

Grundlagen der Schienenfahrzeugtechnik



07 Bremse

Dr.-Ing. Michael Karatas

Siemens Mobility GmbH
Krefeld-Uerdingen

michael.karatas@siemens.com



Überblick



- I. Einführung
- II. Zugförderung
- III. Wagenkasten
- IV. Fahrtechnik / Systemkinematik
- V. Komfort
- VI. Antrieb
- VII. Bremse**

Gliederung



Bremse

- Bremsfunktion
- Bremsenbauarten
- Bremsvermögen

Gliederung



Bremse

- Bremsfunktion
- Bremsenbauarten
- Bremsvermögen

7.1 Bremsfunktion

Es ist sicherheitsrelevant, rechtzeitig bremsen zu können!



Historisch

Quelle:
Internet: Bild-Online am 17.02.2017
Zug rammt Prellbock

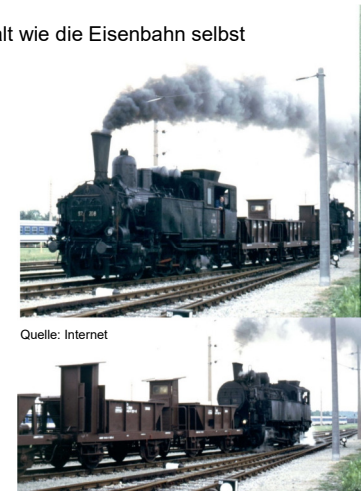
7.1 Bremsfunktion

Herkunft

- Die durchgehende Druckluftbremse ist nicht so alt wie die Eisenbahn selbst
- Am Anfang war die Handbremse
- Auf den Lok als Wurfhebelbremse
- Auf den Wagen als Handbremse auf offenen Plattformen oder hochgestellten Bremserhäuschen

- Zp 1: Achtungssignal
- Zp 2: Handbremsen mäßig anziehen
- Zp 3: Handbremsen stark anziehen
- — Zp 4: Handbremsen lösen
- Zp 5: Notsignal

Güterzug um 1920 mit handgebremsten Wagen, zu erkennen an den typischen Bremserhäuschen



Quelle: Internet

7.1 Bremsfunktion

Seilzugbremse Bauart Heberlein

Schmalspurbahn-Dampflokomotive mit durchgehender Bremse Bauart Heberlein, eingeführt 1872, eingesetzt bis ca. 1967

Quelle: Internet



- Mechanisch wirkendes System: Der Lokführer steuert die Bremsen eines Wagenzuges über einen Seilzug
- Vorteil: Zentrale Bedienung durch den Lokführer
- Nachteil: Seilzug störanfällig, aufwendig bei Zugzusammenstellung

7.1 Bremsfunktion

Herkunft der Druckluftbremse

- Die Druckluftbremse hat eine über 100-jährige Entwicklung hinter sich
- Erstmals vorgestellt 1873 von G. Westinghouse in Amerika
- In Deutschland weiterentwickelt von Georg Knorr (geb. 19.10.1859), Gründung der Firma Knorr-Bremse 1905
- Vieles aus Technik und Betrieb hat noch heute Bestand genauso wie etwa auch das Zughaken- und Stoßpuffersystem
- Sowohl die deutschen Bahnen als auch die Fa. Knorr-Bremse haben diese Entwicklung in Deutschland entscheidend geprägt
- Das Bremsvermögen der schnellfahrenden Züge hat sich seither etwa verdoppelt
- Die Zuverlässigkeit der Druckluftbremse und ihrer Steuerorgane ist mittlerweile über alle Zweifel erhaben, deshalb haben es Alternativen schwer sich durchzusetzen
- Eisenbahnunfälle sorgen gelegentlich für Schlagzeilen; Bremsversagen aus technischen Gründen schreibt Eisenbahngeschichte

7.1 Bremsfunktion

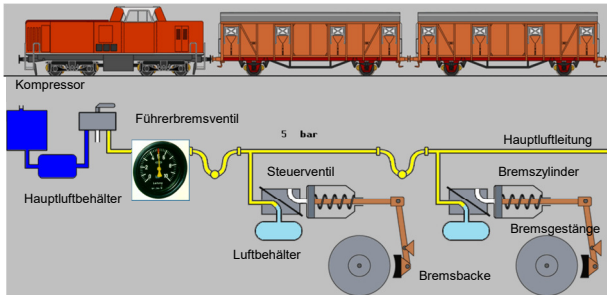
Einfaches Prinzip der Druckluftbremse (1)



Durchgehende indirekte Druckluftbremse

Das Medium Druckluft wird sowohl für die Steuerung als auch für die Betätigung der Bremszylinder verwendet. Indirekt, da die Bremsung bei Druckminderung in der Hauptluftleitung (HL) einsetzt.

Die Bremsen sind gelöst, solange in der HL ein Druck von 5 bar herrscht. Hierzu muss der Kompressor auf der Lok alle Luftbehälter über die HL füllen.

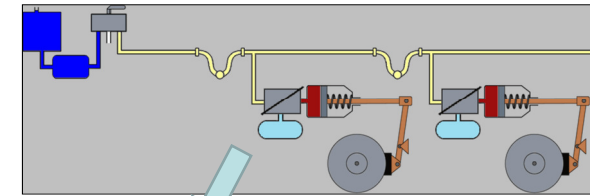


Quelle: Internet

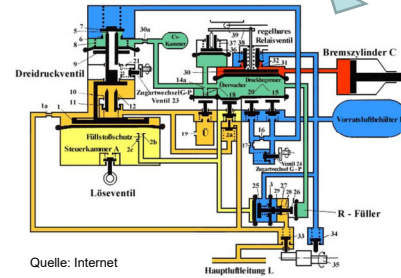


7.1 Bremsfunktion

Einfaches Prinzip der Druckluftbremse (2)



Beim Öffnen (Bremsen) über das Führerbremsventil (oder bei Zugabriss) vermindert sich der Druck in der HL und die Steuerventile steuern um. Dann drückt der Druck aus den Luftbehältern auf die Bremszylinder und die Bremsen legen sich an.



Quelle: Internet

Im Laufe der Entwicklung sind die Funktionselemente der Bremsen zu hochentwickelten Komponenten geworden. Illustriert am Beispiel des Steuerventils KE2 von Knorr.

Quelle: Internet – „Die Bremsenbude“

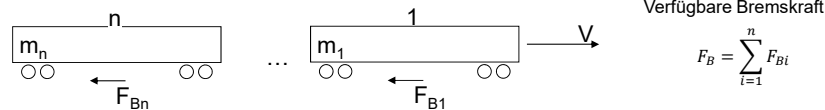


7.1 Bremsfunktion

Bremsberechnung



1. Theoretische Auslegung Bremse



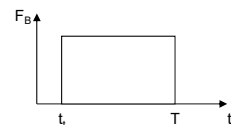
Einfacher Fall $F_{Bi} = \text{const.}$ (bei Scheibenbremsen hinreichend gut erfüllt; sonst $F_{Bi} = f(v)$)

Verzögerung in der Ebene

Abbildung des Verhaltens der Bremssteuerung

$$a = \frac{F_B}{m + m_{rot}}$$

$$m = \sum_{i=1}^n m_i \text{ (Zugmasse)} \quad m_{rot} = \sum_{i=1}^n m_{roti} \text{ (Zuschlag für rot. Massen)}$$



Bremsweg in der Ebene

→ konstante Verzögerung a über die Zeit t

$$x = vt_t + \frac{v^2}{2a}$$

Herleitung:

$$v = v_0 - a \cdot t \quad \text{Haltebremsweg} \Rightarrow 0 = v_0 - a \cdot t \Rightarrow t = \frac{v_0}{a}$$

$$x = \int v dt = v_0 \cdot t - \frac{a}{2} \cdot t^2 = \frac{v_0^2}{a} - \frac{a \cdot v_0^2}{2 \cdot a^2} = \frac{v_0^2}{2 \cdot a}$$



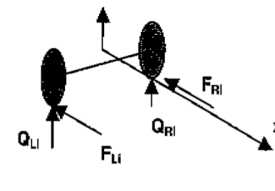
7.1 Bremsfunktion

Bremsberechnung – Überschlägig (1)



▪ Kontakt Rad / Schiene

Bremskraft wird durch die Reibkraft Rad / Schiene aufgebracht



→ Vereinfachung $Q_i = Q_{Li} + Q_{Ri}; F_i = F_{Li} + F_{Ri} = Q_i \cdot \mu$

• Voraussetzung: Rad rollt ab • Ansatz, falls alle Achsen gebremst

$$F_x = \mu \cdot \sum Q_i = \mu \cdot m \cdot g \quad M = m + m_{rot} \quad m_{rot} = \rho \cdot m$$

$$\rightarrow M = (1 + \rho) \cdot m \quad (a =) \frac{g}{1 + \rho} \cdot \mu = \frac{v_0^2}{2 \cdot x} ; x - \text{Bremsweg}$$

→ Erforderlicher Reibwert Rad / Schiene:

$$\mu = \frac{v^2 \cdot (1 + \rho)}{2 \cdot g \cdot x}$$

Dieser ist in erster Näherung unabhängig von der absoluten Fahrzeugmasse.

