

**DIN EN 14531-1**

ICS 45.060.01

Einsprüche bis 2012-11-24  
Vorgesehen als Ersatz für  
DIN EN 14531-1:2005-10

**Entwurf****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 prEN 14531-1:2012**

Railway applications –

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

Part 1: General algorithms utilizing mean value calculation for train sets or single vehicles;  
German version prEN 14531-1:2012

Applications ferroviaires –

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

Partie 1: Algorithmes généraux utilisant des valeurs moyennes pour des compositions de trains ou véhicules isolés;

Version allemande prEN 14531-1:2012

**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2012-09-24 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an [fsf@din.de](mailto:fsf@din.de) in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/stellungnahme](http://www.din.de/stellungnahme) oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter [www.dke.de/stellungnahme](http://www.dke.de/stellungnahme) abgerufen werden;
- oder online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter [www.entwuerfe.din.de](http://www.entwuerfe.din.de), sofern dort wiedergegeben;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN (Hausanschrift: Panoramaweg 1, 34131 Kassel).

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

Gesamtumfang 88 Seiten

Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN

## Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 14531-1:2012) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

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

Dieses Dokument beruht auf der Grundlage einer englischen Referenzfassung.

### Änderungen

Gegenüber DIN EN 14531-1:2005-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Aktualisierung der normativen Verweisungen;
- b) Reduzierung der ursprünglich auf sechs Normteile ausgelegten Reihe auf drei Normteile.

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

*Applications ferroviaires — Méthodes de calcul des distances d'arrêt, de ralentissement et d'immobilisation — Partie 1: Algorithmes généraux utilisant des valeurs moyennes pour des compositions de trains ou véhicules isolés*

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

ICS:

Deskriptoren

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

STD Version 2.4e - RC2

## Inhalt

Seite

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Vorwort .....                                                                                  | 4  |
| Einleitung.....                                                                                | 5  |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                                      | 6  |
| 2 Normative Verweisungen.....                                                                  | 6  |
| 3 Begriffe, Formelzeichen und Abkürzungen .....                                                | 6  |
| 3.1 Begriffe .....                                                                             | 6  |
| 3.2 Formelzeichen und Indizes .....                                                            | 8  |
| 4 Berechnung von Anhalte- und Verzögerungswegen .....                                          | 10 |
| 4.1 Allgemeines .....                                                                          | 10 |
| 4.2 Genauigkeit der Eingangswerte .....                                                        | 10 |
| 4.3 Allgemeine Merkmale .....                                                                  | 10 |
| 4.3.1 Zugkonfiguration .....                                                                   | 10 |
| 4.3.2 Zugmerkmale.....                                                                         | 11 |
| 4.4 Eigenschaften der Bremseinrichtungen .....                                                 | 13 |
| 4.4.1 Allgemeines .....                                                                        | 13 |
| 4.4.2 Kräfte der Reibungsbremse/Klotzbremsausrüstung .....                                     | 14 |
| 4.4.3 Kräfte der Reibungsbremse- (Scheibenbremse-)ausrüstung .....                             | 20 |
| 4.4.4 Mittlerer dynamischer Reibwert ( $\mu_n$ ).....                                          | 24 |
| 4.4.5 Bremskräfte anderer Bremseinrichtungen .....                                             | 24 |
| 4.4.6 Zeitabhängige Merkmale .....                                                             | 33 |
| 4.4.7 Überlagerungskonzept.....                                                                | 36 |
| 4.4.8 Teilen und Aufteilen der erreichten Bremskräfte .....                                    | 38 |
| 4.5 Ausgangs- und Betriebsbedingungen.....                                                     | 38 |
| 4.5.1 Streckenneigung .....                                                                    | 38 |
| 4.5.2 Anfangsgeschwindigkeit .....                                                             | 39 |
| 4.5.3 Kraftschlusswert.....                                                                    | 39 |
| 4.5.4 Höhe der Bremsanforderung.....                                                           | 40 |
| 4.5.5 Anzahl der verfügbaren Arten von Bremseinrichtungen.....                                 | 40 |
| 4.5.6 Berechnung von eingeschränkten Bedingungen.....                                          | 40 |
| 4.6 Gesamt-Verzögerungskraft auf der Zugebene .....                                            | 40 |
| 4.7 Externe Kräfte .....                                                                       | 41 |
| 4.7.1 Neigung.....                                                                             | 41 |
| 4.7.2 Auf den Zug wirkende Windkraft.....                                                      | 41 |
| 4.7.3 Rollwiderstand .....                                                                     | 41 |
| 4.8 Berechnung des Anhalte- und Verzögerungsbremswegs auf der Grundlage von Mittelwerten ..... | 41 |
| 4.8.1 Mittlere Bremskraft bezogen auf den Weg.....                                             | 42 |
| 4.8.2 Äquivalente Verzögerung ( $a_e$ ) auf der Grundlage von mittleren Kräften.....           | 42 |
| 4.8.3 Durch jede Bremskraft verursachte mittlere Verzögerung ( $\overline{a_i}$ ) .....        | 42 |
| 4.8.4 Äquivalenter ungebremsster Weg ( $s_0$ ).....                                            | 43 |
| 4.8.5 Anhalte- und Verzögerungsbremswege (s) .....                                             | 43 |
| 4.8.6 Anhalteweg bei Neigung( $s_{grad}$ ) .....                                               | 44 |
| 4.8.7 Weitere besondere Gleichungen zur Berechnung des Anhaltewegs.....                        | 45 |
| 4.9 Zusätzliche dynamische Berechnungen .....                                                  | 45 |
| 4.9.1 Allgemeines .....                                                                        | 45 |
| 4.9.2 Abzubremsende Masse ( $m_B$ ) .....                                                      | 45 |
| 4.9.3 Bremsenergie .....                                                                       | 45 |
| 4.9.4 Bremsleistung .....                                                                      | 47 |
| 4.9.5 Größte spezifische Leistungsdichte für die jeweilige Reibungsbremsart.....               | 48 |

