



Vorlesung „Bremstechnik – Bremsbetrieb“

- **Auszüge aus den podcast der Vorlesung**
- **Fragen zur Durcharbeitung der Vorlesung**

Dr. Dieter Jaenichen

Dresden, April 2022



- 1. Bremsen im Bahnbetrieb**
- 2. Mechanik des Bremsvorganges**
- 3. Bewertung des Bremsvermögens**
- 4. UIC-Druckluftbremsen**
- 5. Elektrisch/elektronisch gesteuerte Bremsen**
- 6. Bremskraftherzeugung**

Es folgen nun ausgewählte Folien aus obigen Kapiteln und zu jedem Kapitel sind Fragen zur Durcharbeitung der Vorlesung angegeben.

In diesem Kapitel erwerben Sie sich Kenntnisse über funktionale Anforderungen an die Bremstechnik zur Erfüllung der Aufgaben des Bahnbetriebs.

- Die Interoperabilität des Eisenbahnverkehrs in Europa bedarf eines grundlegendes Regelwerks für eine sicheren Bahnbetrieb in den europäischen Ländern. Dazu fallen den Bremsen in Form der Bremstechnik und des -betriebes eine wichtige Rolle zu.
- Das ist die „Richtlinie 2016/797 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Mai 2016 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der EU (Neufassung, früher Richtlinie 2008/57/EG)“, die die Harmonisierung des Eisenbahnverkehrs ermöglichen.
- Aus diesem Regelwerk entnehmen Sie für Ihre Nachschrift
 - die Kennwerte Forderungen für die Bremse und
 - die besonderen Forderungen an die Bremse der Fahrzeuge.
- Das Kapitel „Einführung“ führt zu der Erkenntnis, dass die Bremse ein Subsystem im gesamten System der Eisenbahn ist.
- Sie benötigen weitere spezielle Kenntnisse aus den europäischen Regelwerken
 - für die Auslegung der Fahrzeuge mit den dazugehörigen Bremsanlagen
 - des Verkehrsbetriebs und Zugsteuerung und der Infrastruktur.



1.2 Bremse in Regelwerken und Vorschriften

Es werden nun die speziellen Regelwerke aufgeführt, die Sie im Internet aufrufen können. Lesen Sie die Kap., die dazu hier nach dem Titel aufgeführt sind und machen Sie sich dazu Notizen in ihrer Nachschrift.

TSI LOC & PAS

VERORDNUNG (EU) Nr. 1302/2014 DER KOMMISSION vom 18. November 2014 über eine technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge – Lokomotiven und Personenwagen“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union

Kapitel 2.3.3. Höchstgeschwindigkeit, 4.2.4. Bremsen 5.3.5. Gleitschutzsystem

TSI LOC & PAS Ergänzung

DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2019/776 DER KOMMISSION vom 16. Mai 2019 zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 321/2013, (EU) Nr. 1299/2014, (EU) Nr. 1301/2014, (EU) Nr. 1302/2014, (EU) Nr. 1303/2014 und (EU) 2016/919 der Kommission sowie des Durchführungsbeschlusses 2011/665/EU der Kommission im Hinblick auf die Angleichung an die Richtlinie (EU) 2016/797 des Europäischen Parlaments und des Rates und Umsetzung der in dem Delegierten Beschluss (EU) 2017/1474 der Kommission festgelegten spezifischen Ziele

Folgende Kapitel

4.2.4.8.3. Wirbelstrombremse : Dieser Abschnitt beschreibt Wirbelstrombremsen, die eine Bremskraft zwischen der Einheit und der Schiene entwickeln.

4.2.3.3.1.2 Anforderungen an Wirbelstrombremsen für die Kompatibilität mit Zugortungs-/Gleisfreimeldeanlagen mit Achszählern, Gleisstromkreisen, Raddetektoren und Fahrzeugdetektoren mit Kabelschleifen verwiesen.

4.2.12 dieser TSI beschriebenen technischen Dokumentation angegeben. Das Infrastrukturregister enthält für jeden Streckenabschnitt die Information, ob der Einsatz zulässig ist und es werden gegebenenfalls die Bedingungen für den Einsatz angegeben. — Der genannte Höchstabstand zwischen der Wirbelstrombremse und der Schiene vertikale Kräfte als Funktion der Geschwindigkeit des Zuges im Falle der vollständigen Betätigung der Wirbelstrombremse (Schnellbremsung) und der teilweisen Betätigung der Wirbelstrombremse (Betriebsbremsung), — Bremskraft als Funktion der Geschwindigkeit des Zuges im Falle der vollständigen Betätigung der Wirbelstrombremse (Schnellbremsung) und der teilweisen Betätigung der Wirbelstrombremse (Betriebsbremsung).

