teil 4: Mechanik*

Deutsche Fassung

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

Railway applications —
Methods for calculation of stopping and slowing
distances and immobilization braking —
Part 1: General algorithms utilizing mean value
calculation for train sets or single vehicles

Applications ferroviaires —
Méthodes de calcul des distances d'arrêt, de
ralentissement et d'immobilisation —
Partie 1: Algorithmes généraux utilisant le calcul par la
valeur moyenne pour des rames ou des véhicules isolés

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 27. Juni 2015 angenommen und beinhaltet die Änderung 1, welche vom CEN am 05. August 2018 angenommen wurde-

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	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe, Symbole und Indizes	6
3.1 Begriffe	6
3.2 Symbole und Indizes	8
4 Berechnung von Anhalte- und Verzögerungsbremswegen	11
4.1 Allgemeines	11
4.2 Genauigkeit der Eingangswerte	11
4.3 Allgemeine Eigenschaften	11
4.3.1 Zugkonfiguration	11
4.3.2 Zugmerkmale	12
4.4 Eigenschaften der Bremseinrichtungen	14
4.4.1 Allgemeines	14
4.4.2 Klotzbremse	16
4.4.3 Scheibenbremse	16
4.4.4 Kräfte der Reibungsbrems-/Klotzbremseinrichtung	16
4.4.5 Kräfte der Reibungsbrems-/Scheibenbremseinrichtung	22
4.4.6 Mittlerer dynamischer Reibwert (μ_m) von Klotz- und Scheibenbremsen	26
4.4.7 Bremskräfte anderer Bremseinrichtungen	26
4.4.8 Zeitabhängige Merkmale	35
4.4.9 Überlagerungskonzept	38
4.4.10 Teilen und Aufteilen der erreichten Bremskräfte	39
4.5 Ausgangs- und Betriebsbedingungen	39
4.5.1 Streckenneigung	39
4.5.2 Ausgangsgeschwindigkeit	40
4.5.3 Kraftschlusswert	40
4.5.4 Höhe der Bremsanforderung	41
4.5.5 Anzahl der verfügbaren Arten von Bremseinrichtungen	41
4.5.6 Berechnung von eingeschränkten Bedingungen	41
4.6 Gesamt-Verzögerungskraft auf der Zugebene	42
4.7 Externe Kräfte	42
4.7.1 Neigung	42
4.7.2 Auf den Zug wirkende Windkraft	42
4.7.3 Rollwiderstand des Zugs	42
4.8 Berechnung des Anhalte- und Verzögerungsbremswegs auf der Grundlage von Durchschnittswerten	43
4.8.1 Allgemeines	43
4.8.2 Mittlere Bremskraft bezogen auf den Weg	43
4.8.3 Äquivalente Verzögerung (a_e) auf der Grundlage von mittleren Kräften	43
4.8.4 Durch jede Bremskraft verursachte mittlere Verzögerung (a_i)	44
4.8.5 Äquivalenter ungebremster Weg (s_0)	44
4.8.6 Anhalte- und Verzögerungsbremswege auf ebener Strecke (s)	44
4.8.7 Anhalte- und Verzögerungsbremswege in einer Neigung (s_{grad})	45

4.8.8	Weitere spezifische Gleichungen zur Berechnung des Anhaltewegs.....	46
4.9	Zusätzliche dynamische Berechnungen.....	46
4.9.1	Allgemeines	46
4.9.2	Abzubremsende Masse (m_B).....	46
4.9.3	Bremsenergie.....	47
4.9.4	Maximale Bremsleistung jeder Bremseinrichtung.....	48
4.9.5	Größte spezifische Leistungsdichte für die jeweilige Reibungsbremsart.....	49
4.10	Besondere Beschreibungen des Bremsvermögens.....	49
4.10.1	Allgemeines	49
4.10.2	Bremsgewichtshundertstel (λ).....	49
4.10.3	Bremsgewicht	49
4.10.4	Abbremsung.....	49
4.10.5	Äquivalente Bremskraft.....	49
5	Berechnung der Feststellbremse.....	50
5.1	Allgemeines	50
5.2	Allgemeine Eigenschaften	50
5.3	Statischer Reibwert	50
5.4	Zug- und betriebsspezifische Eigenschaften	51
5.5	Durch die jeweilige Art einer Bremseinrichtung erzeugte Feststellkraft	51
5.5.1	Allgemeines	51
5.5.2	Kraft der Spindelhandbremse (Klotzbremse)	51
5.5.3	Kraft der Spindelhandbremse (Scheibenbremse)	51
5.5.4	Kraft der Klotzbremseinheit	51
5.5.5	Kraft der Anordnung einer Scheibenbremseinheit	52
5.5.6	Kraft der Permanent-Magnetschienenbremse.....	53
5.6	Feststellkraft je Radsatz.....	54
5.7	Gesamt-Feststellkraft je Zug.....	54
5.8	Sicherheitskoeffizient der Feststellbremse.....	55
5.9	Je gebremstem Radsatz erforderlicher Kraftschlusswert.....	55
5.10	Größte zu erreichende Neigung.....	56
Anhang A (informativ)	Ablaufdiagramm des Berechnungsverfahrens für Anhalte- und Verzögerungsbremswege.....	57
Anhang B (informativ)	Ablaufdiagramm der Feststellbremsberechnungen	59
Anhang C (informativ)	Berechnungsbeispiele für Arten von Bremseinrichtungen	60
Anhang D (informativ)	Berechnungsbeispiele für Anhalte- und Feststellbremswege	71
D.1	Allgemeines	71
D.2	Berechnungen des Anhaltebremswegs	72
D.3	Berechnungen des Anhaltewegs des Zugs in einer Neigung.....	74
D.4	Berechnungen zur Feststellbremse des Zugs.....	74
Anhang E (informativ)	Entwicklung der Gleichung zur mittleren Bremskraft in Bezug auf den Bremsweg	75
Anhang F (informativ)	Berechnung des Anhalte- oder Verzögerungsbremswegs unter Verwendung eines alternativen Verfahrens zur Berechnung der äquivalenten Ansprechzeit wie in den Anforderungen der französischen Eisenbahn für Züge, die mit der Bremsstellung „G“ verkehren	76
Anhang ZA (informativ)	Beziehung zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2008/57/EG.....	78
Literaturhinweise.....		82

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 14531-1:2015+A1:2018) 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 Mai 2019, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Mai 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 beinhaltet die von CEN am 05. August 2018 genehmigte Änderung 1.

Dieses Dokument ersetzt  EN 14531-1:2015 .

Der Beginn und das Ende des hinzugefügten oder geänderten Textes wird im Text durch die Textmarkierungen   angezeigt.

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.

Diese Europäische Normenreihe EN 14531, *Bahnanwendungen — Verfahren zur Berechnung der Anhalte- und Verzögerungsbremswege und der Feststellbremsung* besteht aus:

- Teil 1: *Allgemeine Algorithmen für Einzelfahrzeuge und Fahrzeugverbände unter Berücksichtigung von Durchschnittswerten;*
- Teil 2: *Schrittweise Berechnungen für Zugverbände oder Einzelfahrzeuge.*

Diese beiden Teile sind eng miteinander verbunden und sollten bei der Durchführung der schrittweisen Berechnung der Anhalte- und Verzögerungsbremswege im Zusammenhang berücksichtigt werden.

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.