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.10                    | Spezifische Leistungsformeln .....                                                                                                                                                                                                                          | 48 |
| 4.10.1                  | Allgemeines .....                                                                                                                                                                                                                                           | 48 |
| 4.10.2                  | Bremsgewichtshundertstel ( $\lambda$ ).....                                                                                                                                                                                                                 | 48 |
| 4.10.3                  | Bremsgewicht .....                                                                                                                                                                                                                                          | 48 |
| 4.10.4                  | Abbremsung .....                                                                                                                                                                                                                                            | 48 |
| 4.10.5                  | Äquivalente Bremskraft .....                                                                                                                                                                                                                                | 49 |
| 5                       | Berechnung der Feststellbremse .....                                                                                                                                                                                                                        | 49 |
| 5.1                     | Allgemeines .....                                                                                                                                                                                                                                           | 49 |
| 5.2                     | Allgemeine Eigenschaften .....                                                                                                                                                                                                                              | 49 |
| 5.3                     | Statischer Reibwert .....                                                                                                                                                                                                                                   | 49 |
| 5.4                     | Fahrzeug- und betriebsspezifische Eigenschaften .....                                                                                                                                                                                                       | 50 |
| 5.5                     | Durch die jeweilige Art einer Bremseinrichtung erzeugte Feststellkraft.....                                                                                                                                                                                 | 50 |
| 5.5.1                   | Kraft der Spindelhandbremse (Klotzbremse) .....                                                                                                                                                                                                             | 50 |
| 5.5.2                   | Kraft der Spindelhandbremse (Scheibenbremse).....                                                                                                                                                                                                           | 50 |
| 5.5.3                   | Kraft der Klotzbremseinheit .....                                                                                                                                                                                                                           | 50 |
| 5.5.4                   | Kraft der Scheibenbremseinheit .....                                                                                                                                                                                                                        | 50 |
| 5.5.5                   | Kraft der Permanent-Magnetschienenbremse .....                                                                                                                                                                                                              | 51 |
| 5.6                     | Feststellkraft je Radsatz .....                                                                                                                                                                                                                             | 52 |
| 5.7                     | Gesamt-Feststellkraft je Zug .....                                                                                                                                                                                                                          | 52 |
| 5.8                     | Sicherheitskoeffizient der Feststellbremse .....                                                                                                                                                                                                            | 53 |
| 5.9                     | Je gebremstem Radsatz erforderlicher Kraftschlusswert .....                                                                                                                                                                                                 | 53 |
| 5.10                    | Größtmögliche Neigung.....                                                                                                                                                                                                                                  | 54 |
| Anhang A (informativ)   | Ablaufdiagramm des Berechnungsverfahrens für Anhalte- und Verzögerungsbremswege.....                                                                                                                                                                        | 55 |
| Anhang B (informativ)   | Ablaufdiagramm der Feststellbremsberechnungen .....                                                                                                                                                                                                         | 57 |
| Anhang C (informativ)   | Berechnungsbeispiele für Arten von Bremseinrichtungen .....                                                                                                                                                                                                 | 58 |
| Anhang D (informativ)   | Berechnungsbeispiele für Anhalte- und Feststellbremswege .....                                                                                                                                                                                              | 72 |
| D.1                     | Allgemeines .....                                                                                                                                                                                                                                           | 72 |
| D.2                     | Berechnungen des Anhaltebremswegs .....                                                                                                                                                                                                                     | 74 |
| D.3                     | Berechnungen des Anhaltewegs des Zugs in einer Neigung.....                                                                                                                                                                                                 | 75 |
| D.4                     | Berechnungen zur Feststellbremse (Parkbremse) des Zugs .....                                                                                                                                                                                                | 76 |
| Anhang E (informativ)   | Entwicklung der Gleichung zur mittleren Bremskraft in Bezug auf den Bremsweg .....                                                                                                                                                                          | 77 |
| 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 ..... | 78 |
| Anhang G (informativ)   | Anforderungen und Berechnungsbeispiele für erforderliche Bremskraftdaten für „UK rolling stock library“ .....                                                                                                                                               | 80 |
| G.1                     | Zweck.....                                                                                                                                                                                                                                                  | 80 |
| G.2                     | Anwendung .....                                                                                                                                                                                                                                             | 80 |
| G.3                     | Allgemeines .....                                                                                                                                                                                                                                           | 80 |
| G.4                     | Berechnung der Bremskraftdaten .....                                                                                                                                                                                                                        | 80 |
| G.4.1                   | Fahrzeuge mit nur einem Bremskraftwert oder mit festen Werten jeweils für den unbeladenen und beladenen Zustand.....                                                                                                                                        | 80 |
| G.4.2                   | Fahrzeuge mit einem beladungsabhängigen Bremskraftwert.....                                                                                                                                                                                                 | 81 |
| G.4.3                   | Für die Ableitung der Bremskraft zu berücksichtigende Faktoren .....                                                                                                                                                                                        | 82 |
| G.5                     | Verweisungen (GB Normen).....                                                                                                                                                                                                                               | 83 |
| Anhang ZA (informativ)  | Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2008/57/EG .....                                                                                                                                       | 85 |
| Literaturhinweise ..... |                                                                                                                                                                                                                                                             | 86 |

## Vorwort

Dieses Dokument (prEN 14531-1:2012) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 14531-1:2005 ersetzen.

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

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

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

- 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.

## Einleitung

Das Ziel der vorliegenden Europäischen Norm besteht darin, die Eisenbahnindustrie und Betreiber in die Lage zu versetzen, mit einem gemeinsamen Berechnungsverfahren zu arbeiten.

Sie beschreibt allgemeine Grundlagen unter Verwendung der Mittelwertberechnung für die Auslegung und Bewertung von Bremsausrüstungen und Bremsleistungen für alle Arten von Zugverbänden und Einzelfahrzeugen. Darüber hinaus stellen diese Grundlagen eine Möglichkeit dar, die Ergebnisse anderer Leistungsberechnungsverfahren miteinander zu vergleichen.

Um zum besseren Verständnis einer Norm beizutragen, kann es erforderlich sein, Informationen in Form von normativen und/oder informativen Anhängen und/oder Anmerkungen und Beispielen hinzuzufügen.

Normative Anhänge enthalten verbindliche Forderungen zusätzlich zu denjenigen, die im Hauptteil des Dokuments enthalten sind. Die Hinzufügung normativer Anhänge ist optional. Der normative Status eines Anhangs wird durch die Art und Weise verdeutlicht, auf die dieser im Text verwiesen wird, durch Hinweis im Inhaltsverzeichnis sowie durch die Überschrift des Anhangs.

Informative Anhänge enthalten zusätzliche Informationen, die nicht verbindlich sind, die jedoch das Verständnis und die Anwendung des Dokuments erleichtern. Diese enthalten keine verbindlichen Anforderungen, mit Ausnahme von optionalen Anforderungen. Die Hinzufügung von informativen Anhängen ist optional. Der informative Status eines Anhangs wird durch die Art und Weise verdeutlicht, auf die dieser im Text verwiesen wird, durch Hinweis im Inhaltsverzeichnis sowie durch die Überschrift des Anhangs. Informative Anhänge können optional Anforderungen enthalten. So kann beispielsweise ein optionales Prüfverfahren Anforderungen enthalten; es besteht jedoch keine Verpflichtung, diese Anforderungen einzuhalten, um dem Dokument zu entsprechen.

Anmerkungen und Beispiele, die im Dokument enthalten sind dienen lediglich dazu, zusätzliche Informationen zu geben, die nicht verbindlich sind, jedoch das Verständnis oder die Anwendung des Dokuments erleichtern. Diese Elemente enthalten keinerlei Anforderungen oder andere Informationen, die für die Anwendung des Dokuments unerlässlich sind.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm beschreibt allgemeine Berechnungsverfahren, die für alle Arten von Zugverbänden, Einheiten oder Einzelfahrzeugen, einschließlich Hochgeschwindigkeitsfahrzeugen, Lokomotiven, Reisezugwagen, konventionelle Fahrzeuge und Güterwagen gelten.

Diese Norm legt keine Leistungsanforderungen fest. Sie ermöglicht die Ermittlung und/oder 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 prEN 14531-2, d. h. eine schrittweise Berechnung, durchgeführt wird.

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

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 14067-2, *Bahnanwendungen — Aerodynamik — Teil 2: Aerodynamik auf offener Strecke*

EN 14478, *Bahnanwendungen — Bremsen — Oberbegriff*

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

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

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

## 3 Begriffe, Formelzeichen und Abkürzungen

### 3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 14478, prEN 14531-2, ISO 80000-3 und ISO 80000-4 und die folgenden Begriffe.

#### 3.1.1

##### **statische Fahrzeugmasse je Radsatz**

Masse, die durch Wägen an der Rad-Schiene Schnittstelle gemessen oder durch Konstruktionsbeurteilung an jedem Radsatz für jeden erforderlichen Betriebszustand am stehenden Fahrzeug ermittelt wird, z. B. Betriebsmasse betriebsbereites Fahrzeug, wie in EN 15563 festgelegt

#### 3.1.2

##### **statische Masse des Zuges**

Summe aller Werte der statischen Massenwerte je Einheit, z. B. je Radsatz für jede Betriebsbedingung

#### 3.1.3

##### **äquivalente rotatorische Masse**

lineare Umwandlung des Trägheitsmoments aufgrund von am Radsatz während des Bremsvorgangs befestigten rotierenden Teilen, z. B. Bremsscheibe, Treibrad, usw.