4.2.4.5.2 und 4.2.4.5.3 spezifizierte Bremsvermögen der Einheit ist mit und ohne Verwendung der Wirbelstrombremsen zu bestimmen.

TSI WAG Güterwagen

VERORDNUNG (EU) Nr. 321/2013 DER KOMMISSION vom 13. März 2013 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge – Güterwagen“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union und zur Aufhebung der Entscheidung 2006/861/EG der Kommission

Folgende Kapitel

4.2.4. Bremse	
4.2.4.1. Allgemeines	
4.2.4.2. Sicherheitsanforderungen	
4.2.4.3. Funktionelle und technische Anforderungen	
4.3.1. Allgemeine funktionelle Anforderungen	
4.3.2. Bremsleistung	
4.3.2.1. Betriebsbremse	
4.3.2.2. Feststellbremse	
4.3.3. Wärmekapazität	
4.3.4. Gleitschutzeinrichtung. .	

TSI WAG Ergänzung

DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2019/776 DER KOMMISSION vom 16. Mai 2019 zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 321/2013, (EU) Nr. 1299/2014, (EU) Nr. 1301/2014, (EU) Nr. 1302/2014, (EU) Nr. 1303/2014 und (EU) 2016/919 der Kommission sowie des Durchführungsbeschlusses 2011/665/EU der Kommission im Hinblick auf die Angleichung an die Richtlinie (EU) 2016/797 des Europäischen Parlaments und des Rates und Umsetzung der in dem Delegierten Beschluss (EU) 2017/1474 der Kommission festgelegten spezifischen Ziele

Kapitel

4.2.2.5.Zugbildung.....

4.2.2.6.Zugbremsung.....

4.2.2.6.1MindestanforderungeBremssystem.....

4.2.2.6.2 Bremsleistung und zulässige Höchstgeschwindigkeit

TSI OPE Verkehrsbetrieb und Zugsteuerung

DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2019/773 DER KOMMISSION vom 16. Mai 2019 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union und zur Aufhebung des Beschlusses 2012/757/EU

Folgende Kapitel

4.2.2.5. Streckenkompatibilität und Zugbildung.....

4.2.2.5.1 Streckenkompatibilität.....

4.2.2.5.2 Zugbildung.....

4.2.2.6. Zugbremsung.....

4.2.2.6.1 Mindestanforderungen an das Bremssystem.....

4.2.2.6.2 Bremsleistung und zulässige Höchstgeschwindigkeit

TSI INF Infrastruktur

DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2019/776 DER KOMMISSION vom 16. Mai 2019 zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 321/2013, (EU) Nr. 1299/2014, (EU) Nr. 1301/2014, (EU) Nr. 1302/2014, (EU) Nr. 1303/2014 und (EU) 2016/919 der Kommission sowie des Durchführungsbeschlusses 2011/665/EU der Kommission im Hinblick auf die Angleichung an die Richtlinie (EU) 2016/797 des Europäischen Parlaments und des Rates und Umsetzung der in dem Delegierten Beschluss (EU) 2017/1474 der Kommission festgelegten spezifischen Ziele

Folgendes Kapitel

Anhang 1 „4.5 Instandhaltungsvorschriften“

Aufgaben:

1. Berechnen Sie die erforderlichen Signalbremswege für eine mittlere Bremsverzögerung a_m von 1 m/s^2 für Bremsausgangsgeschwindigkeiten von 100, 120, 140 160 und 200 km/h.

$$s = v_0^2/2 \cdot a_m$$

2. Mit welcher max. Geschwindigkeit darf ein Zug fahren, wenn der Signalbremsweg 1000m beträgt und eine Signalwegsicherheit von 10 % einzuhalten ist?

3. Erläutern Sie damit den Nachteil konstanter Signalbremswege gegenüber variablen Signalbremswegen.

4. Der Hochgeschwindigkeitsverkehr stellt besonders hohe Forderungen an die Bremstechnik. Berechnen Sie die Anhaltewege für Bremsausgangsgeschwindigkeiten von 200, 250, 300 km/h mit a_m von 1 m/s^2 .

5. Das Rad/Schiene System ist eine kraftschlüssige Verbindung, die nur begrenzt Kräfte in der Paarung übertragen kann. Das bedeutet, dass die Bremsverzögerung eines Zuges in der Höhe begrenzt ist. Wie groß darf die Bremskraft eines Fahrzeugs sein, wenn eine mittlere Verzögerung 1 m/s^2 und die Fahrzeugmasse 40 t beträgt.

6. Vergleichen Sie die max. Schienenfahrzeugverzögerung von max. $1,5 \text{ m/s}^2$ mit den in der Literatur angegebenen Verzögerungen für Autos?

7. Besonders kompliziert ist das Bremsen bei Supertankern. Fährt dieser mit 15 Knoten und einer Masse von 360 000t, so benötigt dieser etwa 10 km. Warum so viel?