Übliche Grenzwerte für Überschläg

	Vollbahn (EBO) Reisezug-, Triebwagen	Nahverkehr (BOStrab)	Vollbahn Güterwagen
ρ	0,1	0,1	0,06
μ_{max} Betriebs- und Notbremsungen	0,12	0,12	0,07
μ_{max} Gefahrenbremsung	-	0,3	-



7.1 Bremsfunktion

Bremsberechnung – Überschlüssig (2)

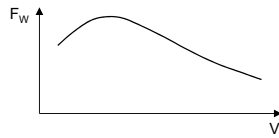
- Schienenbremsen
Schienenbremsen müssen die fehlende Bremskraft aufbringen

$$F_S = F - m \cdot g \cdot \mu_{\max}$$

Magnetschienenbremse
einfache Näherung: $F_{Mg} = \mu_{Mg} \cdot F_H$



Wirbelstrombremse



Übliche Werte (30 ≤ v ≤ 200 km/h)

	Vollbahn (EBO) Reisezug-, Triebwagen	Nahverkehr (BOStrab)
μ_{Mg}	0,1	0,1
F_H [kN]	84	
V_a [km/h]	30-50 ¹⁾	3

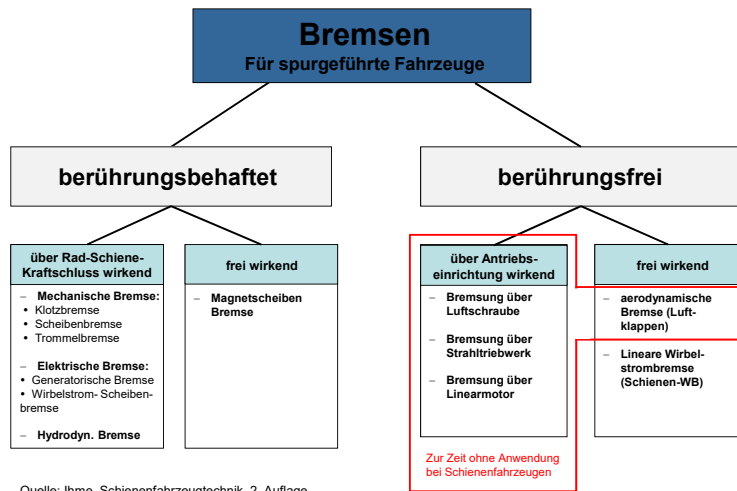
1) UIC-Reisezugwagen

Gliederung

- Bremse
 - Bremsfunktion
 - Bremsenbauarten
 - Bremsvermögen

7.2 Bremsenbauarten

Übersicht der verschiedenen Bauarten



Quelle: Ihme, Schienenfahrzeugtechnik, 2. Auflage

7.2 Bremsenbauarten

Bremskomponenten (1)



Magnetschienenbremse

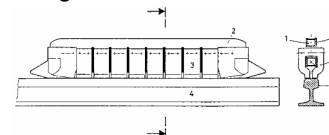


Bild 2.5.1: Prinzipieller Aufbau der Magnetschienenbremse
1 = Spule, 2 = Spulenkörper, 3 = Magnettrom, 4 = Schiene

Lineare Wirbelstrombremse

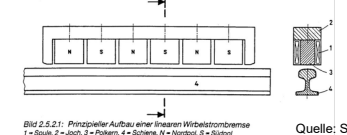


Bild 2.5.2: Prinzipieller Aufbau einer linearen Wirbelstrombremse
1 = Spule, 2 = Joch, 3 = Polkern, 4 = Schiene, N = Nordpol, S = Südpol

Quelle: Siemens

7.2 Bremsenbauarten Bremskomponenten (2)

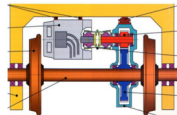
Die Bremse verteilt sich als System über den ganzen Zug

Hauptbremsbauarten:

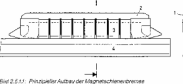
Pneumatische Bremse



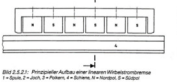
Generatorische Bremse



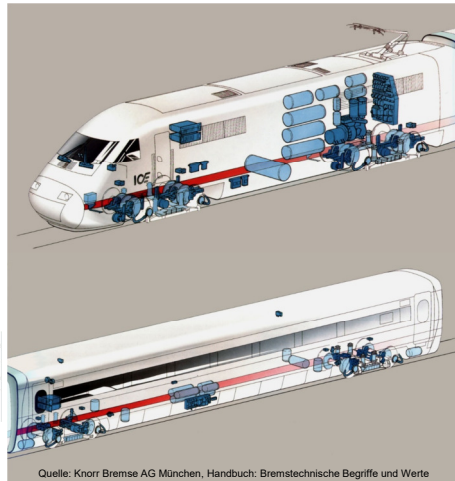
Magnetschienenbremse



Lineare Wirbelstrombremse



Retarder (bei dieselhydraulischen- oder dieselmechanischen Antrieben)



Quelle: Knorr Bremse AG München, Handbuch: Bremstechnische Begriffe und Werte

7.2 Bremsenbauarten Klotzbremse – Prinzip

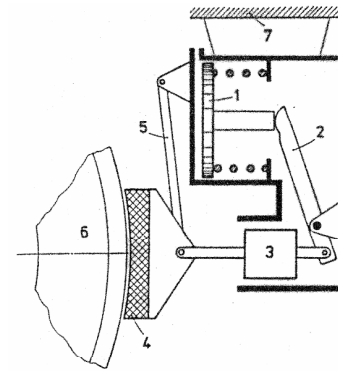


Bild 2.1.2.1: Prinzipieller Aufbau einer Klotzbremseinheit
1 = Kolben, 2 = Hebelübersetzung, 3 = Gestängesteller, 4 = Klotz, 5 = Hängelasche, 6 = Rad, 7 = Drehgestell

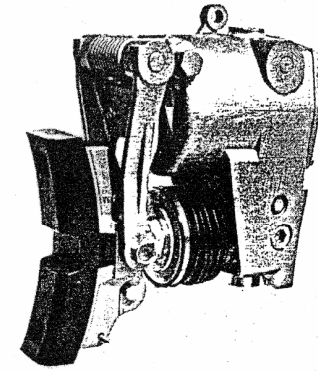


Bild 2.1.2.2: Klotzbremseinheit mit innenliegender Übersetzung, automatischer Verschleißnachstellung und mechanischer Handbremse

Quelle: SAUMWEBER, E.; GERUM, E.; BRENDT, P.-J.: Grundlagen der Schienenfahrzeugbremse, AET (Archiv für Eisenbahntechnik) Heft 43, Hestra - Verlag

7.2 Bremsenbauarten Klotzbremse – Aufbau

Bremsklötze
Befestigung der Sohlen im Schuh mit Keilen

Zweiteilige Sohle
Verringerung von a und verbesserte Anlage am Rad bessere Reibwerte μ_K

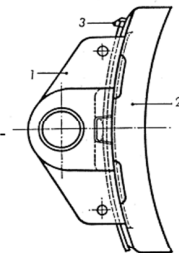
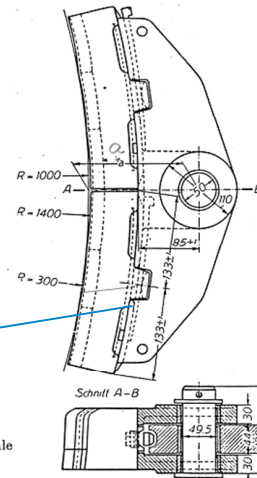


Abb. 6.31. Geteilter Bremsklotz
1 Schuh, 2 Sohle, 3 Keil

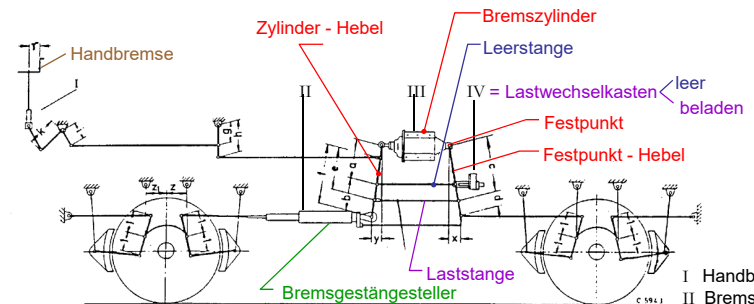
Durch Befestigung der Sohle außerhalb der Klotzmitte wird kleinste Einbauhöhe a ermöglicht