Einleitung

Diese Europäische Norm beschreibt ein gemeinsames Berechnungsverfahren für das Eisenbahnwesen. Sie beschreibt allgemeine Algorithmen unter Verwendung der Mittelwertberechnung für die Auslegung und Bewertung von Bremseinrichtungen und Bremsleistungen für alle Arten von Zugverbänden und Einzelfahrzeugen. Darüber hinaus stellen diese Algorithmen eine Möglichkeit dar, die Ergebnisse anderer Bremsleistungsberechnungsverfahren miteinander zu vergleichen.

Die Normenreihe EN 14531 sollte ursprünglich sechs Teile enthalten, die die zu verwendenden Berechnungsverfahren bei der Durchführung von Berechnungen der Bremsleistung von verschiedenen Schienenfahrzeugen behandeln, und den Titel „EN 14531, *Bahnanwendungen — Verfahren zur Berechnung der Anhalte- und Verzögerungsbremswege und der Feststellbremsung*“ tragen. Im Folgenden sind diese sechs Teile aufgeführt:

- Teil 1: *Allgemeine Algorithmen*;
- Teil 2: *Anwendung für einzelne Güterwagen*;
- Teil 3: *Anwendung für das öffentliche Nahverkehr (LRVs und D- und E- MUs)*;
- Teil 4: *Anwendung für einzelne Reisezugwagen*;
- Teil 5: *Anwendung für Lokomotive*;
- Teil 6: *Anwendung für Hochgeschwindigkeitszüge*.

EN 14531-1 wurde ursprünglich 2005 veröffentlicht und durch EN 14531-6 ergänzt, die 2009 veröffentlicht wurde.

Danach wurde beschlossen, dass eine gemeinsame Methodik für die Teile 2 bis 5 verwendet werden könnte und diese sollte in einer überarbeiteten Version von Teil 1 mit dem Titel „*Bahnanwendungen — Verfahren zur Berechnung der Anhalte- und Verzögerungsbremswege und der Feststellbremsung — Teil 1: Allgemeine Algorithmen für Einzelfahrzeuge und Fahrzeugverbände unter Berücksichtigung von Durchschnittswerten*“, enthalten sein, während Teil 6 überarbeitet und als Teil 2 mit dem Titel „*Bahnanwendungen — Verfahren zur Berechnung der Anhalte- und Verzögerungsbremswege und zur Berechnung der Feststellbremsung — Teil 2: Schrittweise Berechnungen für Zugverbände oder Einzelfahrzeuge*“ übernommen wurde.

Auf EN 14531-1:2005 und EN 14531-6:2009 wird in den aktuellen Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) (Güterwagen und Lokomotiven und Personenzüge) verwiesen. Die Tabellen in Anhang ZA enthalten die Äquivalenz der Abschnitte der ursprünglichen Normenreihe EN 14531 bis zu den Abschnitten dieser Ausgabe der EN 14531-1 und EN 14531-2, auf die in der TSI verwiesen wird.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm beschreibt allgemeine Berechnungsverfahren der Bremsleistung, die für alle Arten von Zugverbänden, Einheiten oder Einzelfahrzeugen, einschließlich Hochgeschwindigkeitsfahrzeugen, Lokomotiven, Reisezug-wagen, konventionellen Fahrzeugen und Güterwagen verwendet werden.

Diese Europäische Norm legt keine Leistungsanforderungen fest. Sie ermöglicht die Ermittlung und/oder den Vergleich der verschiedenen Leistungsmerkmale mittels Berechnung: Anhalte- oder Verzögerungsbremswege, umgewandelte Energie, Berechnungen von Kräften und Feststellbremsungen.

Falls es erforderlich ist, die Bremsleistung zu bewerten, zu überprüfen oder zu beurteilen, wird empfohlen, dass eine genauere Berechnung in Übereinstimmung mit EN 14531-2, d. h. eine schrittweise Berechnung, durchgeführt wird.

Diese Europäische Norm enthält allgemeine Beispiele für die Berechnung von Bremskräften von individuellen Bremseinrichtungsarten und die für einen Zug relevante Berechnung von Anhalte- und Verzögerungsbremswegen und der Feststellbremsung (siehe Anhang C und Anhang D).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 14067-4, *Bahnanwendungen — Aerodynamik — Teil 4: Anforderungen und Prüfverfahren für Aerodynamik auf offener Strecke*

EN 14478, *Bahnanwendungen — Bremsen — Oberbegriffe*

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

 gestrichener Text 

EN 15663, *Bahnanwendungen — Definition der Fahrzeugreferenzmassen*

EN 16452, *Bahnanwendungen — Bremse — Bremsklötze*

3 Begriffe, Symbole und Indizes

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 14478 und EN 14531-2 und die folgenden Begriffe.

3.1.1

statische Radsatzfahrmasse

Masse je Radsatz im Ruhezustand, gemessen durch einen Wiegevorgang an der Schnittstelle zwischen Rad und Schiene, oder abgeschätzt auf Basis der Entwurfsberechnung für jede Betriebsbedingung

3.1.2

statische Zugmasse

Summe sämtlicher Werte der statischen Radsatzmassen je Einheit

Anmerkung 1 zum Begriff: Z. B. je Radsatz für jede Betriebsbedingung.

3.1.3

äquivalente rotierende Masse

lineare Umsetzung des Trägheitsmoments der sich drehenden, direkt mit dem Radsatz gekuppelten Teile des Zuges während des Bremsvorgangs in eine äquivalente zusätzliche statische Masse

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies schließt Bremsscheiben, Treibräder usw. mit ein.

3.1.4

Art einer Bremseinrichtung

Gruppe von Einrichtungsbauteilen, die die Bremskraft erzeugen

Anmerkung 1 zum Begriff: Falls in einem Zug die gleiche Bremseinrichtung unter bestimmten Bedingungen in einem Teil und in einem anderen Teil des gleichen Zugs unter anderen Bedingungen verwendet wird, sind zwei verschiedene Arten von Bremseinrichtungen zu berücksichtigen.

3.1.5

Klotzbremseinheit/Scheibenbremseinheit

funktionale Einheit, von der die Bremskraft bereitgestellt wird, die üblicherweise aus einem Bremszylinder und einer Gestängestellereinheit besteht sowie sämtlichen damit verbundenen Bauteilen

Anmerkung 1 zum Begriff: Wird gelegentlich im Englischen auch als „tread/disc brake actuator“ bezeichnet.

3.1.6

abgesperrte Bremseinrichtung

Einrichtung, die für die Berechnung nicht berücksichtigt wird, da sie als abgesperrt angenommen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Z. B. Bremseinrichtung eines Drehgestells.

3.1.7

aktive Bremseinrichtung

Einrichtung, die in Bezug auf die Berechnung einer spezifischen Bremseinrichtung als funktionsfähig angenommen wird

3.1.8

Mittelwertberechnung

Berechnungsverfahren, bei dem für einen bestimmten Geschwindigkeitsbereich auf Geschwindigkeit, Kraft oder Wegen basierende Werte in Form von Mittelwerten für jede wirkende Bremseinrichtungsart verwendet werden

3.1.9

Verzögerungskraft

resultierende Kraft aus der Summe aller Kräfte, die gegen die Bewegungsrichtung bei einem Zug wirken

Anmerkung 1 zum Begriff: Jede betriebliche Bremseinrichtung erzeugt ihre eigene Verzögerungskraft, die beim Hinzufügen zu zusätzlichen externen Kräften, die der Bewegung entgegenstehen, die gesamte Verzögerungskraft des Zugs ergibt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Verzögerungskraft wird in dieser Norm mit positivem Vorzeichen angenommen; daher wird die Beschleunigungskraft mit negativen Vorzeichen angenommen.