Werden vom Bahnbetrieb bei Schienenfahrzeugen höhere Verzögerungen und damit kürzere Anhaltewege für den Bremsbetrieb gefordert, so müssen die Fahrzeuge zusätzlich mit Bremsen versehen werden, die direkt auf die Schiene wirken (Schienenbremsen).

Damit besteht auch eine Wechselwirkung mit der Infrastruktur. Es gibt Grenzwerte für die Bremskräfte, die auf Kunstbauten übertragen werden dürfen. Das gilt besonders beim Einsatz der Wirbelstrombremse bei Triebzügen in Doppeltraktion.

Der Fahrzeughersteller legt auch eine Grenze der max. Verzögerung für die Dimensionierung von Fahrzeugteilen fest. Damit sind max. Grenzen der Bremstechnik festgelegt. Die max. Verzögerung darf einen Wert von $2,5 \text{ m/s}^2$ nicht überschreiten.

Ergebnis: Zu beachten sind sowohl kinematische als auch thermische Grenzwerte bei der Dimensionierung der Bremsen.

1.4 Bremsarbeit und Bremsleistung

Bremsarbeit und Bremsleistung einer Stoppbremsung (Haltebremsung)

$$E = \varrho \cdot \frac{m_G}{2} \cdot \left(\frac{V}{3,6} \right)^2 - f_{WF} \cdot \sum F_R \cdot s_B$$

E	ϱ	m_G	V	f_{WF}	F_R	s_B
kJ	-	t	$\frac{\text{km}}{\text{h}}$	$\frac{N}{\text{kN}}$	kN	m

(3/1)

Für ein Rad mit einer anteiligen Fahrzeugmasse $m_R = 8 \text{ t}$ und einem Massenfaktor $\varrho = 1,05$ ergeben sich die in der Tabelle 3/1 angegebenen Bremsarbeiten. Dabei blieb die Reibungsarbeit des Fahrzeugwiderstandes unberücksichtigt. Mit Erhöhung der Bremsanfangsgeschwindigkeit von 80 km/h auf 140 km/h verdreifacht sich die Bremsarbeit. Bei Annahme einer vollständigen Umwandlung in Wärme entsprechen die angegebenen Werte gleich der erzeugten Wärmemenge.

Tabelle 3/1 Bremsarbeiten und Bremsleistungen bei Haltebremsungen für eine Radfahrmasse 8 t

V in km/h	80	100	120	140
E in kJ	2074	3241	4667	6352
P_m in kW	93,4	116,7	140	163,4

Die Bremsleistung ist bei Einleitung der Bremsung am größten und verringert sich mit Abnahme der Geschwindigkeit. Die sich über den Bremsvorgang ergebene **mittlere Bremsleistung** P_m ermittelt man nach der Gleichung (3/2):

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot \varrho \cdot m_G \cdot a_B \cdot \frac{V}{3,6}$$

P_m	ϱ	m_G	a_B	V
kN	-	t	$\frac{m}{s^2}$	$\frac{\text{km}}{\text{h}}$

(3/2)

Für eine Bremsverzögerung $a_B = 1 \text{ m/s}^2$ sind die mittleren Bremsleistungen, bezogen auf ein Rad, ebenfalls in Tabelle 3/1 enthalten.

Aus Fachbuch „Grundausrüstungen“
Transpress
VEB Verlag für Verkehrswesen
Jaenichen Kap 3 Bremsanlagen , S. 114

Bremsarbeit und Bremsleistung einer Dauerbremsung

Die Bremsarbeit bei Dauerbremsung wird nach der Gleichung (3/3) ermittelt:

$$E = \frac{m_G \cdot g}{1000} \cdot (f_{WS} - f_{WF}) \cdot s_B$$

E	m_G	g	f_{WS}	f_{WF}	s_B
kJ	t	$\frac{m}{s^2}$	‰	$\frac{N}{kN}$	m

(3/3)

Tabelle 3/2 Bremsarbeiten bei Dauerbremsungen auf einer Strecke von 10 km und mit einer Radfahrmasse 8 t

f_{WS} in ‰	10	15	20
E in kJ	5 494	9 418	13 342

Tabelle 3/2 enthält die Bremsarbeiten bei einem angenommenen Bremsweg $s_B = 10$ km und einem spezifischen Fahrzeugwiderstand $f_{WF} = 3$ N/kN, bezogen auf ein Rad.