Abb. 6.32. Bremsklotz mit zweiteiliger Sohle
 a Einbauhöhe des Klotzes



7.2 Bremsenbauarten Klotzbremse – Anordnung

Gesamtanordnung für einen 2achsigen Güterwagen mit mechanischer Lastabbremse und Handbremse



- I Handbremse
- II Bremsgestängesteller
- III Bremszylinder
- IV Lastwechselkasten

7.2 Bremsenbauarten

Klotzbremse – Wirkende Kräfte

Bei üblichen Betriebsbremsungen wird $\mu_s = f(v)$ im Bereich mittlerer Fahrgeschwindigkeiten konstant mit $\mu_s = 0,15$ für Auslegung zugrunde gelegt

Entstehung der Bremskraft:

Klotzreibungs-: $F_R = \mu_K \cdot F_K$ [N]

Bremskraft

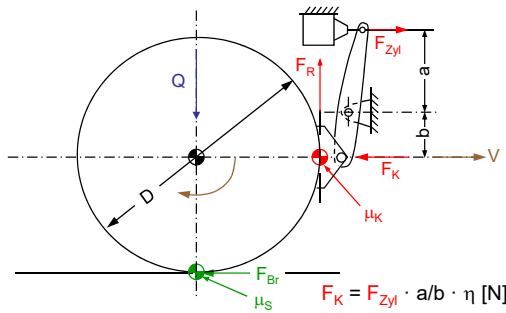
Übertragbare

Bremskraft $F_{Br} = \mu_s \cdot Q$ [N]

(Haftkraft)

Maximale Bremsklotzkraft, wenn Gleiten des Rades vermieden werden soll

$$F_R \leq F_{Br} \Rightarrow F_K \leq \frac{\mu_s \cdot Q}{\mu_K} \text{ [N]}$$



$$F_K = F_{Zyl} \cdot a/b \cdot \eta \text{ [N]}$$

$$F_K = F_{Zyl} \cdot i \cdot \eta \text{ [N]}$$

μ_K = Reibwert der gleitenden Reibung zwischen Rad und Bremsklotz

μ_s = Haftreibwert Rad / Schiene → Reibung im Bremsbetrieb

η = 0,9 [1] bei Wagen der Regelbauart

= 0,95 [1] bei sehr einfachen Gestängen (Einzelanordnung)

= 0,80 ... 0,85 [1] bei vierteiligen Gestängen der Triebfahrzeuge

η = Gestängewirkungsgrad [1]

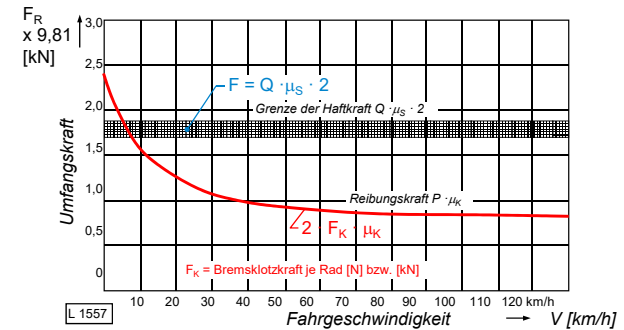
i = Gestänge - Übersetzung

F_K = Bremsklotzkraft [N]

Q = Radlast [N]

7.2 Bremsenbauarten

Klotzbremse – Einfache Bremse

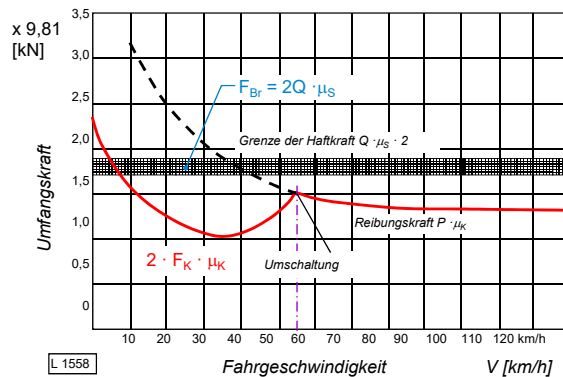


Bremskraft und Haftkraft bei einer einfachen Klotzbremse

2 · $F_K = P$ Bremsklotzkraft / Achse [N]
 2 · Q Achslast = $9,81 \times 10$ [kN]
 μ_K = Beiwert der gleitenden Reibung zwischen Rad und Bremsklotz
 μ_s = Beiwert der Haftung zwischen Rad und Schiene

7.2 Bremsenbauarten

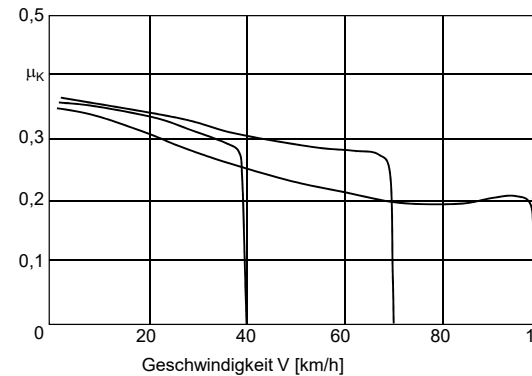
Klotzbremse – Hochleistungsbremse



Bremskraft und Haftkraft bei einer Hochleistungsbremse

7.2 Bremsenbauarten

Klotzbremse – Reibwert



Reibwert μ_K für Kunststoffklötze aus Versuchen mit unterschiedlicher Ausgangsgeschwindigkeit

Vorteile:

- geringere Abhängigkeit des Reibwertes μ_K von Flächenpressung p und Geschwindigkeit V
- bei Verwendung von Klötzen mit höherem Reibwert μ_s als bei GG - Klötzen → leichtere Zylinder und Gestänge verwendbar

Nachteile

- höhere Nässeempfindlichkeit (in ungünstigen Fällen Reibwertabfall um bis zu 30%)
- Polieren der Lauffläche des Rades → niedrigerer Reibwert μ_s zwischen Rad und Schiene
- niedrige Wärmeleitfähigkeit dieser Klötze → größerer Teil der Bremsenergie wird dem Rad zugeführt

7.2 Bremsenbauarten

Reibwertverläufe

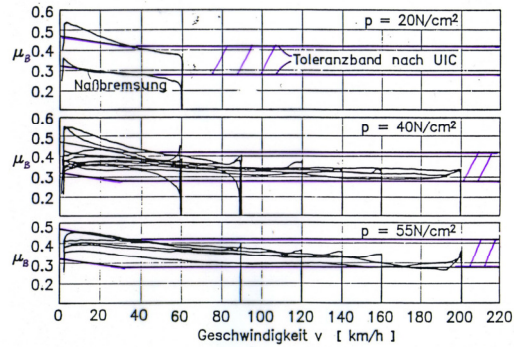


Bild 2.2.4.1: Reibwertverlauf organischer Bremsbeläge abhängig von Geschwindigkeit v und Belagdruck p

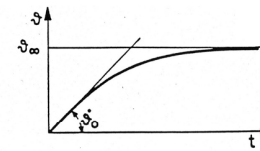
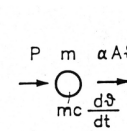
Sinterbeläge: Thermisch höher belastbar, weniger nässeempfindlicher → aber teurer

Quelle: SAUMWEBER, E.; GERUM, E.; BRENDT, P.-J.: Grundlagen der Schienenfahrzeugbremse, AET (Archiv für Eisenbahntechnik) Heft 43, Hestra - Verlag

7.2 Bremsenbauarten

Reibungsbremse – Zeitverhalten

Temperaturverlauf bei einer Gefällefahrt:



Der Temperaturgradient zu Beginn $\frac{d\theta_0}{dt} = \frac{P}{m \cdot c}$ wird von Wärmekapazität $m \cdot c$ bestimmt → Bremse mit kleinerem Wert $m \cdot c$ erreicht gleichem Wert $\alpha \cdot A$ gleichen stationären Endwert für ϑ früher

$$P = m \cdot c \frac{d\theta}{dt} + \alpha \cdot A \vartheta \quad \vartheta = \text{Temperatur - Differenz gegenüber Umgebung [K]}$$