#### 3.1.4

##### **Art einer Bremseinrichtung (/)**

Gruppe von Ausrüstungen, deren Funktion darin besteht, Bremskraft bereitzustellen

#### 3.1.5

##### **Klotzbremseinheit/Scheibenbremseinheit**

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Wird gelegentlich auch als Klotz-/Scheibenbremskrafterzeuger bezeichnet.

#### 3.1.6

##### **abgesperrte Bremseinrichtung**

Ausrüstung, die für die Berechnung nicht berücksichtigt wird, da sie als abgesperrt angenommen wird, wie z. B. das Drehgestell

#### 3.1.7

##### **aktive Bremseinrichtung**

Ausrüstung, die in Bezug auf die Berechnung einer spezifischen Bremseinrichtungsart als funktionsfähig angenommen wird

#### 3.1.8

##### **Mittelwertberechnung**

Berechnungsverfahren, bei dem die für jede aktive Art einer Bremseinrichtung verwendeten, auf Geschwindigkeit, Kraft oder Wegen basierende Werte, für einen bestimmten Geschwindigkeitsbereich anwendbare Mittelwerte sind

#### 3.1.9

##### **Verzögerung**

für die Anwendung dieser Norm wird die Verzögerung als positiver Wert angesehen

#### 3.1.10

##### **Verzögerungskraft**

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die Anwendung dieser Norm wird die Verzögerungskraft als positiver Wert angesehen; daher wird die Beschleunigungskraft als negativer Wert angesehen.

#### 3.1.11

##### **Bremskraft**

Kraft, die durch die aktiven Arten von Bremseinrichtungen erzeugt wird, um den Zug abzubremesen. Sie beinhaltet keine externen Kräfte, die zur Gesamtverzögerungskraft des Fahrzeugs oder Zugs beitragen

#### 3.1.12

##### **Einheit**

Gerät oder Teil, das in einer Berechnung berücksichtigt wird, z. B. Zug, Fahrzeug, Drehgestell, Radsatz, Rad

#### 3.1.13

##### **Bremsstellung „Güterzug“ (Kurzform „G“)**

Bremsstellung, die für Güterzüge verwendet wird, die in Übereinstimmung mit EN 15355 mit niedrigen Geschwindigkeiten fahren

#### 3.1.14

##### **Bremszeit**

Zeit zwischen der Verzögerungs- oder Anhaltezeit und der äquivalenten Ansprechzeit

### 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 | Bedeutung                                                                 | Einheit           |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| $A$           | Fläche                                                                    |                   |
| $A$           | Verzögerung                                                               | m/s <sup>2</sup>  |
| $A_s$         | Überstrichene Fläche einer Reibfläche                                     | m <sup>2</sup>    |
| $B$           | Bremsgewicht                                                              | T                 |
| $D$           | Raddurchmesser                                                            | M                 |
| $F$           | Kraft                                                                     | N                 |
| $F$           | Reibungskoeffizient                                                       | -                 |
| $F_B$         | Bremskraft bezogen auf die Schiene                                        | N                 |
| $F_g$         | Hangabtriebskraft                                                         | N                 |
| $G_n$         | normale Erdbeschleunigung = 9,80665 m/s <sup>2</sup> (siehe: ISO 80000-3) | m/s <sup>2</sup>  |
| $I$           | Neigung                                                                   | -                 |
| $i_c$         | Zylinderübersetzung                                                       | -                 |
| $i_{rig}$     | Gestängeübersetzung                                                       | -                 |
| $i_{tra}$     | Getriebeübersetzung                                                       | -                 |
| $J$           | durch Rotation bedingtes Massenträgheitsmoment                            | kg m <sup>2</sup> |
| $m$           | Masse                                                                     | kg                |
| $n$           | Anzahl                                                                    | -                 |
| $P$           | Leistung                                                                  | W                 |
| $p$           | Druck                                                                     | Pa                |
| $r$           | Radius                                                                    | M                 |
| $s$           | Weg                                                                       | M                 |
| $S$           | Sicherheitsfaktor                                                         | -                 |
| $t$           | Zeit                                                                      | S                 |
| $\tau$        | Kraftschlussbeiwert                                                       | -                 |
| $v$           | Geschwindigkeit                                                           | m/s               |
| $W$           | Energie                                                                   | J                 |
| $W_S$         | Energiedichte                                                             | J/m <sup>2</sup>  |
| $\lambda$     | Bremsgewichtshundertstel                                                  | -                 |
| $\mu$         | Reibwert (Bremsbelag oder Bremsklotz)                                     | -                 |
| $\eta$        | Wirkungsgrad                                                              | -                 |

**Tabelle 2 — Allgemeine Indizes (1 von 2)**

| Formelzeichen | Bedeutung                            |
|---------------|--------------------------------------|
| AMG           | Anzugskraft der Magnetschienenbremse |
| ap            | Einleitungspunkt                     |
| ax            | Radsatz                              |

**Tabelle 2** (2 von 2)

| Formelzeichen       | Bedeutung                              |
|---------------------|----------------------------------------|
| a                   | verfügbar                              |
| BEC                 | Bremskraft der Wirbelstrombremse       |
| BED                 | elektro-dynamische Bremskraft          |
| BFR                 | Bremskraft der hydrodynamischen Bremse |
| BMG                 | Bremskraft der Magnetschienenbremse    |
| b                   | Klotz oder Belag                       |
| bog                 | Drehgestell                            |
| C                   | Zylinder/ Einheit/ Aktuator            |
| cha                 | speziell                               |
| Bd                  | geforderte Bremskraft                  |
| disc                | Scheibe                                |
| dyn                 | dynamisch                              |
| e                   | Ersatz                                 |
| ent                 | Einheit                                |
| ext                 | extern                                 |
| fin                 | Endzustand                             |
| H                   | Handbremse                             |
| i                   | Art einer 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                 | rotatorisch, rotierend                 |
| R1                  | Rückstellfeder                         |
| R2                  | Regler                                 |
| S                   | Feder                                  |
| st                  | statisch                               |
| T                   | Tangentialrichtung                     |
| tot                 | Gesamt                                 |
| tra                 | Getriebe                               |
| wind                | Wind                                   |
| 0                   | Eingangstatus                          |
| 1, 2, 3, 4 --- usw. | Zwischen-                              |

## 4 Berechnung von Anhalte- und Verzögerungswegen

### 4.1 Allgemeines

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

Im Allgemeinen können die in diesem Abschnitt enthaltenen Gleichungen in einer ersten Näherungsrechnung bei Berücksichtigung konstanter, von der Geschwindigkeit unabhängiger Bremskräfte verwendet werden.

In einer zweiten Näherungsrechnung können die Gleichungen als eine Mittelwertberechnung zur Betrachtung einer von der Geschwindigkeit abhängigen Bremskraft verwendet werden, welche in einen mittleren Bremskraftwert umgewandelt wird. Dieser Mittelwert der Bremskraft wird als eine voll aufgebaute Kraft ohne Berücksichtigung der Ansprechzeiten angesehen und ergibt den gleichen Bremsweg. Siehe Anhang E.

Die in dieser Norm enthaltenen Berechnungsverfahren verwenden Mittelwerte; für eine schrittweise Berechnung ist prEN 14531-2 anzuwenden, welche Momentanwerte verwendet.

### 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 wo zutreffend der Berechnung beigelegt werden.

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

### 4.3 Allgemeine Merkmale

#### 4.3.1 Zugkonfiguration

In Abhängigkeit von der Auslegung des Bremssystems müssen die zur Durchführung der Berechnung erforderlichen Parameter auf der Ebene einer Einheit, z. B. des Radsatzes, Drehgestells oder Fahrzeugs, definiert werden.