3.1.10

Bremskraft

Kraft, die durch die aktiven Arten von Bremseinrichtungen erzeugt wird, um den Zug abzubremesen

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie beinhaltet keine externen Kräfte, die zur Gesamtverzögerungskraft des Fahrzeugs oder Zugs beitragen.

3.1.11

externe Kräfte

Kräfte, die üblicherweise den Rollwiderstand, die Neigung, den Gegenwind usw. miteinbeziehen.

3.1.12

Einheit

Gerät oder Teil, das in einer Berechnung berücksichtigt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Z. B. Zug, Fahrzeug, Drehgestell, Radsatz, Rad.

3.2 Symbole und Indizes

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole in Tabelle 1 und die Indizes in Tabelle 2.

ANMERKUNG Spezifische Symbole und Indizes sind in den entsprechenden Abschnitten definiert.

Tabelle 1 — Symbole

Symbol	Bedeutung	Einheit
A	Fläche	m^2
a	Verzögerung	m/s^2
A_s	von den Reibelementen überstrichene Fläche einer Reibfläche	m^2
B	Bremsgewicht	T
D	Raddurchmesser	m
F	Kraft	N
F_B	Bremskraft bezogen auf die Schiene	N
F_g	Hangabtriebskraft des Zugs	N
g_n	Normfallbeschleunigung = $9,80665 \text{ m/s}^2$ (siehe: ISO 80000-3)	m/s^2
i	Neigung (steigende Neigung ist positiv; z. B. für eine Neigung von 5 ‰, $i = 0,005$)	—
i_c	Zylinderübersetzung	—
i_{rig}	Gestängeübersetzung	—
i_{tra}	Getriebeübersetzung	—
J	durch Rotation bedingtes Massenträgheitsmoment	kg m^2
m	Masse	kg
n	Anzahl	—
P	Leistung	W

Symbol	Bedeutung	Einheit
p	Druck	Pa
r	Radius	m
s	Weg	m
S	Sicherheitsfaktor	—
t	Zeit	s
τ	Kraftschlusswert	—
v	Geschwindigkeit	m/s
W	Energie	J
W_s	Energiedichte	J/m ²
λ	Bremshundertstel	—
μ	Reibwert	—
η	Wirkungsgrad	—

Tabelle 2 — Allgemeine Indizes

Indizes	Bedeutung
AMG	Anzugskraft der Magnetschienenbremse
ap	Kraftangriffspunkt
ax	Radsatz
a	verfügbar
B	Bremskraft
BEC	Bremskraft der Wirbelstrombremse
BED	Bremskraft der elektrodynamischen Bremse
BFR	Bremskraft der hydrodynamischen Bremse
BMG	Bremskraft der Magnetschienenbremse
b	Klotz oder Belag
bog	Drehgestell
C	Zylinder
act	Einheit/Aktuator
cha	Eigenschaft
Bd	geforderte Bremskraft
disc	Scheibe
dyn	dynamisch
e	Ersatz
ent	Einheit

Indizes	Bedeutung
ext	extern
fin	Endzustand
H	Handbremse
i	Bremseinrichtung
j	Bereich oder Stufe
im	Feststellen, Parken, Halten
ind	kraftschlussunabhängig
int	intern
inst	momentan
max	Maximum
min	Minimum
mot	Trieb
MG	Magnetschienenbremse
n	normale Richtung
R	Reaktion/Antwort
Ra	Rollwiderstand des Zugs
req	erforderlich
rig	Gestänge
rot	rotierend
R1	Rückstellfeder
R2	Regler
S	Feder
st	statisch
T	Tangentialrichtung
tot	Gesamt
tra	Getriebe
wind	Wind
0	Anfangszustand
1, 2, 3, 4 ... usw.	Zwischenstatus

4 Berechnung von Anhalte- und Verzögerungsbremswegen

4.1 Allgemeines

Der grundsätzliche Ablauf des Rechengangs ist in Anhang A, Bild A.1 dargestellt.

Im ersten Schritt können unter Annahme konstanter, von der Geschwindigkeit unabhängiger Bremskräfte im Allgemeinen die in diesem Abschnitt enthaltenen Gleichungen verwendet werden.

Im zweiten Schritt können die Gleichungen für die Mittelwertberechnung einer von der Geschwindigkeit abhängigen Bremskraft verwendet werden. Dieser Mittelwert der Bremskraft ist als ständig wirkende, voll aufgebaute Bremskraft zu interpretieren ohne Berücksichtigung einer Ansprechzeit und führt auf den gleichen Bremsweg. Siehe Anhang E.

Die in dieser Norm enthaltenen Berechnungsverfahren verwenden Mittelwerte; für eine Berechnung mit Momentanwerten und Algorithmen unter Verwendung von begrenzten Zeitschritten ist jedoch EN 14531-2 anzuwenden.

4.2 Genauigkeit der Eingangswerte

Die Genauigkeit der hier beschriebenen Berechnungen hängt unmittelbar von der Genauigkeit der Eingangswerte ab.

Die Genauigkeit der Eingangswerte muss in Bezug auf den Zweck der Berechnung relevant sein und es muss nachvollziehbar sein, auf welche Weise diese Werte ermittelt wurden, z. B. durch Plausibilitätsbetrachtungen, Versuchsergebnisse, Herstellerinformationen usw. Begleitende Berechnungen oder Versuchsberichte (bzw. Auszüge aus diesen Dokumenten) sollten der Berechnung beigelegt werden, sofern zutreffend.

Charakteristische Kurven der Eigenschaften einer Bremsanlage, z. B. einer elektrodynamischen Bremse, können mittels Berechnungen oder Versuchen bestimmt werden. Die Werte können in Tabellenform dargestellt werden.

4.3 Allgemeine Eigenschaften

4.3.1 Zugkonfiguration

Die nach Auslegung des Bremssystems zur Durchführung der Berechnung erforderlichen Parameter müssen auf der Ebene eines Fahrzeugteils, z. B. des Radsatzes, des Drehgestells oder des Fahrzeugs, festgelegt werden.

Berechnungen sind für jede Art einer Bremsanlage durchzuführen. Auf diese Weise müssen die Bremskraftbeiträge aller Arten von Bremsanlagen (z. B. Scheibenbremsen, Klotzbremsen, elektrodynamische Bremsen) in Betracht gezogen werden. Sämtliche für eine Einheit verwendete Arten von Bremsanlagen müssen bezeichnet und in die Berechnung miteinbezogen werden.

Die nachfolgenden Parameter werden üblicherweise zur Definition von Zugkonfigurationen verwendet, sind jedoch nicht auf diese beschränkt:

- Anzahl der Treibradsätze;
- Anzahl der Laufradsätze;
- Anzahl der gebremsten Radsätze für jede Art kraftschlussabhängiger Bremsanlagen;
- Anzahl der kraftschlussunabhängigen Bremsanlagen.

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

Ein Zug kann aus einer oder mehreren Einheiten oder Fahrzeugen bestehen. Für die Anwendung dieses Dokuments wird keine Unterscheidung zwischen Einheit und Fahrzeug vorgenommen; daher wird der Begriff „Fahrzeug“ verwendet.

ANMERKUNG 2 Der Begriff „Einheit“ wird mit der gleichen Bedeutung wie in der Technischen Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) des Teilsystems „Fahrzeuge — Lokomotiven und Personenwagen“ des transeuropäischen konventionellen Eisenbahnsystems verwendet.

Wenn die in einen Zug eingebauten Bremseinrichtungen unter verschiedenen Bedingungen zur Anwendung kommen, z. B. unterschiedliche Laststufen, Geschwindigkeitsbereiche, Bremsanforderungen usw., ist jede Bedingung oder jeder Zustand und die sich daraus ergebende Wirkung auf die Bremskraft zu berücksichtigen.