Bild 1.2.1: Wärmebilanz und Temperaturverlauf bei einer Dauerbremsung

Angenommen → Gefällefahrt mit konstanter Bremsleistung P [W], Temperatur ϑ in der Bremse (Masse m, spez. Wärme c) gleichmäßig verteilt. Zu jeder Zeit t muss zugeführte Leistung P gespeichert oder durch Konvektion (Wärmeübergangszahl α , wärmeabgebende Fläche A) abgeführt werden.

$$\vartheta = \frac{P}{\alpha \cdot A} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\alpha \cdot A}{m \cdot c} t}\right) \quad \text{mit } \frac{P}{\alpha \cdot A} = \vartheta_{\infty}$$

mit Anfangsbedingung $\vartheta = 0$:

→ Nicht abhängig von $m \cdot c$

7.2 Bremsenbauarten

Reibungsbremse – Zeitverh. Haltestellenfahrt

Temperaturverlauf bei gleichmäßiger Haltestellenfahrt

Gute Näherung bei Addition von ϑ einer äquivalenten Dauerbremsung bei mittlerer Geschwindigkeit und 75% der Temperaturerhöhung ϑ_H für letzten Halt:

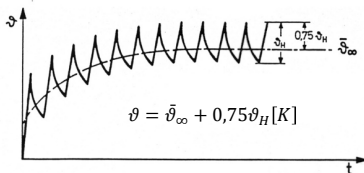


Bild 1.2.3: Temperaturverlauf bei einer gleichmäßigen Haltestellenfahrt. ϑ_{∞} stationäre Gleichgewichtstemperatur für eine äquivalente Dauerbremsung, ϑ_H Temperaturanstieg bei einem Halt

Für einzelne Haltebremsung (mit konstanter Verzögerung):

$$P = P_0 \left(1 - \frac{t}{t_B}\right) \quad \begin{matrix} P = \text{Bremsleistung [W]} \\ t = \text{Zeit [s]} \\ t_B = \text{Bremszeit [s] bis Halt} \end{matrix}$$

Für Ausgangsgeschwindigkeiten bis zu $V_0 = 180$ [km/h] und übliche Verzögerungen $a = 1$ [m/s²] kann Wärmeabfuhr während Bremszeit t_B vernachlässigt werden.

Temperatur an der Oberfläche ($x = 0$):

$$\vartheta_{x=0} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{P_0 \cdot \sqrt{t}}{A \cdot \sqrt{\lambda \cdot \zeta \cdot c}} \left(1 - \frac{2t}{3t_B}\right) [K]$$

mit $P_0 = m \cdot a \cdot v_0$ [W] und $a = v_0 / t_B$ [m/s]

c = spez. Wärme [J/(kgK)]
 λ = Wärmeleitzahl [W / (mK)]
 ζ = Dichte [kg/m³]
 v_0 = Geschwindigkeit [m/s]
 a = Bremsverzögerung [m/s²]
 m = Masse [kg]
 A = Fläche [m²]

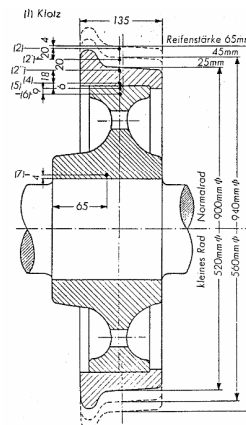
$$\vartheta_{\max}(x=0) = \frac{4}{3\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{m \cdot v_0^{1.5} \cdot a^{0.5}}{\lambda \cdot \zeta \cdot c} \cdot \frac{1}{A}$$

erreicht ϑ Maximum für $t = t_B/2$

Quelle: SAUMWEBER, E.; GERUM, E.; BRENDT, P.-J.: Grundlagen der Schienenfahrzeugbremse, AET (Archiv für Eisenbahntechnik) Heft 43, Hestra - Verlag

7.2 Bremsenbauarten

Klotzbremse – Temperaturverteilung



Temperaturverteilung im Rad in Abhängigkeit von der Bremszeit t bei Dauerbremsung

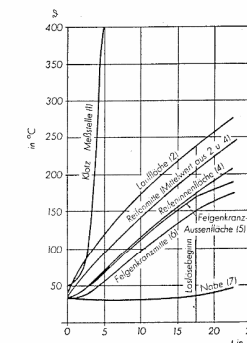


Abb. 6.4. Temperaturverlauf in Funktion der Bremszeit an verschiedenen Meßstellen eines „kleinen Rades“ bis zum Lösebeginn des Radreifens bei einer Dauerbremsung; ohne Fahrtwind
 Schrupfplatzübermaß 2,04/±
 Reifendickstärke 45 mm
 Leitstange 30 FS
 Geschwindigkeit 60 km/h
 Radortmesser 600 mm

7.2 Bremsenbauarten Scheibenbremse – Prinzip

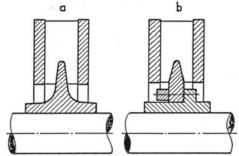


Bild 2.2.2.1: Vereinfachte Konstruktionen von Wellenbremsen (a = einteilig, b = Reibring und Nabe getrennt)

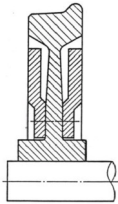


Bild 2.2.2.2: Vereinfachte Konstruktion einer Radbremsscheibe

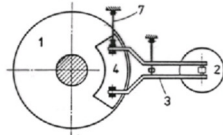


Bild 2.2.2.3: Konstruktiver Aufbau der Betätigung einer Scheibenbremse
1 = Wellenbremsscheibe, 2 = Bremszylinder, 3 = Bremshebel, 4 = Bremsbacke, 5 = Zuglasche, 6 = Belag, 7 = Hängelasche

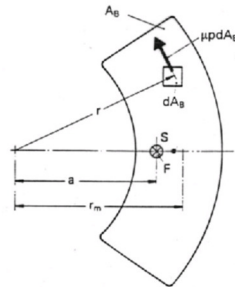
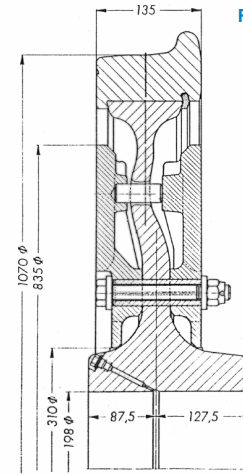


Bild 2.2.2.4: Bremsbelag (Fläche A_B) mit Schwerpunkt S, Kraftangriffspunkt a und mittlerem Reibradius r_m

Quelle: SAUMWEBER, E.; GERUM, E.; BRENDT, P.-J.: Grundlagen der Schienenfahrzeugbremse, AET (Archiv für Eisenbahntechnik) Heft 43, Hestra - Verlag

7.2 Bremsenbauarten Radscheibenbremse



Radscheibenbremse
→ bevorzugt bei Triebfahrzeugen angewendet

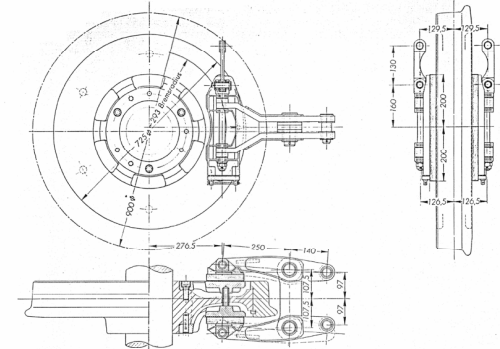


Abb. 6.58. An der Radscheibe befestigte Bremscheibe (Normalausführung für die DB) (Bergische Stahlindustrie, Remscheid)
Abb. 6.57. An der Radscheibe befestigte Bremscheibe (Rhein Stahl Henschel AG, Kassel)

Quelle: SAUMWEBER, E.; GERUM, E.; BRENDT, P.-J.: Grundlagen der Schienenfahrzeugbremse, AET (Archiv für Eisenbahntechnik) Heft 43, Hestra - Verlag

Quelle: Bremsen, Eisenbahn - Lehrbücher - der Deutschen Bundesbahn Band 122, vierte Auflage, Josef Keller Verlag, Starnberg (1962)

7.2 Bremsenbauarten Wellenscheibenbremse

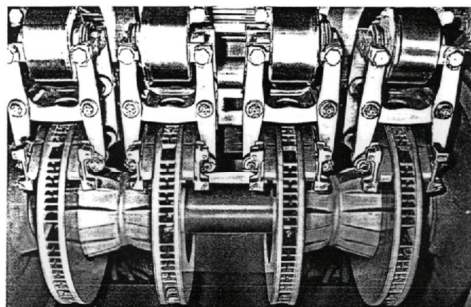
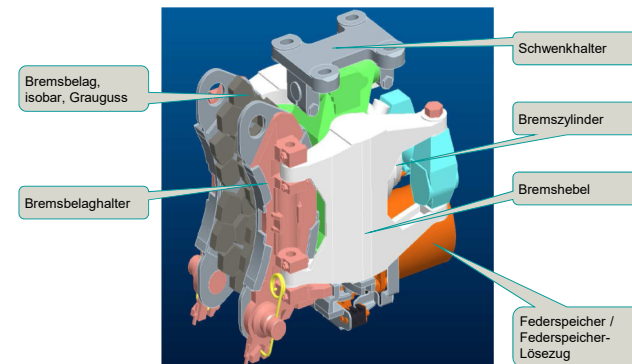