Berechnungen sind für jede Art einer Bremseinrichtung durchzuführen. Auf diese Weise müssen die Bremskraftbeiträge aller Arten von Bremseinrichtungen (z. B. Scheibenbremsen, Klotzbremsen, elektrodynamische Bremsen) in Betracht gezogen werden. Sämtliche für eine Einheit verwendete Arten von Bremseinrichtungen 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 Bremseinrichtungen;
- Anzahl der kraftschlussunabhängigen Bremseinrichtungen.

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 Interoperabilität (TSI) für das Trans-Europäische Konventionelle Eisenbahnsystem, Untersystem Fahrzeuge verwendet.

Wenn die in einen Zug eingebauten Bremseinrichtungen unter anderen Bedingungen verwendet werden, z. B. Lastgrenze, Geschwindigkeitsbereich, Bremsanforderung, 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 Zug- oder Radsatzmasse ( $m_{st}$ )

Die statische Fahrzeugmasse je Zug und/oder Radsatz (wie in 3.1 definiert) wird üblicherweise zur Ermittlung der erforderlichen Bremskraft beziehungsweise der Kraftschlussanforderungen verwendet.

Falls es unterschiedliche Werte für die statischen Radsatzmassen gibt, muss die Masse für jeden Radsatz berechnet werden.

ANMERKUNG 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.

##### 4.3.2.2 Trägheitsmoment ( $m_{rot}$ )

Das äquivalente rotatorische Masse ist durch Berechnung oder falls zutreffend mittels eines anerkannten Versuchsverfahrens zu ermitteln.

Die der rotatorischen Masse zugeordnete Radgröße muss angegeben werden. Alle festgestellten Werte für die äquivalente rotatorische Masse, angegeben durch % der statischen Masse, müssen unter Verwendung der Betriebsmasse des betriebsbereiten Fahrzeugs für jedes Fahrzeug innerhalb des Zuges berechnet werden.

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

ANMERKUNG 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.

Die äquivalente rotatorische Masse wird nicht durch eine Laständerung verändert.

Falls das durch Rotation bedingte Trägheitsmoment ( $J$ ) statt der äquivalenten rotatorischen Masse bekannt ist, muss der zugehörige Raddurchmesser bestimmt werden. Dieser Durchmesser bezieht sich üblicherweise auf neue Räder. Die Gleichung zur Berechnung der äquivalenten rotatorischen Masse unter Verwendung des Trägheitsmomentes ist wie folgt:

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

##### 4.3.2.3 Dynamische Masse ( $m_{dyn}$ )

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

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

#### 4.3.2.4 Raddurchmesser

Der Raddurchmesser wird in der Messkreisebene gemessen.

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

Zur Überprüfung des erforderlichen Kraftschlusswertes  $\tau_{\text{req}}$  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 Größen ausgerüstet ist (konstruktiv bedingt und nicht aufgrund von Verschleiß) ist jede Radgröße im Zugverband anzugeben.

#### 4.3.2.5 Mittlerer Rollwiderstand des Zugs

Der Rollwiderstand des Zugs ist Bestandteil der Verzögerungskraft die sich durch die Zugstruktur ergibt und in EN 14067-2 als „Laufwiderstand“ bezeichnet wird, jedoch Momentanwerte verwendet.

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 kann die folgende auf Mittelwerte basierende mathematische Gleichung verwendet werden, die aus der Momentanwertgleichung der EN 14067-2 abgeleitet wurde:

$$\overline{F_{\text{Ra}}} = A + \frac{2}{3} \cdot B \cdot \frac{v_0^2 + v_0 \cdot v_{\text{fin}} + v_{\text{fin}}^2}{v_0 + v_{\text{fin}}} + \frac{1}{2} \cdot C \cdot (v_0^2 + v_{\text{fin}}^2) \quad (3)$$

Dabei ist

| Formelzeichen              | Erläuterung                                                                           | Einheit              |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| $F_{\text{Ra}}$            | Momentanwert der Rollwiderstandskraft des Zugs                                        | N                    |
| $\overline{F_{\text{Ra}}}$ | Mittelwert der Rollwiderstandskraft des Zugs                                          | N                    |
| $v$                        | Zuggeschwindigkeit<br>in EN 14067-2 als $v_{\text{tr}}$ bezeichnet                    | m/s                  |
| $v_0$                      | Ausgangsgeschwindigkeit des Zugs                                                      | m/s                  |
| $v_{\text{fin}}$           | Endgeschwindigkeit des Zugs                                                           | m/s                  |
| $A$                        | geschwindigkeitsunabhängiger Beiwert des Zugs, in EN 14067-2 als $C_1$ bezeichnet     | N                    |
| $B$                        | Beiwert des Zugs proportional zur Geschwindigkeit, in EN 14067-2 als $C_2$ bezeichnet | N/(m/s)              |
| $C$                        | Beiwert des Luftwiderstands, in EN 14067-2 als $C_3$ bezeichnet                       | N/(m/s) <sup>2</sup> |

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, Zuglänge. Werte für  $A$ ,  $B$ , und  $C$  können durch Verwendung des in EN 14067-2 angegebenen Versuchsverfahrens ermittelt werden.

In einer ersten Näherung können Entwickler den Rollwiderstand außer Acht lassen, wenn dies auch für die rotatorischen Massen zutrifft, bis diese 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 Abschnitt der Norm stellt dar, wie die durch die jeweilige Bremseinrichtung in Bezug auf die Schiene verursachte Bremskraft berechnet wird.

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

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:

- Die/der innere Übersetzung/Faktor ( $i_C$ ) des Zylinders, die üblicherweise 1 beträgt, 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 Bremsausrüstung und um einen **negativen Wert** für eine Federspeicher-Bremsausrüstung.
- Die Zylinderfederkraft 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**.

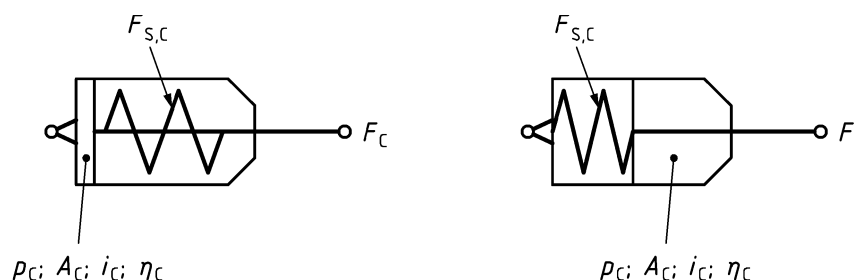


**Bild 1 — Grundlegende Darstellung eines druckbetätigten (links) und eines Federspeicher-Bremszylinders (rechts)**

Die nachfolgenden Abschnitte 4.4.2 und 4.4.3 betrachten die Gleichungen für eine repräsentative Klotzbremse- 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.

#### 4.4.1.1 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 werden auch durch die Konstruktion bedingte Federkräfte überwunden (z. B. Zylinderfeder, Federn in Verschleißnachstellern).

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

Die Bremskraft ist unabhängig vom Raddurchmesser.

#### 4.4.1.2 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 Verschleißnachstellern).

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 ist abhängig vom Raddurchmesser.

### 4.4.2 Kräfte der Reibungsbremse/Klotzbremsausrüstung

#### 4.4.2.1 Klotzbremseinheit

Die Bremsausrüstung einer Klotzbremseinheit wirkt auf eine Bremsschuhanordnung je Zylinder wie in Bild 2 gezeigt.

ANMERKUNG 1 Bild 2 zeigt eine repräsentative Anordnung einer druckbetätigten Klotzbremseinheit. Das gleiche Prinzip gilt für eine Ausführung mit Federspeicher, die internen Federkräfte der Bremseinheit werden jedoch mit umgekehrtem Vorzeichen verwendet.