4.3.2 Zugmerkmale

4.3.2.1 Zugmasse

Es ist die EN 15663 zu verwenden, um eine gemeinsame Reihe an Fahrzeugreferenzmassen bereitzustellen, auf die die Bewertung von Lasten und Leistung basieren kann; darin wird auch beschrieben, wie diese abgeleitet werden.

4.3.2.2 Statische Zug- oder Radsatzmasse (m_{st})

Die statische Fahrzeugmasse je Zug und/oder Radsatz (wie in 3.1 festgelegt) ist zur Ermittlung der erforderlichen Bremskraft, beziehungsweise der Kraftschlussanforderungen für jede erforderliche Betriebsbedingung, z. B. für die Betriebsmasse des betriebsbereiten Fahrzeugs zu verwenden, wie in EN 15663 festgelegt.

Falls es unterschiedliche Werte für die statischen Radsatzmassen gibt, z. B. aufgrund verschiedener Fahrzeuganordnungen oder auf dem Radsatz montierten Bremseinrichtungen, muss die statische Masse für jeden Radsatz berechnet werden.

Falls vom Betreiber gefordert, kann es erforderlich sein, die Position eines Fahrzeugtyps in einem Zug zu bewerten, z. B. in Bezug auf den angeforderten Kraftschluss.

4.3.2.3 Äquivalente rotierende Masse (m_{rot})

Die äquivalente rotierende Masse ist durch Berechnung oder auf Grundlage von Versuchen unter Verwendung von Versuchsbedingungen, die vergleichbar mit den zu erwartenden Betriebsbedingungen sind, zu ermitteln.

Die der rotierenden Masse zugeordnete Radgröße muss angegeben werden. Alle festgestellten Werte für die rotierende Masse, angegeben durch % der statischen Masse, werden normalerweise unter Verwendung der angenommenen statischen Masse des betriebsbereiten Fahrzeugs für jedes Fahrzeug innerhalb des Zugs berechnet.

Falls mehrere rotierende Massen je Radsatz vorhanden sind, z. B. durch eine Kombination aus Lauf- und Treibradsätzen, muss die rotierende Masse für jede Art berechnet werden.

Es kann erforderlich sein, die Position eines Fahrzeugtyps in einem Zug zu bewerten, z. B. in Bezug auf den angeforderten Kraftschluss.

Falls das durch Rotation bedingte Trägheitsmoment (J) statt der äquivalenten rotierenden Masse bekannt ist, muss der zugehörige Raddurchmesser bestimmt werden. Dieser Durchmesser bezieht sich üblicherweise

auf neue Räder. Die Gleichung zur Berechnung der äquivalenten rotierenden Masse unter Verwendung des Trägheitsmoments ist wie folgt:

$$m_{\text{rot}} = \frac{4 \cdot J}{D^2} \quad (1)$$

Dabei ist

m_{rot}	äquivalente rotierende Masse, in kg;
J	Massenträgheit;
D	Raddurchmesser, in m.

4.3.2.4 Dynamische Masse (m_{dyn})

In Abhängigkeit von der durchgeführten Berechnung ist die dynamische Masse die Summe der statischen Masse und der äquivalenten rotierenden Masse für die betrachtete Einheit, z. B. Radsatz, Drehgestell, Fahrzeug usw.

$$m_{\text{dyn}} = \sum(m_{\text{st}} + m_{\text{rot}}) \quad (2)$$

Dabei ist

m_{dyn}	dynamische Masse, in kg;
m_{st}	statische Masse, in kg;
m_{rot}	rotierende Masse, in kg.

4.3.2.5 Raddurchmesser

Der Raddurchmesser wird am nominalen Rollkreis gemessen.

ANMERKUNG Der für die Schnellbremsberechnung verwendete Raddurchmesser entspricht üblicherweise dem eines Rades mit der geringsten Verzögerung, z. B. bei Scheibenbremsen ist dies üblicherweise der größte Raddurchmesser.

Zur Überprüfung des erforderlichen Kraftschlusswertes τ_{req} muss der verwendete Raddurchmesser dem entsprechen, der den größten Kraftschluss liefert, z. B. bei Scheibenbremsen würde dies üblicherweise der kleinste Raddurchmesser sein.

Falls der Zug mit Rädern unterschiedlicher Größe ausgerüstet ist (konstruktiv bedingt und nicht aufgrund von Verschleiß) ist jede Radgröße im Zugverband anzugeben.

4.3.2.6 Mittlerer Rollwiderstand des Zugs

Der Rollwiderstand des Zugs ist Bestandteil der Verzögerungskraft, die sich durch die Zugstruktur ergibt und in EN 14067-4 als „Laufwiderstand“ bezeichnet wird. Diese verwendet jedoch Momentanwerte. Die Gleichung zur Berechnung des Fahrwiderstands geht von geraden und ebenen Strecken, Windstille, Außenluft und einer konstanten Geschwindigkeit aus. Die Kennwerte des Rollwiderstands des Zugs können denen eines vergleichbaren existierenden Zugs entsprechen oder auf bestimmten Berechnungen oder Versuchen beruhen. Wenn die Werte auf der Grundlage von Versuchen ermittelt wurden, müssen die Versuchsbedingungen vergleichbar mit den zu erwartenden Betriebsbedingungen sein.

Als Näherung oder erste Berechnung ist die folgende auf Mittelwerten basierende mathematische Gleichung zu verwenden, die aus der Momentanwertgleichung der EN 14067-4 abgeleitet wurde:

$$\bar{F}_{Ra} = A + \frac{2}{3} \cdot B \cdot \frac{v_0^2 + v_0 \cdot v_{fin} + v_{fin}^2}{v_0 + v_{fin}} + \frac{1}{2} \cdot C \cdot (v_0^2 + v_{fin}^2) \quad (3)$$

Dabei ist

$\bar{F}_{Ra}$	Mittelwert der Rollwiderstandskraft des Zugs, in N;
v_0	Ausgangsgeschwindigkeit des Zugs, in m/s;
v_{fin}	Endgeschwindigkeit des Zugs, in m/s;
A	geschwindigkeitsunabhängiger Beiwert des Zugs; in EN 14067-4 als C_1 bezeichnet, in N;
B	Beiwert des Zugs proportional zur Geschwindigkeit; in EN 14067-4 als C_2 bezeichnet, in $\frac{N}{m/s}$;
C	Beiwert des Luftwiderstands; in EN 14067-4 als C_3 bezeichnet, in $\frac{N}{(m/s)^2}$.

Die oben angeführten mathematischen Einheiten sollten für Berechnungszwecke verwendet werden; die Geschwindigkeit kann jedoch auch wie üblich in km/h und der Rollwiderstand in N oder kN ausgedrückt werden.

ANMERKUNG Die Beiwerte A , B , und C sind Funktionen verschiedener Parameter, z. B. Masse oder Zuglänge. Werte für A , B , und C können durch Verwendung des in EN 14067-4 angegebenen Prüfverfahrens ermittelt werden.

Bei Berechnung der Bremsleistung können Entwickler in einer ersten Näherung den Rollwiderstand außer Acht lassen, wenn dies auch für die rotierenden Massen zutrifft, bis diese speziellen Werte vorliegen.

Für die Verwendung anderer mathematischer Einheiten müssen die Beiwerte der Gleichungen entsprechend angepasst werden.

4.4 Eigenschaften der Bremseinrichtungen

4.4.1 Allgemeines

Dieser Teil der Norm stellt dar, wie die durch die jeweilige Bremseinrichtung in Bezug auf die Schiene verursachte Bremskraft berechnet wird.