Die Bremsleistung bei Dauerbremsung ist:

$$P = \frac{m_G \cdot g}{1000} \cdot (f_{WS} - f_{WF}) \cdot \frac{V}{3,6}$$

P	m_G	g	f_{WS}	f_{WF}	V
kW	t	$\frac{m}{s^2}$	‰	$\frac{N}{kN}$	$\frac{km}{h}$

(3/4)

Tabelle 3/3 Bremsleistungen bei Dauerbremsungen für eine Radfahrmasse 8 t

V in km/h	50	60	70
P in kW	24	28,8	33,6

Nimmt man eine Neigung $f_{WS} = 25$ ‰ an, so ergeben sich die in Tabelle 3/3 angegebenen Werte. Der Vergleich der Bremsleistungen zeigt, daß sie bei einer Haltebremsung größer als bei einer Dauerbremsung sind. Die Bremsarbeiten sind bei Dauerbremsungen erheblich höher als bei Haltebremsungen.

Aus Fachbuch „Grundausrüstungen“ Transpress
VEB Verlag für Verkehrswesen
Jaenichen Kap 3 Bremsanlagen, S. 115

Vertiefung des Stoffes durch Handrechnungen:

Stoppbremsung

Berechnen Sie die **Bremsarbeit** aus der kinetischen Energie des Fahrzeugs bei Nichtbeachtung der Fahrzeugwiderstandskräfte für Bremsausgangsgeschwindigkeiten $v_0 = 100, 140, 160, 200$ und 250 km/h für eine statische Radsatzfahrmasse $m_{st} = 8t$ und einer zusätzlichen Rotationsmasse $m_{rot} = 0,2t$.

$$E = (m_{st} + m_{rot}) \cdot v^2 / 2$$

Die **mittlere Bremsleistung** wird nach folgender Gleichung für die genannten Bremsausgangsgeschwindigkeiten berechnet:

$$P = ((m_{st} + m_{rot}) \cdot a_B \cdot v_0) / 2, \text{ dabei beträgt die mittlere Bremsverzögerung } a_B = 1 \text{ m/s}^2.$$

Dauerbremsung

Bremsarbeit ohne Fahrzeugwiderstandskraft

$$E = m_{st} \cdot g \cdot i \cdot s_B$$

Annahme: $m_{st} = 8t$, $i = 10, 15$ und 20% . Weg $s_B = 10$ km

Bremsleistung ohne Fahrzeugwiderstandskraft

$$P = m_{st} \cdot g \cdot i \cdot v$$

Annahme : $v = 60, 70$ und 80 km/h für Neigung $i = 20\%$

Zusatzaufgaben für interessierte Zuhörer

Welche pot. Energie ergibt sich, wenn Sie einen Lkw vom Eifelturm 300m Höhe mit einer Masse von 7,5 t fallen lassen?

Vergleichen Sie diese mit der abzubremsenden kinetischen Energie eines Triebzuges mit einer Radsatzlast 9,3 t bei einer Bremsausgangsgeschwindigkeit von 250 km/h?

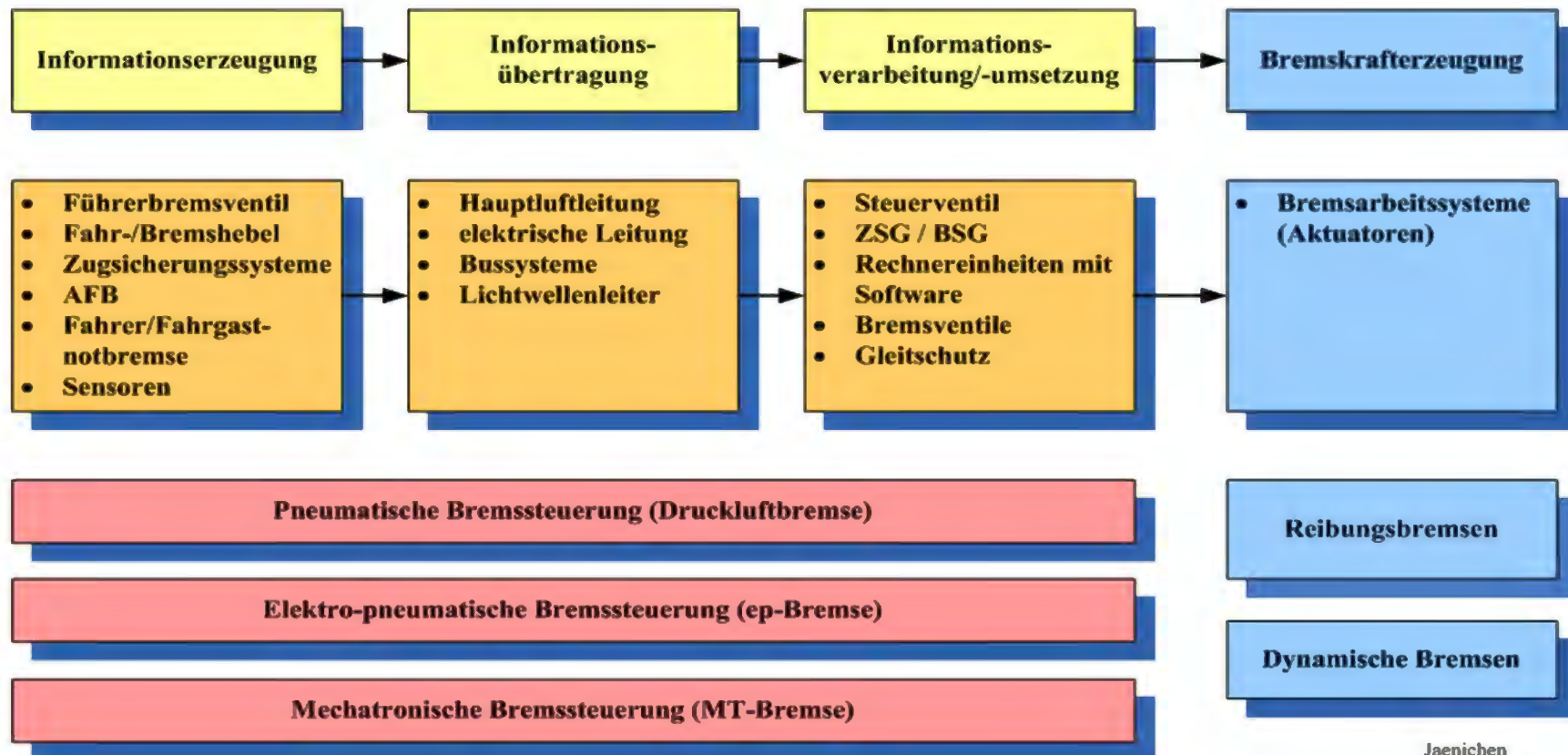
Welcher Unterschied besteht?