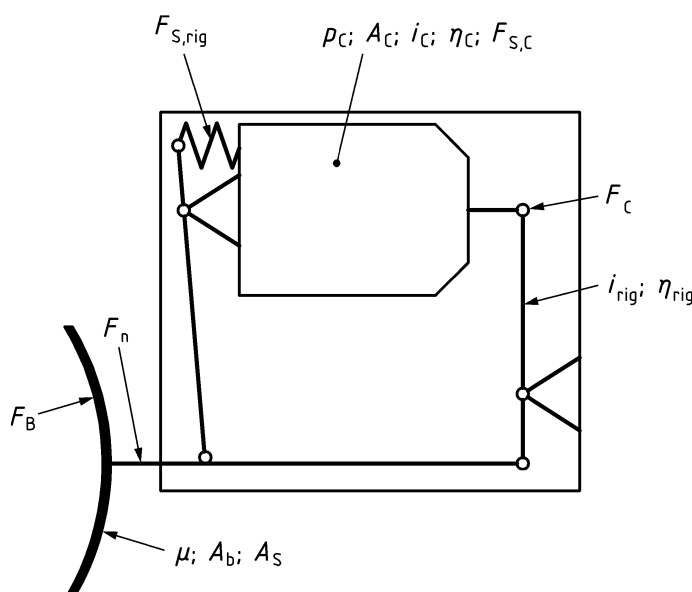


Bild 2 — Repräsentative Klotzbremseinheit

Die Bremskrafteigenschaften einer Klotzbremseinheit können wie folgt ausgedrückt werden:

#### Bremszylinderkraft

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

Kraft auf dem Einleitungspunkt

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

Druck je Einleitungspunkt

$$p_{ap} = \frac{F_n}{A_b} \quad (6)$$

Bremskraft je Bremseinheit

$$F_{B,C} = F_n \cdot \mu \quad (7)$$

Dabei ist

| Formelzeichen    | Erläuterung                                                                      | Einheit        |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| $p_c$            | Bremszylinderdruck                                                               | Pa             |
| $A_c$            | Bremszylinderfläche                                                              | m <sup>2</sup> |
| $\eta_c$         | Wirkungsgrad der internen Bremseinheit                                           | -              |
| $i_c$            | Übersetzung/innerer Faktor der internen Bremseinheit                             | -              |
| $F_{s,c}$        | Summe der internen Bremszylinderfederkräfte                                      | N              |
| $\eta_{rig,dyn}$ | Dynamischer Wirkungsgrad des Bremsgestänges                                      | -              |
| $i_{rig}$        | Gestängeübersetzung                                                              | -              |
| $F_{s,rig}$      | Gestängefederkraft                                                               | N              |
|                  | Üblicherweise als Gestänge-Rückzugsfeder verwendet; ist daher ein negativer Wert |                |
| $\mu_m$          | mittlerer Reibwert des Bremsklotzes                                              | -              |
| $A_b$            | Gesamtreibfläche je Einleitungspunkt                                             | m <sup>2</sup> |

ANMERKUNG 2 In Bezug auf Wirkungsgrade von Gestängen, Übersetzungen und Rückzugsfedern können diese für Klotzbremseinheiten vollständig in der Einheit selbst enthalten sein.

#### 4.4.2.2 Klotzbremse

Die Bremsausrüstung einer Klotzbremse wirkt auf eine Anordnung von mehreren Bremsklötzen je Zylinder wie in Bild 3 gezeigt (eine typische zweiseitige Bremsklotzanordnung). Dies trifft jedoch ebenfalls für die einseitige Bremsklotzanordnung mit einem Einleitungspunkt 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.

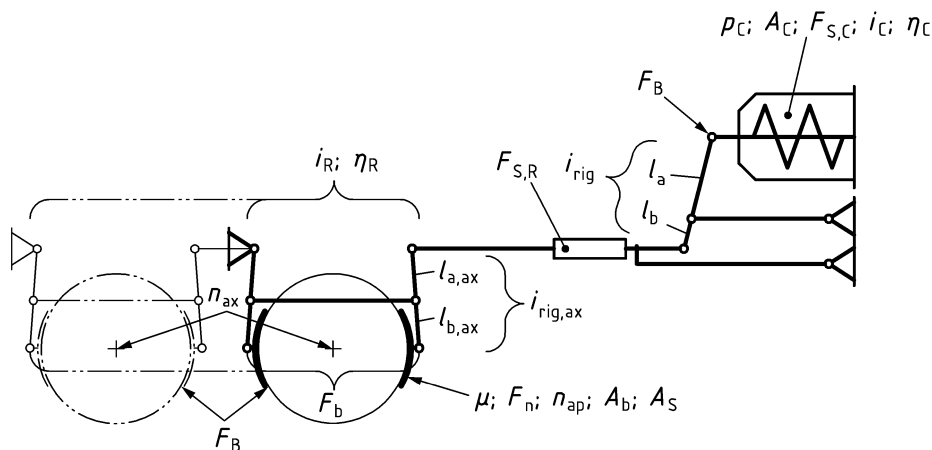


Bild 3 —Typische Klotzbremsanordnung

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 auf den Einleitungspunkten

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

mit den Übersetzungen:

$$i_{rig} = l_a / l_b \quad (10)$$

und

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

mit

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

Kraft je Einleitungspunkt

$$F_n = \frac{F_b}{2 \cdot n_{ax} \cdot n_{ap}} \quad (13)$$

Druck je Einleitungspunkt

$$p_{ap} = \frac{F_n}{A_b} \quad (14)$$

Gesamtbremskraft je Bremsausrüstung

$$F_{B,C} = F_b \cdot \mu_m \quad (15)$$

Dabei ist

| Formelzeichen | Erläuterung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Einheit        |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| $p_C$         | Bremszylinderdruck                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Pa             |
| $A_C$         | Bremszylinderfläche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | m <sup>2</sup> |
| $\eta_C$      | Wirkungsgrad der inneren Bremseinheit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | -              |
| $i_C$         | innere Übersetzung/innerer Faktor des Bremszylinders<br>Der Wert der Übersetzung/des Faktors beträgt üblicherweise 1; dieser Wert kann jedoch im Fall einer inneren Zylinderübersetzung hiervon abweichen.<br>Das Vorzeichen der Übersetzung oder des Faktors hängt von der Art der Bremsausrüstung ab; d.h. dieser ist im Fall einer druckbetätigten Bremsausrüstung <b>positiv</b> und im Fall einer Federspeicherbremseinrichtung <b>negativ</b> . | -              |
| $F_{S,C}$     | Summe der internen Bremszylinderfederkräfte<br>ANMERKUNG 1 <b>Positiver</b> Wert für die Bremskraft; <b>negativer</b> Wert für die Lösekraft.                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | N              |
| $F_{S,R}$     | Kraft des Verschleißnachstellers<br>ANMERKUNG 2 <b>Positiver</b> Wert für die Bremskraft; <b>negativer</b> Wert für die Lösekraft.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | N              |
| $I_{rig}$     | Übersetzung des Mittenbremsgestänges<br>(falls eine Umstelllast definiert wurde, muss die Übersetzung in Bezug auf die betreffende Last berechnet werden)                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -              |
| $L_a$         | Hebellänge des Mittenbremsgestänges                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | m              |
| $L_b$         | Hebellänge des Mittenbremsgestänges                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | M              |
| $i_R$         | Gesamtgestängeübersetzung nach dem Gestängesteller;<br>z.B. $i_R = 4$ für einen konventionellen Güterwagen mit 2 Radsätzen mit 4 Einleitungspunkten (siehe $n_{ap}$ ) je Radsatz                                                                                                                                                                                                                                                                      | -              |
| $\eta_R$      | Gesamtwirkungsgrad des Bremsgestänges                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | -              |
| $i_{rig,ax}$  | Radsatzgestängeübersetzung je Einleitungspunkt;<br>üblicherweise beträgt der Faktor $i_{a,ax} / i_{b,ax} = 1$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | -              |
| $l_{a,ax}$    | Hebellänge des Radsatzgestänges                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | m              |
| $l_{b,ax}$    | Hebellänge des Radsatzgestänges                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | M              |
| $\mu_m$       | mittlerer Reibwert des Bremsklotzes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | -              |
| $N_{ap}$      | Anzahl der Krafteinleitungspunkte je Rad<br>Bei zweiseitiger Bremsklotzanordnung $n_{ap} = 2$ und im Falle, dass lediglich zwei Einleitungspunkte je Radsatz vorhanden sind (einseitig) $n_{ap} = 1$                                                                                                                                                                                                                                                  | -              |