Falls in einem Zug die gleiche Bremseinrichtung unter bestimmten Bedingungen in einem Teil und in einem anderen Teil des gleichen Zugs unter anderen Bedingungen verwendet wird (z. B. verschiedene Druck-/Kraftbedingungen), sind zwei verschiedene Arten von Bremseinrichtungen anzunehmen und in den Gleichungen zu berücksichtigen.

Die folgenden Unterabschnitte betrachten die durch die verschiedenen Bremseinrichtungen verursachten Bremskräfte. Falls andere Bremseinrichtungsarten verwendet werden, z. B. neue oder neuartige Typen, sollten alternative Bremskraftberechnungen angewendet werden.

Im Folgenden werden die derzeit verwendeten Arten von Bremseinrichtungen beschrieben:

a) kraftschlussabhängig (Rad zur Schiene):

1) Reibungsbremse:

i) Klotzbremse;

ii) Scheibenbremse.

- 2) Spindelhandbremse:
 - i) Klotzbremse;
 - ii) Scheibenbremse.
 - 3) elektrodynamische Bremse;
 - 4) hydrodynamische Bremse.
- b) kraftschlussunabhängig:
- 1) Wirbelstrombremse;
 - 2) Magnetschienenbremse.

Wenn die folgenden Gleichungen zur Berechnung der Bremskraft der verschiedenen Bremseinrichtungen (i) und deren möglicher Anordnungen, z. B. eine zweiseitig wirkende Klotzbremse, verwendet werden, muss die Anzahl der je Funktionseinheit angebrachten Anordnungen berücksichtigt werden. Je nach Anwendungsfall wurden in den Gleichungen Faktoren bestimmt und in die jeweiligen Beispiele eingefügt.

Für Klotz- und Scheibenbremseinrichtungen wird üblicherweise ein druckbetätigter Bremszylinder verwendet. Es kann jedoch auch ein Federspeicher-Bremszylinder (federspeicherbetätigt) verwendet werden. Für die Berechnung der Bremszylinderkraft (F_C) muss die Gleichung das nachfolgend aufgeführte unter Bezugnahme auf Bild 1 berücksichtigen:

- a) Die/der innere Übersetzung/Faktor (i_C) des Zylinders beträgt üblicherweise 1, mit Ausnahme einer inneren Zylinderübersetzung. Das in der Berechnungsgleichung berücksichtigte Vorzeichen der Übersetzung/des Faktors hängt von der Art der Bremseinrichtung ab; somit handelt es sich um einen **positiven Wert** für eine druckbetätigte Bremseinrichtung und um einen **negativen Wert** für eine Federspeicher-Bremseinrichtung.
- b) Die Zylinderfederkraft ($F_{S,C}$) in einem druckbetätigten Bremszylinder reduziert die Bremskraft (Rückstellkraft) und ist daher ein **negativer** Wert. Für eine Federspeicherbremse wirkt $F_{S,C}$ als Bremskraft und ist daher ein **positiver** Wert.

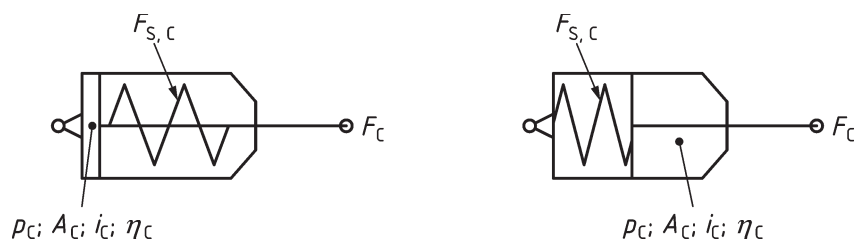


Bild 1 — Grundlegende Darstellung eines druckbetätigten (links) und eines federspeicherbetätigten Bremszylinders (rechts)

Die nachfolgenden Abschnitte 4.4.2 und 4.4.3 betrachten die Gleichungen für eine repräsentative Klotz- und Scheibenbremseinheit in einer Anordnung, wie sie in den entsprechenden Bildern dargestellt ist. Andere Ausführungen von Scheiben- und Klotzbremseinheiten können eine hiervon abweichende Anordnung der Bauteile aufweisen und die Gleichungen können abgeändert werden, um die vorliegende Anordnung und deren Auswirkung auf die Bremskraftberechnung darzustellen.

4.4.2 Klotzbremse

Die Bremswirkung wird durch die Reibung der Bremsklötze auf den Laufflächen des Rads erzeugt; die daraus entstehende Wärme wird durch die Bremsklötze und die Räder abgeführt.

Die Bremszylinderkraft wird auf die Bremsklötze mit den entsprechenden Wirkungsgraden übertragen (Wirkungsgrad von Zylinder, Gestänge und Bremshebel). Zusätzlich müssen auch durch die Konstruktion bedingte Federkräfte überwunden werden (z. B. Zylinderfeder, Federn in Gestängestellern).

Die Berechnung der Bremskraft wird unmittelbar von der festgelegten mechanischen Funktionskette abgeleitet. Sie basiert lediglich auf der Berechnung von Kräften und berücksichtigt rein rechnerisch Gestängeübersetzungen (Zangenhebel) und Abstufungen von Wirkungsgraden.

Die Bremskraft ist unabhängig vom Raddurchmesser.

4.4.3 Scheibenbremse

Die Bremswirkung wird durch die Reibung des Bremsbelags auf der Bremsscheibe erzeugt; die daraus entstehende Wärme wird durch den Bremsbelag und die Bremsscheibe abgeführt.

Die Bremszylinderkraft wird auf die Bremsbeläge mit den entsprechenden Wirkungsgraden übertragen (Wirkungsgrad von Zylinder, Gestänge und Zange). Zusätzlich werden auch durch die Ausführung bedingte Federkräfte überwunden (z. B. Zylinderfeder, Federn in Gestängestellern).

Die Berechnung der Bremskraft wird unmittelbar von der festgelegten mechanischen Funktionskette abgeleitet. Sie basiert lediglich auf der Berechnung von Kräften und berücksichtigt Gestängeübersetzungen (Zangenhebel) und Abstufungen von Wirkungsgraden vom rechnerischen Standpunkt aus.

Die Bremskraft hängt vom Raddurchmesser ab.

4.4.4 Kräfte der Reibungsbrems-/Klotzbremseinrichtung

4.4.4.1 Klotzbremseinheit

Die Bremseinrichtung einer Klotzbremseinheit wirkt auf eine Klotzbremsanordnung je Zylinder wie in Bild 2 gezeigt, wo eine repräsentative Anordnung einer druckbetätigten Klotzbremseinheit dargestellt ist. Das gleiche Prinzip gilt für eine Ausführung mit Federspeicher, wobei die internen Federkräfte der Bremseinheit und die interne Zylinderübersetzung mit umgekehrtem Vorzeichen verwendet werden.