Bild 2.2.2.5: Wellenbremsscheibenanordnung im TGV-Drehgestell mit Bremszylindern und -zangen

Tafel 2: Stoffwerte der gebräuchlichsten Bremscheibenwerkstoffe Grauguß (GG), Sphäroguß (GGG) und Stahlguß (GS)

	GG	GGG	GS
ρ [kg/m ³]	7217	7010	7800
λ [W/mK]	50	37,5	24
c [kJ/K kg]	0,524	0,628	0,47
α [1/K]	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$

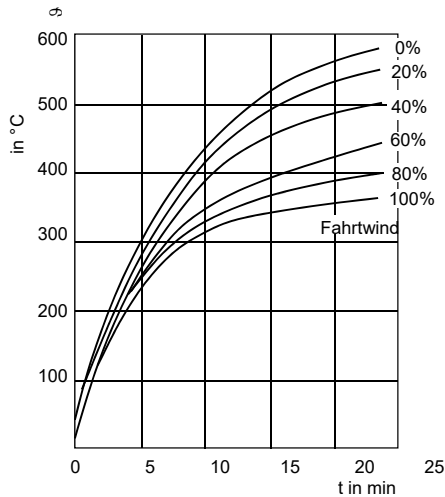
7.2 Bremsenbauarten Kompaktbremszange



Quelle: Siemens

7.2 Bremsenbauarten

Reibungsbremse – Temperaturverhalten



Einfluss des Fahrtwindes auf die Scheibentemperatur bei Dauerbremsung

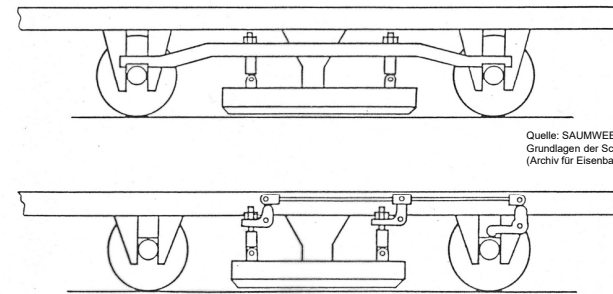
Anstieg der Scheibentemperatur bei Dauerbremsung mit konstanter Leistung in Abhängigkeit von der Zeit in Minuten und vom Fahrtwind

Bremsscheibe 460 mm Durchmesser; $V = 50 \text{ km/h}$, $P = 33,5 \text{ PS}$

Quelle: Bremsen, Eisenbahn - Lehrbücherei - der Deutschen Bundesbahn Band 122, vierte Auflage, Josef Keller Verlag, Starnberg (1962)

7.2 Bremsenbauarten

Magnetschienenbremse – Prinzip



Quelle: SAUMWEBER, E.; GERUM, E.; BRENDT, P.J.: Grundlagen der Schienenfahrzeugbremse, AET (Archiv für Eisenbahntechnik) Heft 43, Hestra - Verlag

Tiefaufhängung: ca. 10 mm über SO an Federn gehalten, bei Betätigung magnetisch an Schiene gezogen Einsatz im Nahverkehr

Oben: Magnetschienenbremse an Achsbuchsträgern aufgehängt

Unten: Magnetschienenbremse an Ausgleichgestänge aufgehängt

7.2 Bremsenbauarten

Magnetschienenbremse – Aufbau (1)

Aufbau eines Schienenbremsmagneten

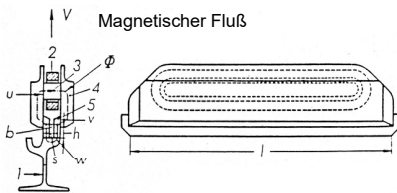
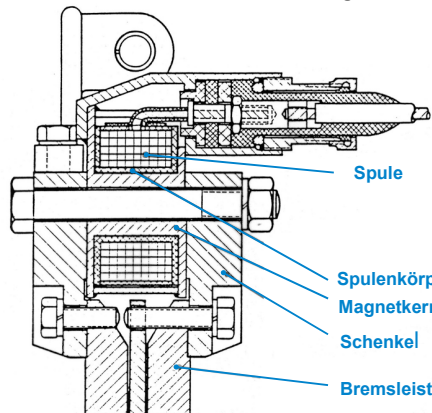


Abb. 6.73. Querschnitt und Ansicht einer Magnetschienenbremse

1 Schiene, 2 Spule, 3 Kern, 4 Schenkel, 5 Bremsleiste
b Leisten-(Pol-)Breite, h Leistenhöhe
s Spaltbreite
l Leistenlänge, u, v, w Stoßfugen

Abb. 6.72. Aufbau eines Schienenbremsmagneten (Knorr-Bremse GmbH, München)

Quelle: SAUMWEBER, E.; GERUM, E.; BRENDT, P.J.: Grundlagen der Schienenfahrzeugbremse, AET (Archiv für Eisenbahntechnik) Heft 43, Hestra - Verlag

7.2 Bremsenbauarten

Magnetschienenbremse – Aufbau (2)

Gliedermagnet → kann sich Schienenunebenheiten besser anpassen

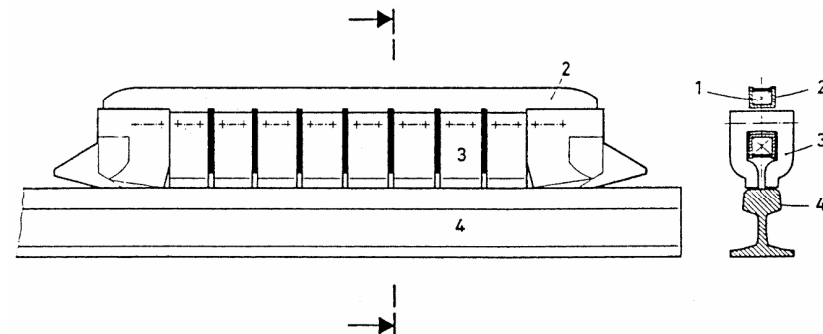


Bild 2.5.1.1: Prinzipieller Aufbau der Magnetschienenbremse
1 = Spule, 2 = Spulenkörper, 3 = Magnetkern, 4 = Schiene

Quelle: SAUMWEBER, E.; GERUM, E.; BRENDT, P.J.: Grundlagen der Schienenfahrzeugbremse, AET (Archiv für Eisenbahntechnik) Heft 43, Hestra - Verlag

7.2 Bremsenbauarten Magnetschienenbremse – Vertikalkraft

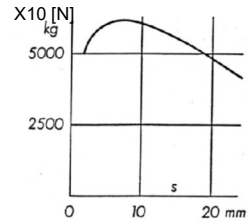


Abb. 6.74. Einfluß der Spaltbreite s auf die Vertikalzugkraft einer ruhenden Magnetschienenbremse (Erregerstrom konstant)

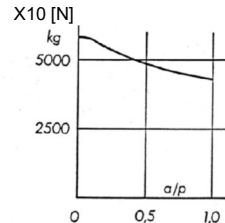


Abb. 6.75. Vertikalzugkraft F einer ruhenden Magnetschienenbremse in Abhängigkeit von der relativen Einschaltzeit a/p
 a Einschaltzeit
 p Zeit einer Periode

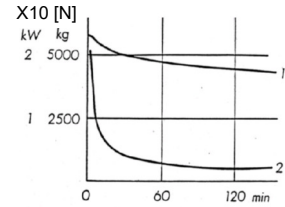


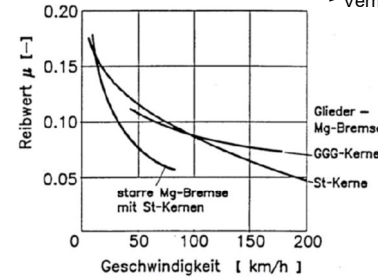
Abb. 6.76. Vertikalzugkraft I und kW-Verbrauch 2 einer Magnetschienenbremse für Erregung in Abhängigkeit von der einmaligen Einschaltzeit

Quelle: SAUMWEBER, E.; GERUM, E.; BRENDT, P.J.: Grundlagen der Schienenfahrzeugbremse, AET (Archiv für Eisenbahntechnik) Heft 43, Hestra - Verlag