|          |                                                                  |                |
|----------|------------------------------------------------------------------|----------------|
| $N_{ax}$ | Anzahl der gebremsten Radsätze                                   | -              |
| $A_b$    | gesamter Bereich der Reibfläche je Einleitungspunkt              | m <sup>2</sup> |
| $A_S$    | überstrichene Fläche der Reibfläche einer einzelnen Radlaufläche | m <sup>2</sup> |

#### 4.4.2.3 Handbremse (Klotzbremse)

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

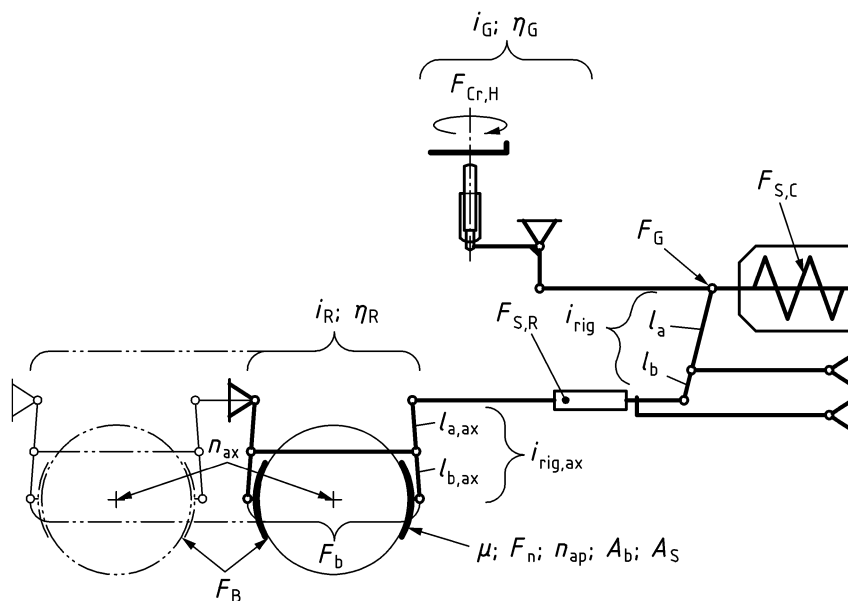


**Bild 4 — Charakteristische Handbrems- (Klotzbrems-)anordnung**

Die Bremskraft einer Handbrems- (Klotzbrems-)anordnung kann wie folgt ausgedrückt werden:

Getriebekraft

$$F_G = F_{CrH} \cdot i_G \cdot \eta_G + F_{SC} \quad (16)$$

Gesamtkraft auf den Einleitungspunkten

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

mit den Übersetzungen

$$i_{\text{rig}} = l_{\text{a}} / l_{\text{b}} \quad (18)$$

und

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

mit

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

Kraft je Einleitungspunkt

$$F_n = \frac{F_b}{2 \cdot n_{ax} \cdot n_{ap}} \quad (21)$$

Flächenpressung je Einleitungspunkt

$$p_{ap} = \frac{F_n}{A_b} \quad (22)$$

Gesamtbremskraft je Bremsausrüstung

$$F_B = F_b \cdot \mu_{st} \quad (23)$$

Dabei ist

| Formelzeichen | Erläuterung                                                                                                                                                                                    | Einheit        |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| $F_{Cr,H}$    | Kraft am Kurbelgriff                                                                                                                                                                           | N              |
| $A_C$         | Bremszylinderfläche                                                                                                                                                                            | m <sup>2</sup> |
| $\eta_G$      | Getriebewirkungsgrad                                                                                                                                                                           | -              |
| $i_G$         | Getriebeübersetzung                                                                                                                                                                            | -              |
| $F_{S,C}$     | Summe der internen Bremszylinderfederkräfte<br>ANMERKUNG 1 <b>Positiver</b> Wert für die Bremskraft; <b>negativer</b> Wert für die Lösekraft.                                                  | N              |
| $F_{S,R}$     | Gegenkraft des Verschleißnachstellers<br>ANMERKUNG 2 <b>Positiver</b> Wert für die Bremskraft; <b>negativer</b> Wert für die Lösekraft.                                                        | N              |
| $I_{rig}$     | Übersetzung des Mittenbremsgestänges<br>(falls eine Umstelllast definiert wurde, muss die Übersetzung in Bezug auf die betreffende Last berechnet werden)                                      | -              |
| $L_a$         | Hebellänge des Mittenbremsgestänges                                                                                                                                                            | m              |
| $l_b$         | Hebellänge des Mittenbremsgestänges                                                                                                                                                            | M              |
| $i_R$         | Gesamtgestängeübersetzung nach dem Gestängesteller;<br>z.B. $i_R = 4$ für einen konventionellen Güterwagen mit 2 Radsätzen mit 4 Einleitungspunkten (siehe $n_{ap}$ ) je Radsatz               | -              |
| $\eta_R$      | Gesamtwirkungsgrad des Bremsgestänges                                                                                                                                                          | -              |
| $i_{rig,ax}$  | Radsatz-Gestängeübersetzung je Einleitungspunkt;<br>üblicherweise beträgt der Faktor $l_{a,ax} / l_{b,ax} = 1$                                                                                 | -              |
| $l_{a,ax}$    | Hebellänge des Radsatzgestänges                                                                                                                                                                | m              |
| $l_{b,ax}$    | Hebellänge des Radsatzgestänges                                                                                                                                                                | M              |
| $\mu_{st}$    | statischer Reibwert des Bremsklotzes                                                                                                                                                           | -              |
| $n_{ap}$      | Anzahl der Krafteinleitungspunkte je Rad<br>Bei zweiseitiger Bremsklotzanordnung $n_{ap} = 2$ und im Falle, dass lediglich ein Einleitungspunkt je Rad vorhanden sind (einseitig) $n_{ap} = 1$ | -              |
| $n_{ax}$      | Anzahl der gebremsten Radsätze                                                                                                                                                                 | -              |
| $A_b$         | Gesamtfläche der Reibfläche je Einleitungspunkt                                                                                                                                                | m <sup>2</sup> |
| $A_S$         | überstrichene Fläche der Reibfläche einer einzelnen Radlaufläche                                                                                                                               | m <sup>2</sup> |