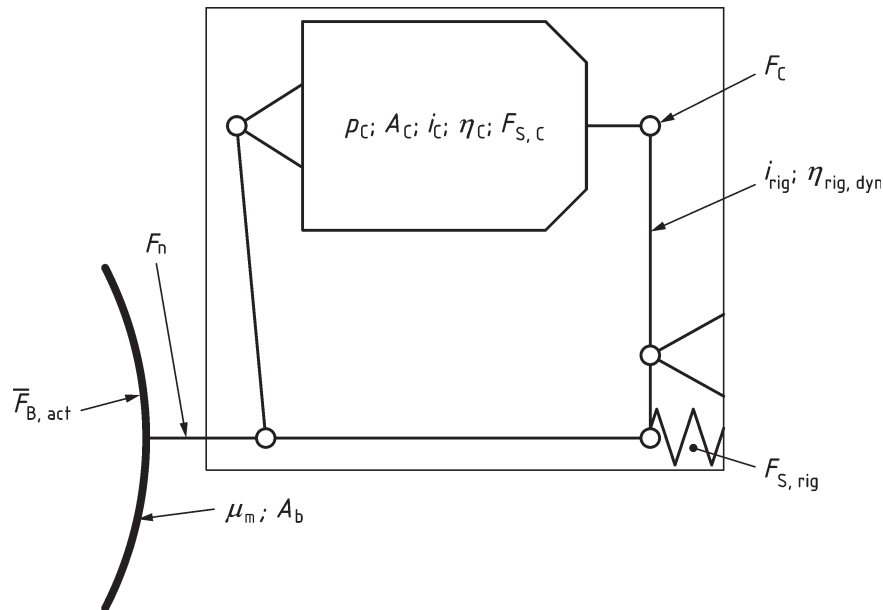


Bild 2 — Repräsentative Klotzbremseinheit

Die Bremskrafteigenschaften einer Klotzbremseinheit können wie folgt ausgedrückt werden:

Bremszylinderkraft

$$F_c = p_c \cdot A_c \cdot i_c \cdot \eta_c + F_{S,c} \quad (4)$$

Auf Kraftangriffspunkt aufgebrachte Kraft

$$F_n = F_c \cdot i_{rig} \cdot \eta_{rig, dyn} + F_{S,rig} \quad (5)$$

Mittlere Bremskraft je Bremseinheit

$$\bar{F}_{B, act} = F_n \cdot \mu_m \quad (6)$$

Flächenpressung je Kraftangriffspunkt

$$p_{ap} = \frac{F_n}{A_b} \quad (7)$$

Dabei ist

p_c	Bremszylinderdruck, in Pa;
A_c	Bremszylinderfläche, in m ² ;
η_c	interner Bremszylinderwirkungsgrad;
i_c	interne Bremszylinderübersetzung;
$F_{S,c}$	Summe der internen Bremszylinderfederkräfte, in N;
$\eta_{rig, dyn}$	dynamischer Gestängewirkungsgrad;
i_{rig}	Gestängeübersetzung;

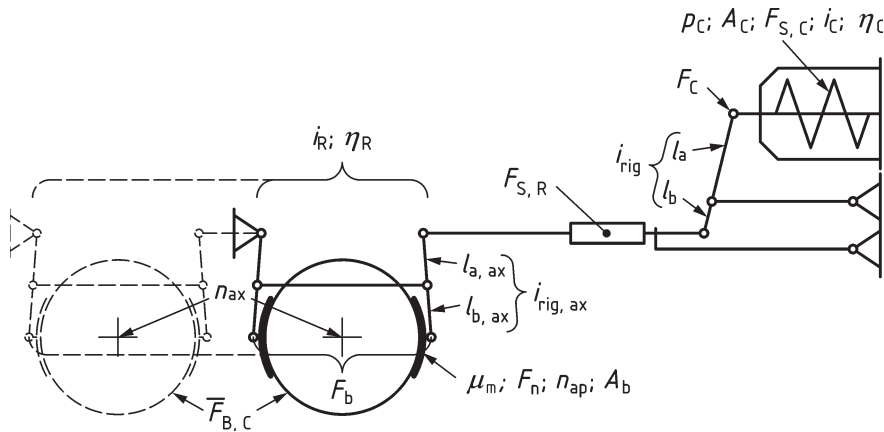
Gesamtfläche der Reibfläche je Kraftangriffspunkt, in m^2 .

ANMERKUNG In Bezug auf Wirkungsgrade von Gestängen, Übersetzungen und Rückzugsfedern können diese für Klotzbremseinheiten vollständig in der Einheit selbst enthalten sein.

4.4.4.2 Klotzbremse

Die Bremseinrichtung einer Klotzbremse wirkt auf eine Anordnung von mehreren Bremsklötzen je Zylinder wie in Bild 3 gezeigt (eine typische zweiseitige Klotzbremsanordnung). Dies trifft jedoch ebenfalls für die einseitige Klotzbremsanordnung mit einem Kraftangriffspunkt je Rad zu.

Die durch den Bremszylinder erzeugte Kraft wird üblicherweise über das Mittlenbremsgestänge zu den Hauptbremszugstangen und dann auf die Bremsklötze über den Bremsgestängesteller und die Bremshebel übertragen.



ANMERKUNG Die gestrichelten Linien stellen zusätzliche Bremszangenanordnungen der Klotzbremse dar, falls zutreffend.

Bild 3 — Typische Klotzbremsanordnung

Die Bremskrafteigenschaften einer Klotzbremsanordnung können wie folgt ausgedrückt werden:

Bremszylinderkraft

$$F_c = p_c \cdot A_c \cdot i_c \cdot \eta_c + F_{s,c} \quad (8)$$

Gesamtkraft an den Kraftangriffspunkten

$$F_b = (F_C \cdot i_{\text{rig}} + F_{S,R}) \cdot i_R \cdot \eta_R \quad (9)$$

mit den Übersetzungen

$$i_{\text{rig}} = l_{\text{a}}/l_{\text{b}} \quad (10)$$

und

$$i_R = n_{ax} \cdot n_{ap} \cdot i_{rig,ax} \quad (11)$$

mit

$$i_{rig,ax} = l_{a,ax}/l_{b,ax} \quad (12)$$

Mittlere Bremskraft je komplette Klotzbremsanordnung

$$\bar{F}_{B,C} = F_b \cdot \mu_m \quad (13)$$

Kraft je Kraftangriffspunkt

$$F_n = \frac{F_b}{2 \cdot n_{ax} \cdot n_{ap}} \quad (14)$$

Flächenpressung je Kraftangriffspunkt

$$p_{ap} = \frac{F_n}{A_b} \quad (15)$$

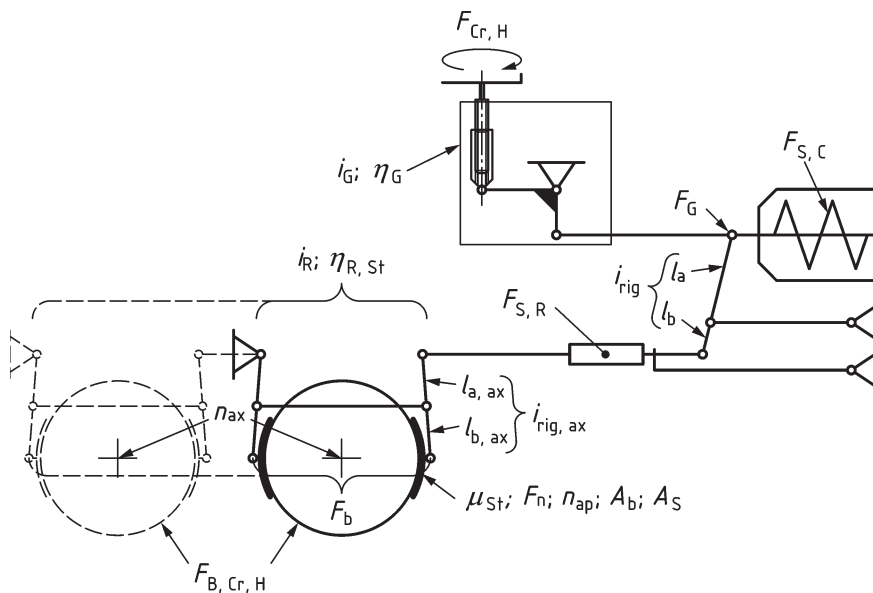
Dabei ist

- p_C Bremszylinderdruck, in Pa;
- A_C Bremszylinderfläche, in m²;
- η_C interner Wirkungsgrad der Bremseinheit;
- i_C interne Bremszylinderübersetzung;
Der Wert der Übersetzung oder des Faktors beträgt üblicherweise 1; dieser Wert kann jedoch im Fall einer inneren Zylinderübersetzung hiervon abweichen.
Das Vorzeichen der Übersetzung oder des Faktors hängt von der Art der Bremseinrichtung ab; d. h. dieser ist im Fall einer druckbetätigten Bremseinrichtung **positiv** und im Fall einer Federspeicherbremseinrichtung **negativ**.
- $F_{S,C}$ Summe der internen Bremszylinderfederkräfte, in N;
- $F_{S,R}$ Kraft des Gestängestellers; wird üblicherweise als negativer Wert angenommen, in N;
- i_{rig} Übersetzung des Mittenbremsgestänges (falls eine Umstelllast definiert wurde, muss die Übersetzung in Bezug auf die betreffende Last berechnet werden);
- l_a Hebellänge des Mittenbremsgestänges – BC-Verbindung zur Drehachse, in m;
- l_b Hebellänge des Mittenbremsgestänges – Drehachse zum Ausgangsanschluss, in m;
- i_R Gesamtgestängeübersetzung nach dem Gestängesteller; z. B. $i_R = 4$ für einen konventionellen Güterwagen mit 2 Radsätzen mit 4 Kraftangriffspunkten (siehe n_{ap}) je Radsatz;
- η_R Gesamtwirkungsgrad des Gestänges;
- $i_{rig,ax}$ Radsatzgestängeübersetzung je Kraftangriffspunkt; üblicherweise beträgt der Faktor $l_{a,ax}/l_{b,ax} = 1$;

$l_{a,ax}$	Hebellänge des Radsatzgestänges – BC-Verbindung zur Drehachse, in m;
$l_{b,ax}$	Hebellänge des Radsatzgestänges – Drehachse zum Ausgangsanschluss, in m;
μ_m	mittlerer Reibwert des Bremsklotzes;
n_{ap}	Anzahl der Kraftangriffspunkte je Rad; Bei zweiseitiger Klotzbremsanordnung $n_{ap} = 2$ und im Falle, dass lediglich ein Kraftangriffspunkt je Rad vorhanden ist (einseitig) $n_{ap} = 1$.
n_{ax}	Anzahl der gebremsten Radsätze;
A_D	Gesamtfläche der Reibfläche je Kraftangriffspunkt, in m^2 .

4.4.4.3 Spindelhandbremse (Klotzbremse)

Die Bremsvorrichtung einer Klotzbremse wirkt üblicherweise auf eine Anordnung mit mehreren Bremsklötzen je Zylinder, wie in Bild 4 gezeigt. Die durch das Handrad oder den Kurbelgriff erzeugte Kraft wird üblicherweise über das Mittlenbremsgestänge auf die Hauptbremszugstange und über den Gestängesteller und die Bremshebel auf die Bremsklötze übertragen. Diese Anordnung wird üblicherweise als Feststellbremse verwendet.



ANMERKUNG Die gestrichelten Linien stellen zusätzliche Bremszangenanordnungen der Klotzbremse dar, falls zutreffend.

Bild 4 — Charakteristische Handbrems-/Klotzbremsanordnung

Die Bremskraft einer Handbrems-/Klotzbremsanordnung kann wie folgt ausgedrückt werden:

Getriebekraft

$$F_G = F_{\text{Cr,H}} \cdot i_G \cdot \eta_G + F_{\text{S,C}} \quad (16)$$

Gesamtkraft aller Kraftangriffspunkte

$$F_b = (F_G \cdot i_{\text{rig}} + F_{S,R}) \cdot i_R \cdot \eta_{R,\text{st}} \quad (17)$$

mit den Übersetzungen

$$i_{\text{rig}} = l_a / l_b \quad (18)$$

und

$$i_R = n_{\text{ax}} \cdot n_{\text{ap}} \cdot i_{\text{rig,ax}} \quad (19)$$

mit

$$i_{\text{rig,ax}} = l_{\text{a,ax}} / l_{\text{b,ax}} \quad (20)$$

Gesamtbremskraft je komplette Klotzbremsanordnung

$$F_{\text{B,Cr,H}} = F_b \cdot \mu_{\text{st}} \quad (21)$$

Kraft je Kraftangriffspunkt

$$F_n = \frac{F_b}{2 \cdot n_{\text{ax}} \cdot n_{\text{ap}}} \quad (22)$$

Flächenpressung je Kraftangriffspunkt

$$p_{\text{ap}} = \frac{F_n}{A_b} \quad (23)$$

Dabei ist

$F_{\text{Cr,H}}$	Kraft am Kurbelgriff, in N;
η_G	Getriebewirkungsgrad;
i_G	Getriebeübersetzung;
$F_{\text{S,C}}$	Summe der internen Bremszylinderfederkräfte, in N;
$F_{\text{S,R}}$	Gegenkraft des Gestängestellers, in N; wird üblicherweise als negativer Wert angenommen.
i_{rig}	Übersetzung des Mittenbremsgestänges (falls eine Umstelllast definiert wurde, muss die Übersetzung in Bezug auf die betreffende Last berechnet werden), in N ^{N1}
l_a	Hebellänge des Mittenbremsgestänges, in m;
l_b	Hebellänge des Mittenbremsgestänges, in m;
i_R	Gesamtgestängeübersetzung nach dem Gestängesteller; z. B. $i_R = 4$ für einen konventionellen Güterwagen mit 2 Radsätzen mit 4 Kraftangriffspunkten (siehe n_{ap}) je Radsatz;
$\eta_{\text{R,st}}$	statischer Gesamtwirkungsgrad des Gestänges;

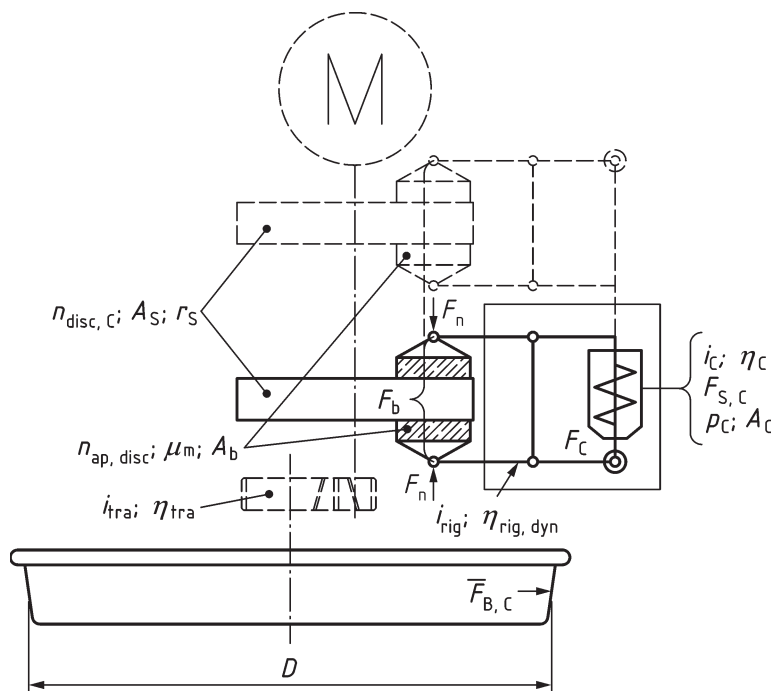
N1) Nationale Fußnote: Hier handelt es sich offenbar um einen Fehler in der Referenzfassung. Die Einheit Newton (N) ist hier nicht zutreffend, da i_{rig} keine Einheit besitzt.