Was müssen Bremsen so leisten?

Beim Hochgeschwindigkeitsverkehr wird das noch deutlicher, wenn die Rhein-Main Strecke mit Ihrer Topografie befahren wird.

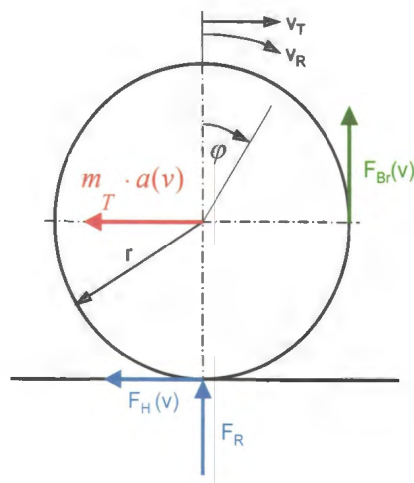
4. Einteilung der Bremsen nach Funktionen

Systemaufbau der Bremsanlagen von Schienenfahrzeugen



Jaenichen

- Rad-Bremskräfte müssen die Translations- und Rotations-Bewegung des Fahrzeugs abbremsen
- **Abbremsung der Translations-Bewegung** (Modellvereinfachung)



» Momente Radmittelpunkt $\Sigma M = 0$

$$F_{Br}(v) \cdot r \leq F_H(v) \cdot r$$

F_{Br} - Bremskraft

F_H - Kraftschlusskraft

» Längskräfte $\Sigma X = 0$

$$m_T \cdot a(v) = F_H(v)$$

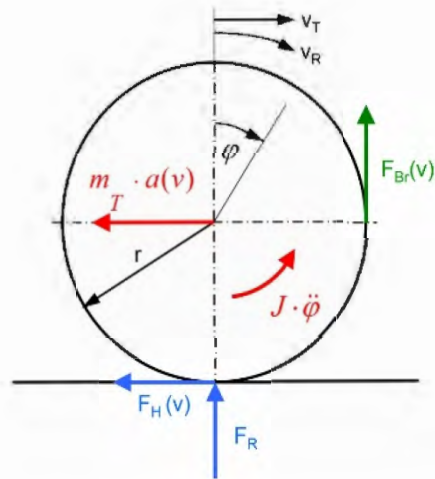
$$a(v) = F_H / m_T$$

$a(v)$ - Bremsverzögerung

Fazit: max .Verzögerung ist von F_{Hmax} abhängig.



- **Abbremsung der Translation- und Rotationsbewegung**



Zusätzliches Drehmoment M_D der Rotationsmassen

$$M_D = J \cdot \psi.$$

J – Massenträgheitsmoment

ψ – Drehwinkel

$\dot{\psi}$ – Winkelbeschleunigung

Momente Radmittelpunkt

$$F_{Br}(v) \cdot r \leq F_H(v) \cdot r - J \cdot \dot{\psi}$$

mit Massenträgheitsmoment J

$$J = m_R \cdot r^2 \text{ und}$$

$$a(v) = -\dot{\psi}/r \text{ wird}$$

$$F_{Br}(v) \cdot r \leq F_H(v) \cdot r + m_R \cdot a(v) \cdot r \quad /:r$$

$$F_{Br}(v) \leq F_H(v) + m_R \cdot a(v)$$



Fazit:

Der Trägheitsterm der Rotationsmassen benötigt eine zusätzliche Bremskraft.