Auf das Rad bezogene Bremskraft je Zylinder

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

Dabei ist

| Formelzeichen    | Erläuterung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Einheit        |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| $p_C$            | Bremszylinderdruck                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Pa             |
| $A_C$            | Bremszylinderfläche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | m <sup>2</sup> |
| $\eta_C$         | Bremszylinderwirkungsgrad                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | -              |
| $i_C$            | Interne(r) Bremzylinderübersetzung/Bremszylinderfaktor<br>ANMERKUNG 3 Physikalisch kann dieser Übersetzungsfaktor anteilig außerhalb des Bremszylinders sein, ist jedoch in der Scheibenbremseinheit enthalten.<br>Der Wert der Übersetzung oder des Faktors beträgt üblicherweise 1; dieser Wert kann jedoch im Fall einer inneren Zylinderübersetzung hiervon abweichen.<br>Das Vorzeichen der Übersetzung oder des Faktors hängt von der Art der Bremsausrüstung ab; d.h. dieser ist im Fall einer druckbetätigten Bremsausrüstung <b>positiv</b> und im Fall einer Federspeicherbremsausrüstung <b>negativ</b> . | -              |
| $F_{S,C}$        | Interne Bremszylinderfederkräfte<br>ANMERKUNG 4 <b>Positiver</b> Wert für die Bremskraft; <b>negativer</b> Wert für die Lösekraft.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | N              |
| $\eta_{rig,dyn}$ | Dynamischer Gestängewirkungsgrad                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | -              |
| $i_{rig}$        | Gestängeübersetzung, d.h. die Übersetzung unter Berücksichtigung der beiden Bremszangenhebel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | -              |
| $n_{disc,C}$     | Anzahl der Bremsscheiben je Bremseinheit<br>z. B. üblicherweise $n_{disc,C} = 1$<br>In einer Doppelbremszangenanordnung jedoch $n_{disc,C} = 2$ .<br>In einer Radbremsscheibenanordnung die Anzahl der Bremsscheiben je Rad $n_{disc,C} = 1$ .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | -              |
| $l$              | Anzahl der Krafteinleitungspunkte je Bremsscheibe<br>Bei Bremszangenanordnung $n_{ap,disc} = 2$ und im Falle, dass lediglich ein Einleitungspunkt je Bremsscheibe vorhanden ist (einseitig) $n_{ap,disc} = 1$ .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | -              |
| $\mu_m$          | mittlerer Belagreibwert                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | -              |
| $\eta_{tra}$     | Wirkungsgrad der Übertragung wenn ein Getriebe zwischen Rad und der Achse angebracht ist, auf dem die Bremsscheibe montiert ist. Wenn kein Getriebe vorhanden ist $\eta_{tra} = 1$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | -              |
| $i_{tra}$        | verwendete Übersetzung wenn ein Getriebe zwischen Rad und der Achse angebracht ist, auf dem die Bremsscheibe montiert ist. Wenn kein Getriebe vorhanden ist $i_{tra} = 1$ .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | -              |
| $r_s$            | mittlerer Reibradius des Bremsbelags auf der Reibfläche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | m              |
| $D$              | Raddurchmesser                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | m              |
| $A_b$            | gesamter Bereich der Reibfläche je Einleitungspunkt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | m <sup>2</sup> |
| $A_S$            | überstrichene Fläche der Reibfläche der Bremsscheibe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | m <sup>2</sup> |

#### 4.4.3.2 Spindelhandbremse (Scheibenbremse)

Die Bremsausrüstung 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.

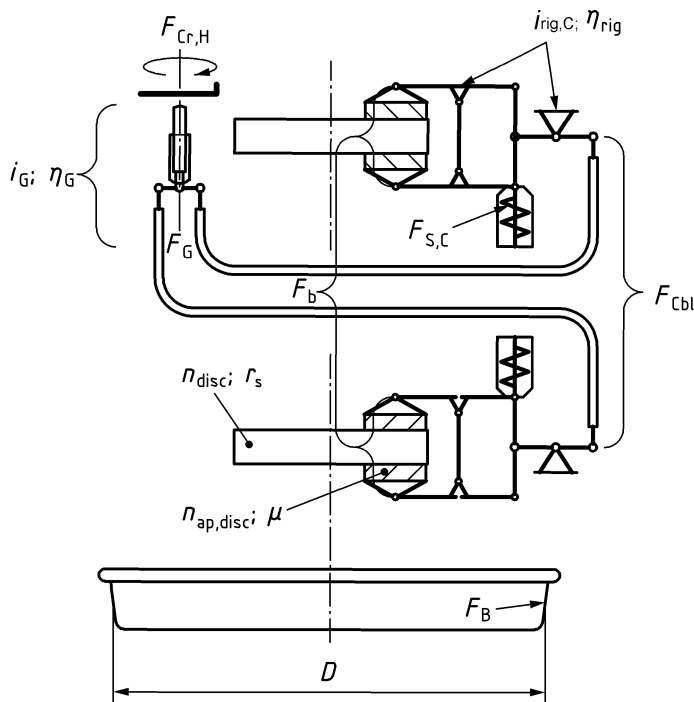


**Bild 6 — Charakteristische Spindelbremsanordnung von Scheibenbremsen**

Die Bremskraft einer Spindelhandbremse (Scheibenbremse) wird üblicherweise ausgedrückt durch:

Getriebekraft

$$F_G = F_{Cr,H} \cdot i_G \cdot \eta_G \quad (30)$$

Gesamtkraft der Seile

$$F_{Cbl} = F_G \cdot \eta_{Cbl} \quad (31)$$

Gesamtkraft auf den Einleitungspunkten

$$F_b = (F_{Cbl} + n_{disc} \cdot F_{S,C}) \cdot i_{rig,C} \cdot \eta_{rig} \quad (32)$$

Kraft je Einleitungspunkt

$$F_n = \frac{F_b}{n_{disc,C} \cdot n_{ap,disc}} \quad (33)$$

Tangentialkraft je Scheibe

$$F_t = \frac{F_n \cdot \mu_{ST}}{n_{disc,C}} \quad (34)$$

Gesamtbremskraft je Bremsausrüstungsart

$$F_B = F_b \cdot \mu_{ST} \cdot \frac{r_s}{D/2} \quad (35)$$

Dabei ist

| Formel-<br>zeichen | Erläuterung                                                                                                                                                                                                                                    | Einheit        |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| $F_{Cr,H}$         | Kraft am Kurbelgriff                                                                                                                                                                                                                           | N              |
| $A_C$              | Bremszylinderfläche                                                                                                                                                                                                                            | m <sup>2</sup> |
| $\eta_G$           | Getriebewirkungsgrad                                                                                                                                                                                                                           | -              |
| $\eta_{Cbl}$       | Wirkungsgrad des Seiles                                                                                                                                                                                                                        | -              |
| $i_G$              | Getriebeübersetzung                                                                                                                                                                                                                            | -              |
| $F_{S,C}$          | Summe der internen Bremszylinderfederkräfte<br>ANMERKUNG 4 <b>Positiver</b> Wert für die Bremskraft; <b>negativer</b> Wert für die Lösekraft.                                                                                                  | N              |
| $i_{rig,C}$        | Gestängeübersetzung je Bremszange, d.h. die Übersetzung unter Berücksichtigung der beiden Bremszangenhebel und des Gestänges zwischen Bremszange und Seil                                                                                      | -              |
| $\eta_{rig}$       | Gestängewirkungsgrad                                                                                                                                                                                                                           | -              |
| $n_{disc,C}$       | Anzahl der Bremsscheiben je Bremseinheit<br>z. B. üblicherweise $n_{disc,C} = 1$<br>In einer Doppelbremszangenanordnung jedoch $n_{disc,C} = 2$ .<br>In einer Radbremsscheibenanordnung die Anzahl der Bremsscheiben je Rad $n_{disc,C} = 1$ . | -              |
| $n_{ap,disc}$      | Anzahl der Krafteinleitungspunkte je Bremsscheibe<br>Bei Bremszangenanordnung $n_{ap,disc} = 2$ und im Falle, dass lediglich ein Einleitungspunkt je Bremsscheibe vorhanden ist (einseitig) $n_{ap,disc} = 1$                                  | -              |
| $\mu_{ST}$         | statischer Belagreibwert                                                                                                                                                                                                                       | -              |
| $n_{ap}$           | Anzahl der Krafteinleitungspunkte je Rad<br>Bei zweiseitiger Bremsklotzanordnung $n_{ap} = 2$ und im Falle, dass lediglich ein Einleitungspunkt je Rad vorhanden ist (einseitig) $n_{ap} = 1$                                                  | -              |
| $r_s$              | Mittlerer Bremsradius des Bremsbelags auf der Scheibenoberfläche                                                                                                                                                                               | m              |
| $D$                | Raddurchmesser                                                                                                                                                                                                                                 | M              |

#### 4.4.4 Mittlerer dynamischer Reibwert ( $\mu_m$ )

Die dynamischen Nennwerte des Reibwerts sind unter Verwendung der in FprEN 15328 für Bremsbeläge oder prEN 16452 für Bremsklötze zu ermitteln.