7.2 Bremsenbauarten Magnetschienenbremse – Reibwert / Kollektiv

Aus Haftkräften und gemessenen Bremskräften bei Streckenfahrversuchen wurde $\mu = f(v)$ ermittelt

- mit v fallend
- Gliedermagnete bei großem v eindeutig überlegen
- bei Vollbahnen häufig Abschalten der Magnete unterhalb 50 km/h → Vermeiden des Halterdrucks



Lebensdauer:

Verschleißhöhe von 20 mm der Polschuhe bei

• Stahl nach ca. 3000 km Bremsweg

• Gusseisen nach ca. 800 km Bremsweg erreicht

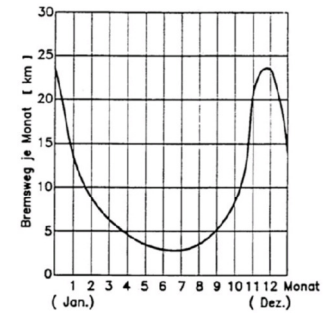


Bild 2.5.1.4: Gemessenes Bremswegkollektiv einer Magnetschienenbremse abhängig von der Jahreszeit am Beispiel des Triebzuges VT 626 (gemittelt über 4 Jahre)

Bild 2.5.1.3: Reibwert μ der Magnetschienenbremse in Abhängigkeit der Geschwindigkeit v für Gliedermagnete aus Stahl (St) und Gußeisen mit Kugelgranit (GGG) und starren Magneten aus Stahl (St)

Quelle: SAUMWEBER, E.; GERUM, E.; BRENDT, P.J.: Grundlagen der Schienenfahrzeugbremse, AET (Archiv für Eisenbahntechnik) Heft 43, Hestra - Verlag

7.2 Bremsenbauarten Lineare Wirbelstrombremse – Prinzip

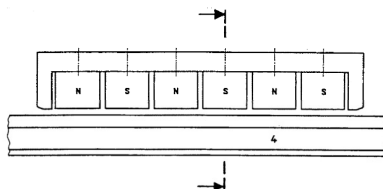


Bild 2.5.2.1: Prinzipieller Aufbau einer linearen Wirbelstrombremse
1 = Spule, 2 = Joch, 3 = Polkern, 4 = Schiene, N = Nordpol, S = Südpol

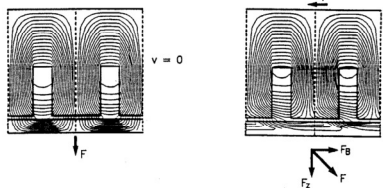


Bild 2.5.2.2: Feldlinienverlauf und Kraftvektor F einer linearen Wirbelstrombremse im Stillstand ($v = 0$) und bei hoher Geschwindigkeit v

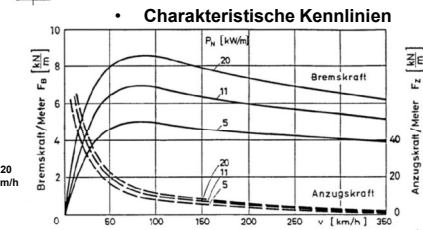


Bild 2.5.2.3: Bremskraft F_B und Anzugskraft F_Z je Länge einer linearen Wirbelstrombremse in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit v und der Erregerleistung P_k bei 20 °C. Arbeitsluftspalt $\delta = 7$ mm

Quelle: SAUMWEBER, E.; GERUM, E.; BRENDT, P.J.: Grundlagen der Schienenfahrzeugbremse, AET (Archiv für Eisenbahntechnik) Heft 43, Hestra - Verlag

7.2 Bremsenbauarten Lineare Wirbelstrombremse – Charakterist. KL

▪ Charakteristische Kennlinien

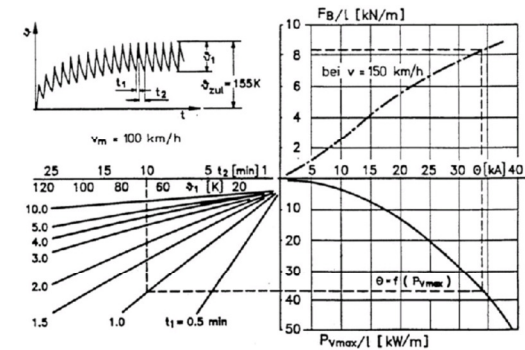


Bild 2.5.2.4: Zusammenhang zwischen Bremskraft F_B je Länge, Durchflutung Θ , maximaler Erregerleistung $P_{v,max}$ je m im warmen Zustand ($\theta_{zul} = 155$ K) in Abhängigkeit vom Bremszyklus (Einschaltzeit t_1 , Ausschaltzeit t_2) für eine lineare Wirbelstrombremse

7.2 Bremsenbauarten

Lineare Wirbelstrombremse – Erhöhung Temp.

Mittlere Temperaturerhöhung einer Schiene ϑ_m und Einbausituation

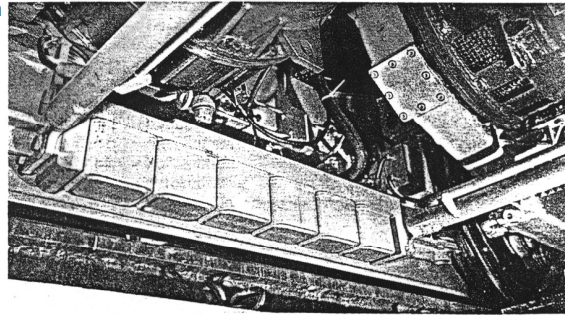
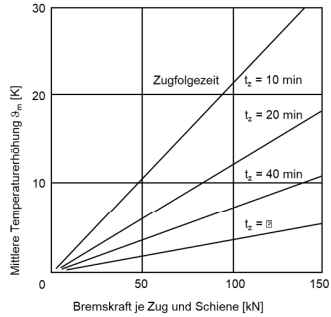


Bild 2.5.2.6: Einbau einer Wirbelstrombremse in ein ICE-Triebdrehgestell

Bild 2.5.2.5: Mittlere Temperaturerhöhung ϑ_m einer Schiene abhängig von der Bremskraft der linearen Wirbelstrombremse je Zug und Schiene und der Zugfolgezeit t_z

Quelle: SAUMWEBER, E.; GERUM, E.; BRENDT, P.-J.: Grundlagen der Schienenfahrzeugbremse, AET (Archiv für Eisenbahntechnik) Heft 43, Hestra - Verlag

7.2 Bremsenbauarten

Standardfunktionen (1)

Betriebsbremse (u.a.):

- Gleitschutz
- Automatische Haltebremse zum Anfahren in Steigungen
- Lastabhängige Bremskraft bei wirksamer Luftfeder
- Zentrales Bremsmanagement mit Vorrang für dynamische E-Bremse, pneumatisch nur soweit nötig

Notbremse (u.a.):

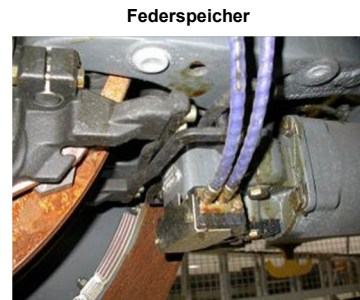
- Anforderung kurze Reaktionszeit
- Beschränkung (vorzugsweise) auf pneumatische Bremse
- Gleitschutz

7.2 Bremsenbauarten

Standardfunktionen (2)

Parkbremse (u.a.):

- Federspeicher-Ausführung
- Ansteuerung über Magnetventile vom Führerstand aus
- Rein pneumatisch bedienbar, bei Stromausfall
- Federspeicher-Lösezug
- Auslegung für 40‰ bei Höchstgewicht
- Unplanmäßiges Anlegen Federspeicher löst Notbremsung aus



Quelle: Internet

Fahrgastnotbremse (u.a.):

- Während der Fahrt durch Triebfahrzeugführer aufhebbar (Brand im Tunnel)

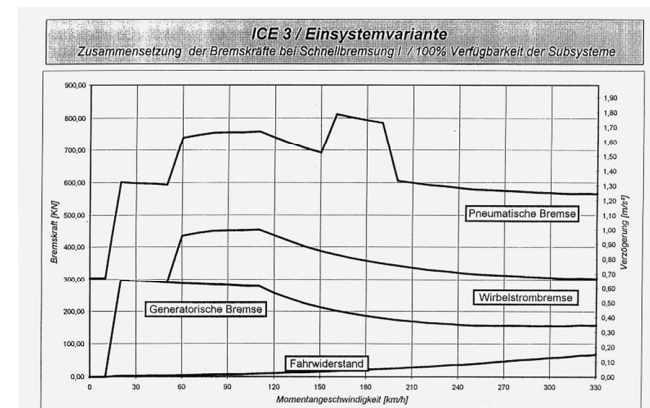
7.2 Bremsenbauarten

Bremsmanagement

Das Bremsmanagement legt übergeordnet fest, in welchem Betriebszustand welche Bremse eingreift.