Fragen:

- Was versteht man unter einer Rotationsmasse?
- Welche Rotationsmassen sind auf einem E-Fahrzeug vorhanden?
- Wie berechne ich die Rotationsmassen?
- Welcher Zusammenhang besteht zwischen Massenfaktor der Fahrdynamik und der Rotationsmasse ?
- Weshalb muss die Bremskraft für jeden Radsatz berechnet werden?
- Warum sollten im Fahrzeuge die Rotationsmassen minimiert werden?

Verbindung Rad/Schiene ist kraftschlüssig, deshalb

- Es gilt Gesetz der Wechselwirkung der Kräfte

actio ist gleich reactio $F_{Br} = F_H$

F_H , die Reaktionskraft, wird nach Coulombschen Reibungsgesetz berechnet, dieses lautet

$$F_H = \tau * F_R \text{ mit}$$

τ - Kraftschluss Rad/Schiene, sie ist eine Funktion des Schlupfes,
ist ein variabler Wert und von einer Vielzahl von Faktoren abhängig.

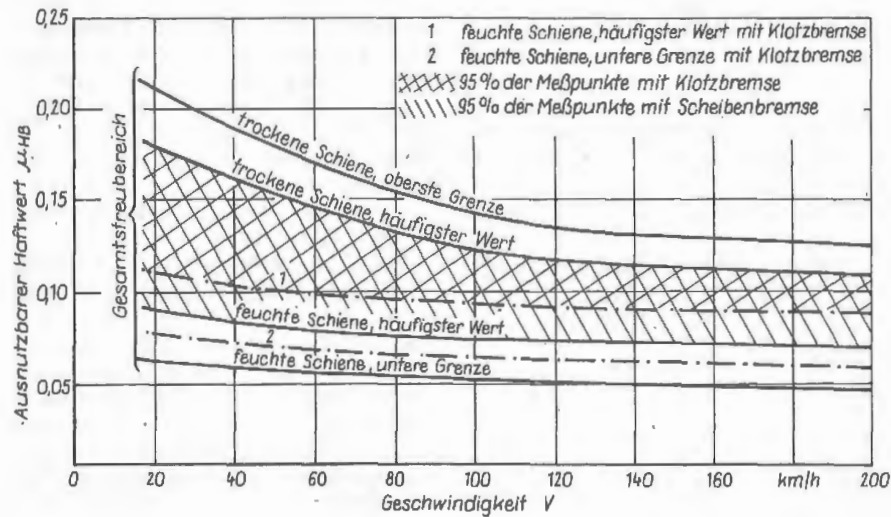
F_R - aus dem Wiegeprotokoll oder aus den Projektierungsunterlagen
(Massemanagement des Fahrzeugs)

TSI LOC & PAS und TSI WAG siehe Vorgaben für (siehe Pkt 1.2)

Danach ist die Bremse auszulegen. Das sind idealisierte Werte.

Auf welche Grundlagen beruhen diese TSI-Werte?

Versuche der SNCF



- Abhängigkeit von den Umweltbedingungen und der Geschwindigkeit
- Relativ niedrige gemessene Kraftschluss-Werte
- Versuchsbereich bis 200 km/h

Mathematische Nachbildung

Angleichung an Versuchsergebnisse

Methoden: e -, arc tan-, Parabel-Funktionen

Wenn $s = -1$, Gleitreibung Rad/Schiene

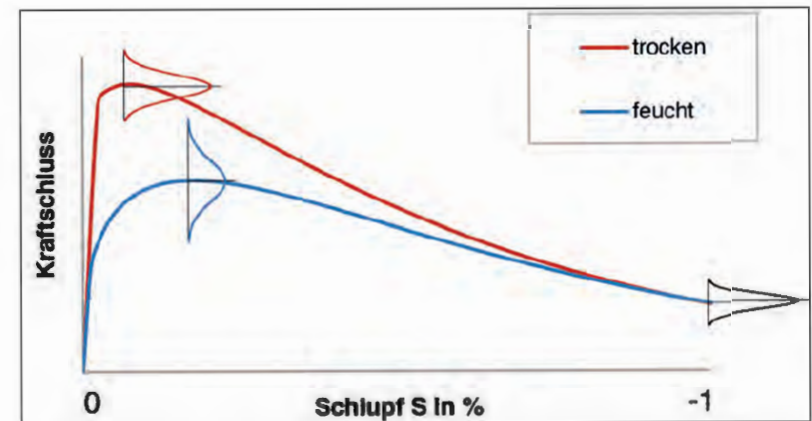
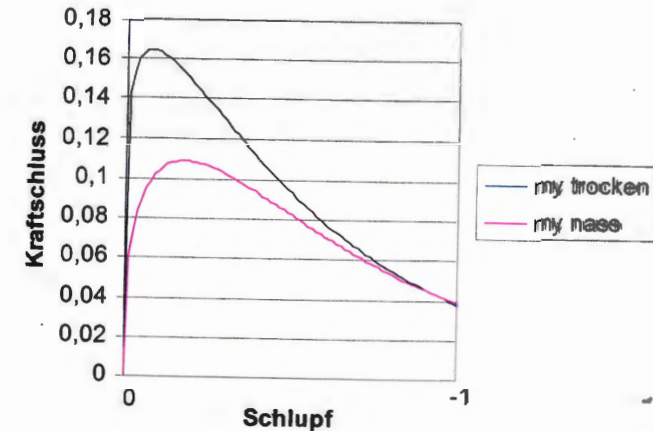
mit $\tau = 0,04$ bis $0,06$