Im Allgemeinen hängt der Reibwert von fünf grundsätzlichen Parametern ab: Momentangeschwindigkeit, Temperatur, Flächenpressung, Feuchte und die umgesetzte Energie. 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 lediglich 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. Sofern nicht anders angegeben, sollte die Bremsleistung für die festgelegten klimatischen Bedingungen erreicht werden.

Unter Berücksichtigung der oben angeführten Einflüsse müssen auf Versuchsergebnissen basierende Daten ermittelt werden, die die Eigenschaften der Reibwerte der Bremsklötze und/oder der Bremsbeläge beschreiben. Es müssen mindestens die das Projekt betreffenden mittleren Reibwerte sowie die Mittelwerte der festgelegten Geschwindigkeitsbereiche verwendet werden.

Entsprechende Prüfberichte (bzw. Auszüge aus diesen Dokumenten) sollten der Berechnung beigelegt werden.

#### 4.4.5 Bremskräfte anderer Bremseinrichtungen

##### 4.4.5.1 Allgemeines

Für andere Bremseinrichtungen können die Ist-Werte der Bremskraft mittels Berechnungen oder Versuchen ermittelt und in Form einer Tabelle dargestellt werden.

Falls für den betreffenden Geschwindigkeitsbereich keine Ist-Werte vorhanden sind, wird im Folgenden ein Verfahren für die Durchführung von Berechnungen zur Abschätzung der Bremskraft beschrieben.

##### 4.4.5.2 Elektrodynamische Bremse

Im Allgemeinen kann die Bremskraft der elektrodynamischen Bremse mit einer idealisierten Kennlinie beschrieben werden. Das Grundprinzip ist in Bild 7 dargestellt.

Bild 7 zeigt eine Kennlinie einer momentanen Bremskraftkurve, die durch einen typischen Elektromotor erreicht wird, in dem mit einer einzelnen Bremsanforderung das Fahrzeug von seiner Ausgangsgeschwindigkeit bis zum Stillstand abgebremst wird.

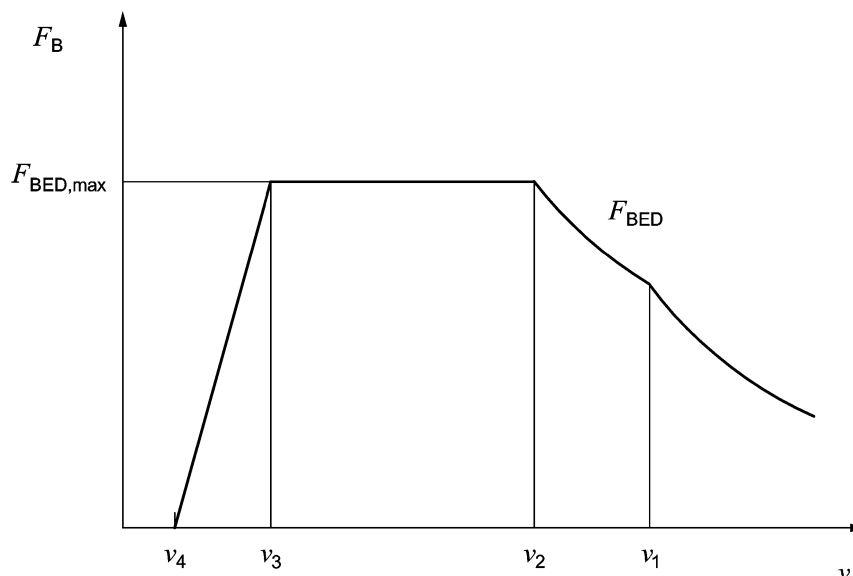


Bild 7 —Eigenschaften der elektrodynamischen Bremskraft

ANMERKUNG 1 Die Exponenten 0, 1, 2, 3, 4 der Geschwindigkeit  $v$  sind in der Reihenfolge des Bremsvorgangs angegeben, beginnend mit der Ausgangsgeschwindigkeit.

Der Abschnitt der Kurve von  $v_1$  bis  $v_{\max}$  (abhängig von  $1/v^2$ ) wird bei einer elektrodynamischen und regenerativen Bremse verwendet, wenn die Spannung durch die Aufnahmefähigkeit der elektrischen Versorgungsleitung begrenzt werden muss.

Der Abschnitt der Kurve von  $v_1$  bis  $v_2$  wird bei elektrodynamischen Bremsen verwendet, wenn die Spannung bedingt durch die Motorauslegung begrenzt ist. Der Abschnitt der Kurve von  $v_2$  bis  $v_3$  wird als maximale Bremskraft der elektrodynamischen Bremse angenommen.

Der Abschnitt der Kurve von  $v_3$  bis  $v_4$  ist der Bereich, in dem die Bremskraft der elektrodynamischen Bremse bedingt durch die Geschwindigkeit abnimmt und üblicherweise durch die überlagerte Bremskraft der Reibungsbremse ersetzt wird, um die geforderte Bremskraft aufrechtzuerhalten.

Die Kurve setzt sich wie folgt zusammen:

ein linearer Abschnitt von  $v_4$  nach  $v_3$

$$F_{\text{BED}} = F_{\text{BED,max}} \cdot \frac{v - v_4}{v_3 - v_4} \quad (36)$$

ein konstanter Abschnitt von  $v_3$  nach  $v_2$

$$F_{\text{BED}} = F_{\text{BED,max}} \quad (37)$$

ein hyperbolischer Abschnitt mit konstanter Leistung von  $v_2$  nach  $v_1$

$$F_{\text{BED}} = F_{\text{BED,max}} \cdot \frac{v_2}{v} \quad (38)$$

ein Abschnitt, der von  $1/v^2$  abhängt von  $v_1$  nach  $v_{\max}$

$$F_{\text{BED}} = F_{\text{BED,max}} \cdot \frac{v_2 \cdot v_1}{v^2} \quad (39)$$

Dabei ist

|                      |                                                                                                     |     |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| $F_{\text{BED}}$     | die momentane Bremskraft der elektrodynamischen Bremse                                              | N   |
| $F_{\text{BED,max}}$ | die maximale Bremskraft der elektrodynamischen Bremse<br>(= Wert der Kraft im konstanten Abschnitt) | N   |
| $v$                  | die momentane Geschwindigkeit                                                                       | m/s |
| $v_1 \dots v_4$      | die bestimmten Geschwindigkeiten                                                                    | m/s |
| $v_{\max}$           | die größte Betriebsgeschwindigkeit                                                                  | m/s |

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.

Die unten angegebenen Gleichungen gehen von einer Haltebremsung aus. Diese können unter Verwendung der zutreffenden Geschwindigkeitsbereiche für die Berechnung der Verzögerungsbremswege angepasst werden.