Kriterien:

- Verschleißvermeidung
- Bremsvermögen
- Sicherheit



*) zwischen 190 km/h und 160 km/h wird bei der Schnellbremsung die pneumatische Bremse (2-stufig) in der hohen Bremsstufe betrieben, um das Bremsvermögen zu erhöhen. Unterhalb von 160 km/h wird die niedrige Stufe genutzt.

Gliederung

Bremse

- Bremsfunktion
- Bremsenbauarten
- Bremsvermögen

7.3 Bremsvermögen Bremszettel (1)



Abb.: Übergabe der "Papiere" an den Lokführer

Quelle: Internet

- **Wer an wen?**
 - Vom Zugführer an den Lokführer
- **Welche Papiere?**
 - Den Bremszettel
 - ggf. auch andere wie z.B. schriftliche Befehle, Fahrplanabweichungen

7.3 Bremsvermögen Bremszettel (2)

Deutsche Bundesbahn
Bremszettel
und Angaben über Besonderheiten des Wagenzuges

für Zug 54302 am 27.05.76
ab Bahnhof Kies Bremsart P

Abtanzahl 108
Wagenzuglänge 613 m
Zulässige Geschwindigkeit 120 km/h
Wagenzuggewicht 1300 t
Ladungsgewicht 168 t
Gesamtzuggewicht 1468 t
Bremsvermögen des Wg-Zuges 326 t
Bremsvermögen der Lok 132 t
Gesamtbremsvermögen 458 t

Wagen mit eingeschalteten Bremsen	
In Stellung	mehr- stellig
G	46
P	
R+Mg	

Mindestbremsvermögen 458 t
Vorhandene Bremsvermögen 458 t
Mangel an Bremsvermögen

Im Zuge sind besetzte Reisezugwagen mit dem Kennbuchstaben H und Z ja/nein
Begleiter ja/nein
Schwerwagen ja/nein
Wagen mit Lademaßüberschreitung ja/nein
Wagen mit explosionsgefährlichen Gütern ja/nein
Wagen mit Abfall- und Baugerät ja/nein
Nummer des Schutzwagens 620 3743 076-5
ab P.06

Sonstige Bemerkungen

Ausrechnung der vorhandenen Bremsvermögen
Gesamtbremsvermögen 458 t × 100 = 458 %
Gesamtzuggewicht 1468 t

408 17 Bremszettel A 20 10 545 Nummer 6.6.7 6.6.82 / 76.24.72.19.86

Der Bremszettel enthält folgende Angaben über den Wagenzug:

- Die betriebliche Zug-Nummer,
- Ort der Ausstellung (=Bahnhof), Datum, etc.
- Das Bremsvermögen des Zuges in BrH (Bremsvermögen)
- Bauart der eingeschalteten Bremsen
- Gewicht, V_{max} , Länge des Zuges, etc.

7.3 Bremsvermögen Generelles zum Bremsen

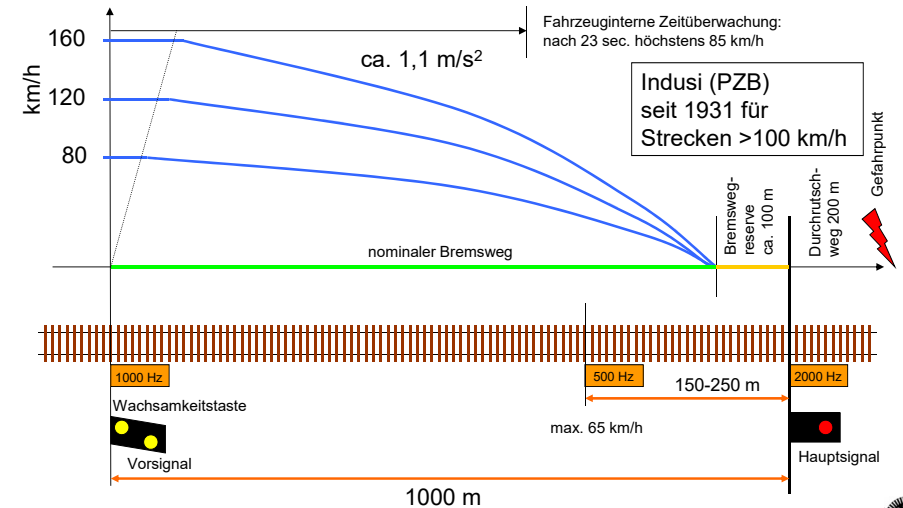
Generelles zum Bremsen:

- Das Bremsen eines Zuges ist ein durch und durch geplanter und vorherbestimmter Vorgang
 - Nicht so bei Rangierfahrten bis 25 km/h
- Das Bremsen ist (bei den „großen“ Bahnen) eine eigene Wissenschaft und wird begleitet durch ein umfangreiches Regelwerk, z.B. UIC-Merkblätter 540 ff, Bremsvorschrift, Fahrdienstvorschrift, EBO, TSI, EN, nationale Regelungen
- Die DB gehört international zu den „meinungsbildenden“ Bahnen und tritt entsprechend selbstbewusst und anspruchsvoll als Kunde auf
- Das Bremsen ist - neben der Lauftechnik und der Signaltechnik mit den Zugsicherungssystemen - tragende Säule für die Sicherheit des Bahnverkehrs

7.3 Bremsvermögen Bremswegsicherheit

- **Fahren auf Sicht nur unter besonderen Bedingungen:**
 - Im Rangierbetrieb mit $V_{\max} = 25$ km/h
 - Mit Vorsichtsbefehl, u.a.
- **Zugfahrten werden durch Signale gesichert**
 - Signale (und andere Zwangspunkte) werden mit definierten Bremswegen angefahren
 - Die Bremswege werden durch den Vorsignalabstand definiert
 - Die zulässige Geschwindigkeit wird durch das installierte (und angerechnete) Bremsvermögen definiert
 - Die Zusammenhänge zwischen Bremsweg, Bremsvermögen, maßgeblicher Neigung und V_{zul} werden durch die Bremsstafeln definiert
 - Die Bremsstafeln sind vom Verkehrsminister zu genehmigen; sie sind Gesetz
 - Für den Geschwindigkeitsbereich $V > 160$ km/h wurde die kontinuierliche Signalisierung mittels L(inienförmige)Z(ug)B(einflussung) eingeführt
 - EU-weiter Standard ETCS (European Train Control System)

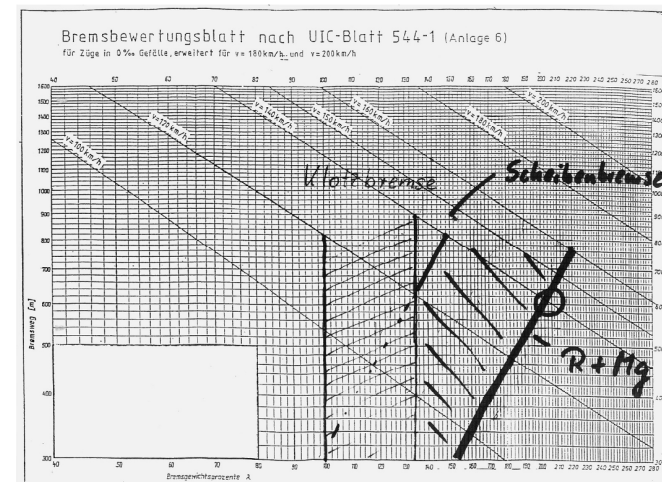
7.3 Bremsvermögen Halteweg



7.3 Bremsvermögen Bremsstufentel

- Seit gut 60 Jahren ausgedrückt durch eine geheimnisumwitterte Größe
- Definition und Handhabung sind genial einfach
- Der technische Hintergrund ist evolutionär bedingt relativ komplex
- Definition: $BrH = x t$ (Bremsgewicht B_g) / $y t$ (Fahrzeug- bzw. Zuggewicht M) x 100 %
- Ganz wichtig ist der Aspekt Zugbildung aus verschiedenen leistungsfähigen Einzelfahrzeugen
- Die bremsstechnische Zugbildung findet auf dem Bremszettel statt
 - $$BrH_{\text{Zug}} = \frac{\sum B_{g_i}}{\sum M_i} \times 100\%$$
 - „Zugbildung“ findet auch in vermeintlich unveränderlichen Zugkonfigurationen wie Triebzügen statt, nämlich bei Ausfallbetrachtungen oder Mehrfachtraktion
- Welches Bremsvermögen hat der Zug bei Ausschaltung von 1...n Steuerventilen oder von 1...n Mg-Bremsen???