$i_{\text{rig,ax}}$	Radsatzgestängeübersetzung je Kraftangriffspunkt; üblicherweise beträgt der Faktor $l_{\text{a,ax}}/l_{\text{b,ax}} = 1$
$l_{\text{a,ax}}$	Hebellänge des Radsatzgestänges, in m;
$l_{\text{b,ax}}$	Hebellänge des Radsatzgestänges, in m;
μ_{st}	statischer Reibwert des Bremsklotzes;
n_{ap}	Anzahl der Kraftangriffspunkte je Rad; Bei zweiseitiger Klotzbremsanordnung $n_{\text{ap}} = 2$ und im Fall, wenn lediglich ein Kraftangriffspunkt je Rad vorhanden ist (einseitig) $n_{\text{ap}} = 1$.
n_{ax}	Anzahl der gebremsten Radsätze;
A_{b}	Gesamtfläche der Reibfläche je Kraftangriffspunkt, in m ² .

4.4.5 Kräfte der Reibungsbrems-/Scheibenbremseinrichtung

4.4.5.1 Anordnung der Scheibenbremseinheit

Eine Scheibenbremseinheit wirkt üblicherweise auf eine Bremszangenanordnung je Zylinder wie in Bild 5 gezeigt. Diese kann jedoch auch auf mehr als eine Bremszangenanordnung wirken.



ANMERKUNG Die gestrichelten Linien stellen zusätzliche Bremszangenanordnungen dar, falls zutreffend.

Bild 5 — Charakteristische Anordnung für druckbetätigte Scheibenbremseinheit

Der Bremskraftwert wird üblicherweise wie folgt ausgedrückt:

Zylinderkraft

$$F_c = p_c \cdot A_c \cdot i_c \cdot \eta_c + F_{S,c} \quad (24)$$

ANMERKUNG In Abhängigkeit von der Konstruktion der jeweils betrachteten Bremseinheit kann die Reihenfolge der Bauteile in der Gleichung wiedergegeben werden, z. B. die Lage und Wirkung der Federkraft.

Gesamtbelaganpresskraft je Anordnung der Scheibenbremseinheit

$$F_b = F_C \cdot i_{\text{rig}} \cdot \eta_{\text{rig,dyn}} \quad (25)$$

Kraft je Kraftangriffspunkt

$$F_n = \frac{F_b}{n_{\text{disc,C}} \cdot n_{\text{ap,disc}}} \quad (26)$$

Tangentialkraft auf jede Bremscheibe

$$F_t = \frac{F_b \cdot \mu_m}{n_{\text{disc,C}}} \quad (27)$$

Flächenpressung je Kraftangriffspunkt

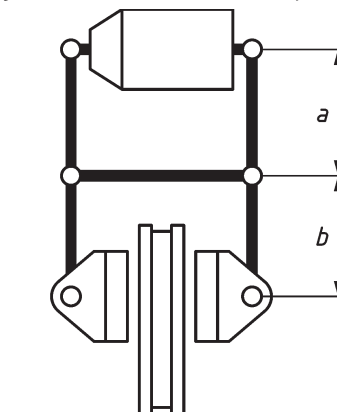
$$p_{\text{ap}} = \frac{F_n}{A_b} \quad (28)$$

Mittlere Bremskraft in Bezug auf das Rad je Anordnung der Scheibenbremseinheit

$$\bar{F}_{B,C} = F_b \cdot \mu_m \cdot \frac{r_s}{D/2} \cdot \frac{i_{\text{tra}}}{\eta_{\text{tra}}} \quad (29)$$

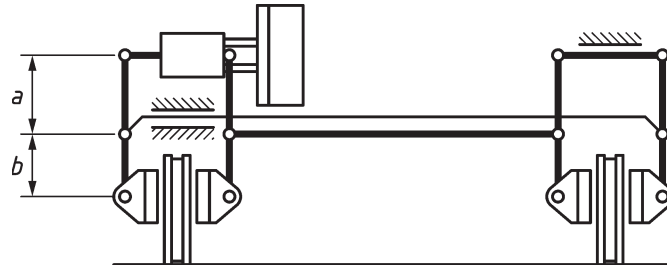
Dabei ist

- p_C Bremszylinderdruck, in Pa;
- A_C Bremszylinderfläche, in m²;
- η_C Bremszylinderwirkungsgrad;
- i_C interne Bremszylinderübersetzung;
- $F_{S,C}$ interne Bremszylinderfederkräfte, in N;
Positiver Wert, wenn $F_{S,C}$ den Bremsvorgang unterstützt, negativer Wert, wenn sie diesem entgegenwirkt.
- $\eta_{\text{rig,dyn}}$ Dynamischer Gestängewirkungsgrad;
- i_{rig} Bremszangenübersetzung, d. h. die Übersetzung unter Berücksichtigung der beiden Bremszangenhebel je Scheibe z. B.:
– Einzelhebelübersetzung $(a/b) \times 2$ für Einzelscheiben je Zylinderanordnung



oder

– Einzelhebelübersetzung $((a/b) \times 2) \times 2$ für 2 Scheiben je Zylinderanordnung



Bei Durchführung einer Berechnung sollte bei der Gesamt-Gestängeübersetzung die Anzahl der von einem Einzelzylinder betriebenen Scheiben berücksichtigt werden, falls mehr als einer vorhanden ist.

$n_{\text{disc,C}}$	Anzahl der Bremsscheiben je Bremseinheit; z. B. normalerweise $n_{\text{disc,C}} = 1$ In einer Doppelbremszangenanordnung jedoch $n_{\text{disc,C}} = 2$. In einer Radbremsscheibenanordnung die Anzahl der Bremsscheiben je Rad $n_{\text{disc,C}} = 1$.
$n_{\text{ap,disc}}$	Anzahl der Kraftangriffspunkte je Bremsscheibe; In Bremszangenanordnung $n_{\text{ap,disc}} = 2$.
μ_m	mittlerer Belagreibwert;
η_{tra}	Wirkungsgrad der Übertragung, wenn ein Getriebe zwischen Rad und Radsatz angebracht ist, auf dem die Bremsscheibe montiert ist. Wenn kein Getriebe vorhanden ist $\eta_{\text{tra}} = 1$;
i_{tra}	Übersetzung der Übertragung wenn ein Getriebe zwischen Rad und Radsatz angebracht ist, auf dem die Bremsscheibe montiert ist. Wenn kein Getriebe vorhanden ist $i_{\text{tra}} = 1$;
r_s	mittlerer Bremsradius des Bremsbelags auf der Reibfläche, in m;
D	Raddurchmesser, in m;
A_b	Gesamtfläche der Reibfläche je Kraftangriffspunkt, in m ² .

4.4.5.2 Spindelhandbremse (Scheibenbremse)

Die Bremseinrichtung einer Spindelhandbremse wirkt auf eine Anordnung mit mehreren Bremszangen wie in Bild 6 gezeigt. Die durch das Handrad oder den Kurbelgriff erzeugte Kraft wird üblicherweise mittels eines Getriebes und danach durch flexible Seile auf die Bremszangen und danach mittels der Bremszangenhebel auf die Bremsbeläge übertragen. Dies wird üblicherweise als Feststellbremse verwendet.