Anhalteweg Verlängerungen beim Gleiten

$$\tau_{\text{Kraftschluss}} / \tau_{\text{Gleiten}} = 0,10 / 0,05 = 2$$

Streuung des Kraftschlusses je nach

Umweltbedingungen



Zur Kontaktmechanik sagt der Tribologe Popov in seinem Buch:

„In diesem Kapitel untersuchen wir nur die trockene oder Coulombsche Reibung zwischen festen Körpern. Festkörperreibung ist ein außerordentlich kompliziertes physikalisches Phänomen. Es umfasst elastische und plastische Deformationen von Oberflächenbereichen der kontaktierenden Körper, Wechselwirkungen mit einer Zwischenschicht, Mikrobrüche und die Wiederherstellung der Kontinuität des Materials, Anregung von Elektronen und Phononen, chemische Reaktionen und Übertragung von Teilchen von einem Körper zum anderen. Umso erstaunlicher ist es, dass sich ein sehr einfaches Reibungsgesetz formulieren lässt, das für viele Ingenieur Anwendungen in erster Näherung ausreicht: Die Reibungskraft ist proportional zur Normalkraft....“

Keramik Partikel

Bisher wenig angewendet, weitere Experimente sind notwendig. Literatur sagt:

„Für die Erzeugung des gleichen Effektes ist eine geringere Menge erforderlich, so dass die Vorratsbehälter für das Streumittel kleiner gehalten werden kann.“

Putzmittel auf der Schiene

- Reinigung mit Druckluft (z. B. bei der BLS)
- Wasserstrahl - Hochdruckreiniger mit ca. 100 bar, der Wasserstrahl wird über Düsen z. B. bis 500 bar und bis zu einer Wassermenge von 200l/min auf die Schienen gesprüht
- Einsatz der Magnetschienenbremse, durch ihren Kontakt mit der Schiene wird diese gesäubert, entsprechende Versuche bestätigen die Kraftschlussverbesserung

Putzmittel an der Radoberfläche

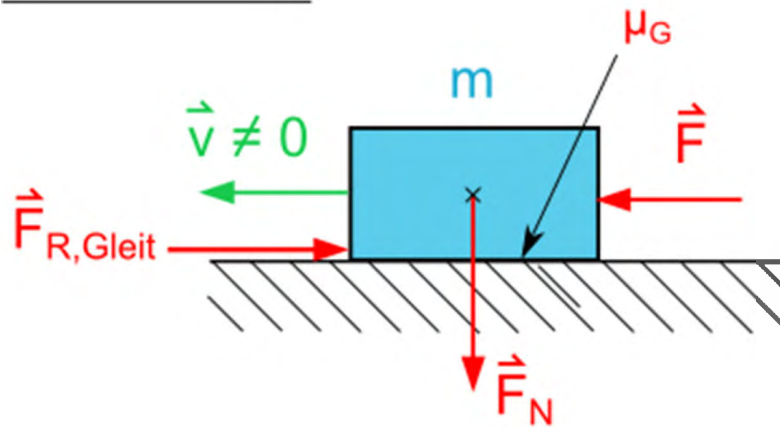
Putzklötze mit einer definierten Anpresskraft säubern die Radoberfläche.

Einige Bahnen verwenden diese Putzklötze. Natürlich können sie auch zur zusätzlichen Abbremsung des Fahrzeugs beitragen.

Fragen

- Welche max. Kraftschlusswerte werden in der TSI WAG für die Abbremsung mit Klotzbremse mit Gußbremssohlen und für die Abbremsung der Fahrzeuge mit Scheibenbremse angegeben?
- Nennen Sie die Ursache für den Kraftschlussunterschied im Pkt 1.
- Hat die Magnetschienenbremse einen Einfluß auf den Betrag des Kraftschlusses. Begründen Sie Ihre Entscheidung.
- Weshalb wird in der Literatur für den Anfahrvorgang eines Triebfahrzeugs ein höherer Kraftschluss vorausgesetzt als am gleichen Triebfahrzeug beim Bremsen?
- Unter welchen Voraussetzungen finden Slip-Stick Bewegungen am Radsatz beim Bremsvorgang statt?