7.3 Bremsvermögen Bremsbewertungsblatt nach UIC-Blatt 544



7.3 Bremsvermögen Bremsstafel für 1000m Bremsweg

Bremsstafel für 1000 m Bremsweg (für Hauptbahnen)

		Für eine zugelassene Geschwindigkeit bis zu																																						
		20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195			
Maßgeb. Gefälle	R/P	6	6	6	6	6	6	8	11	13	18	22	26	32	38	44	51	58	65	73	82	90	100	110	122	135	149	164	180	196										
	G	6	6	6	6	6	6	8	11	14	18	22	27	33	39	46	54	62	71	80	90	100	110	122	135	149	164	180	196											
in %	R/P	4	4	4	4	4	4	5	7	9	12	15	19	23	28	34	40	47	54	61	68	76	85	94	104	114	126	139	154	168	185	201								
	G	4	4	4	4	4	4	5	7	9	12	15	19	23	28	34	40	47	54	61	68	76	85	94	104	114	126	139	154	168	185	201								
in km/h	R/P	6	6	6	6	6	6	8	10	12	15	18	22	26	31	37	43	49	55	63	70	78	87	96	106	116	128	142	156	170	187	204								
	G	6	6	6	6	6	6	8	10	12	15	18	22	26	31	37	43	49	55	63	70	78	87	96	106	116	128	142	156	170	187	204								

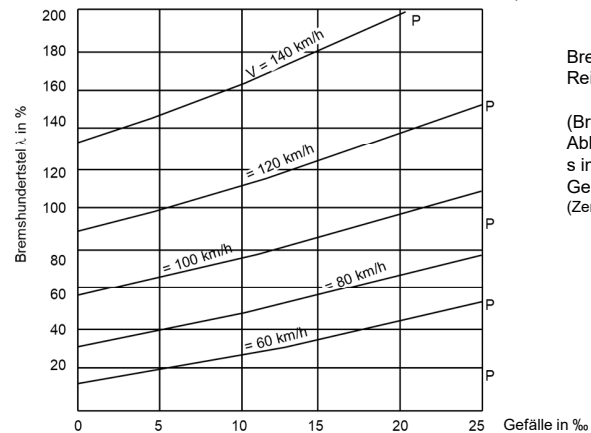
Quelle: Siemens

Werte für Bremsart G in neuerer Ausgabe geringfügig geändert



7.3 Bremsvermögen Berechnung der Bremswege

Grafische Darstellung der Bremsstafel für 1000m Bremsweg
(siehe eine Seite vorher)



Bremsstafel für 1000m Weg für Reisezüge und Güterzüge

(Bremsstafel λ in % in Abhängigkeit des Gefälles s in ‰ für verschiedene Geschwindigkeiten) (Zentralamt Minden der DB)



7.3 Bremsvermögen Bremsarten R/P und G

• Bremsarten

Einteilungsbegriff für Druckluftbremsen der Eisenbahnfahrzeuge nach ihrer Wirkung

➤ Bremsart R/P

schnellwirkend (R = Rapid, P = Personen-Zug)

Bremszyl.- Füllzeit: 3 - 5 [s]

Lösezeit : 15 - 20 [s]

In Bremsart R/P gibt es Bremsstellung R für schnell fahrende Züge und Mg mit zusätzlicher Magnetschienenbremse

➤ Bremsart G

Langsamwirkend (G = Güterzug)

Bremszyl. - Füllzeit 18 - 30 [s]

Lösezeit 45 - 60 [s]

Die Bremszylinderfüllzeiten werden künstlich verlängert. Dadurch verschlechtert sich zwar das Bremsvermögen, aber man erreicht einen stoßfreieren Verlauf der Bremsung über den ganzen Zug

7.3 Bremsvermögen Entleeren / Füllen Hauptluftleitung

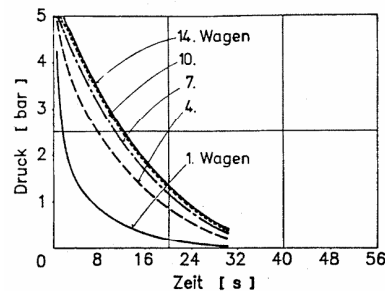


Bild 1.5.2: Entleeren der Hauptluftleitung eines Reisezuges mit Lok und 14 Wagen durch das Führerbremsventil; die Steuerventile sind abgeschaltet; Leitungsdurchmesser 1"

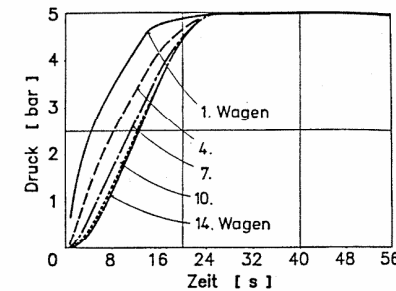


Bild 1.5.3: Füllen der leeren Hauptluftleitung eines Reisezuges mit Lok und 14 Wagen durch das Führerbremsventil; die Steuerventile sind abgeschaltet; Leitungsdurchmesser 1"; der Knick im Druckverlauf des 1. Wagens bei 16 s und 4,6 bar rührt von der Charakteristik des Führerbremsventils

Quelle: SAUMWEBER, E.; GERUM, E.; BRENDT, P. J.: Grundlagen der Schienenfahrzeugbremse, AET (Archiv für Eisenbahntechnik) Heft 43, Hestra - Verlag



7.3 Bremsvermögen

Bremsprobe (1)



Nach der Zugbildung ist eine Bremsprobe durchzuführen

- **Zweck?**
Feststellen, ob die Druckluft ungehindert bis zum Zugschluss gelangt und die absolute Gewissheit gegeben ist, dass alle eingeschalteten Bremsen vom Tfz-Führer bei vorschriftsmäßiger Bedienung des Führerbremsventils einwandfrei funktionieren.
- **Durch wen?**
Von Bediensteten mit Befähigung zum „Bremsbeamten“ (dafür gibt es spezielle staatliche Lehrgänge und Prüfungen) also z.B. Wagenuntersuchungsbeamte, Zugbegleitbeamte, Rangierbedienstete mit voller Befähigung zum Rangierleiter etc.
- **Wann?**
Volle Bremsprobe, wenn:
 - der Zug neu gebildet wurde
 - die Bremsart des Zuges gewechselt wurde
 - der Zug bei Temperaturen bis -12°C länger als 2 h
 - der Zug bei Temperaturen unter -12°C länger als 1 h abgestellt war und in einigen Sonderfällen

7.3 Bremsvermögen

Bremsprobe (2)



Ablauf

1. Alle Druckluftbremsen auf den Wagen sind eingeschaltet, der HL-Druck ist abgesenkt
→ Bremsen sind angelegt. Der Bremsbeamte steht vorne an der Lok.
2. Füllen der HL auf $5 \text{ kg/cm}^2 = \text{Lösen}$. Prüfung der durchgehenden Leitung und der Kupplungen, wobei der Bremsbeamte am Zug nach hinten geht; dabei akustisches Überprüfen auf Undichtigkeiten
3. Der Bremsbeamte gibt vom Zugschluss das Signal „Bremsen anlegen“. Der Tfz-Führer betätigt die Betriebsbremse (Luftauslass von $0,5 \text{ kg/cm}^2$)
4. Der Bremsbeamte wartet am Zugschluss das Eintreten der Bremswirkung ab und geht nun am Zug nach vorne, wobei er das feste Anliegen der Bremsklötze an den Wagen überprüft.
5. Ist das der Fall, gibt er vorne den Befehl „Bremsen lösen“ und geht wieder am Zug zurück, wobei er prüft, ob die Bremsbacken alle gelöst sind.
(Wird an einem Wagen ein Problem festgestellt, kann die Bremse dieses Wagens ausgeschaltet werden, was natürlich mit einer Reduzierung des Bremsvermögens des Zuges verbunden ist)
6. Zum Abschluss gibt der Bremsbeamte das Zeichen „Bremse in Ordnung“
Eine volle Bremsprobe kann bei einem Güterzug mit z.B. 100 Achsen durchaus 35 min dauern. Es gibt Sonderregeln für vereinfachte Bremsprüfungen.

Zusammenfassung



Bremse

- Bremsfunktion
- Bremsenbauarten
- Bremsvermögen

Überblick



- I. Einführung
- II. Zugförderung
- III. Wagenkasten
- IV. Fahrtechnik / Systemkinematik
- V. Komfort
- VI. Antrieb
- VII. Bremse



Quelle: Siemens