Gleitreibung



- $\vec{F}_{R,Gleit}$ - Gleitreibungskraft
- \vec{F}_N - Normalkraft
- \vec{F} - anschiebende Kraft
- μ_G - Gleitreibungszahl
- \vec{v} - Geschwindigkeit
- m - Masse

Gleitreibungskraft:

$$F_{R,Gleit} = F_N \cdot \mu_G$$

Normalkraft / Gewichtskraft:

$$F_N = m \cdot g$$

Voraussetzungen für Gleitreibung:

$$F > F_{R,Gleit}$$

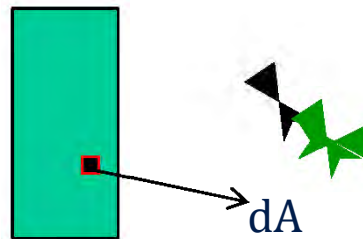
$$\vec{v} \neq 0$$

www.maschinenbau-wissen.de

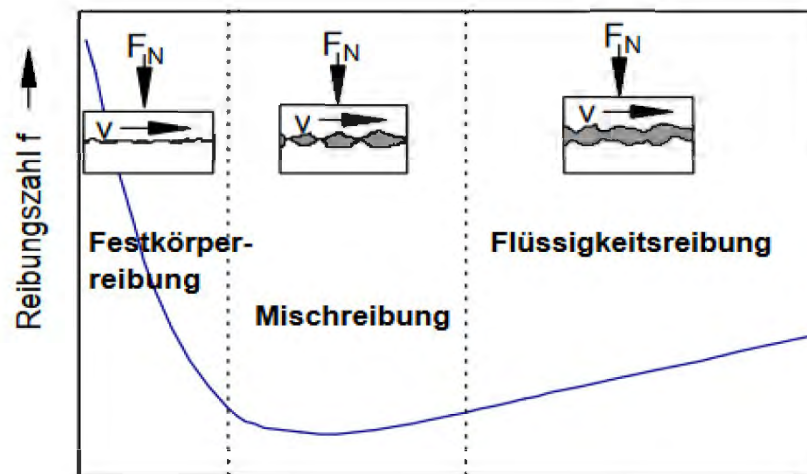


Wechselwirkungen sind über der gesamten Reibfläche unterschiedlich, partielles Tragbild, Reibwert ist das Resultat von Einzelreibwerten je Flächenelement

$$\mu_a = 1/A \int \mu_{a,i} \cdot dA$$



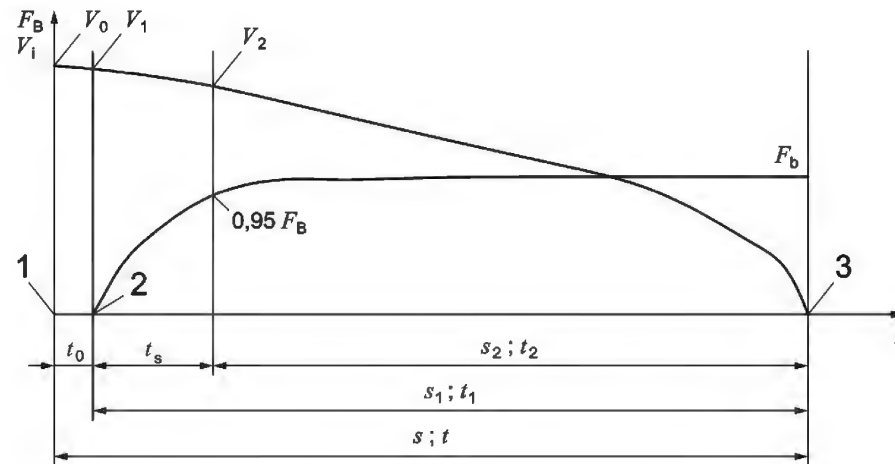
Arten der Reibung ; Ausbildung nach Stribeck-Kurve



Mittlerer Reibwert μ_m

$$\mu_m = \frac{1}{s_2} \cdot \int_0^{s_2} \mu_a \cdot ds \quad [-]$$

mittlerer Reibwert: der mittlere Reibwert μ_m , integriert über die Zeitspanne ab 95 % der nominalen Anwendungskraft F_B über den Anhalteweg s_2 bis zum Stillstand



Legende

- 1 Bremsanforderung
- 2 Kraftanstieg von F_B
- 3 Stillstand

S_2 Anhalteweg zum Zeitpunkt des Erreichen von 95% der F_B

S_1 Anhalteweg von Beginn von F_B bis Stillstand



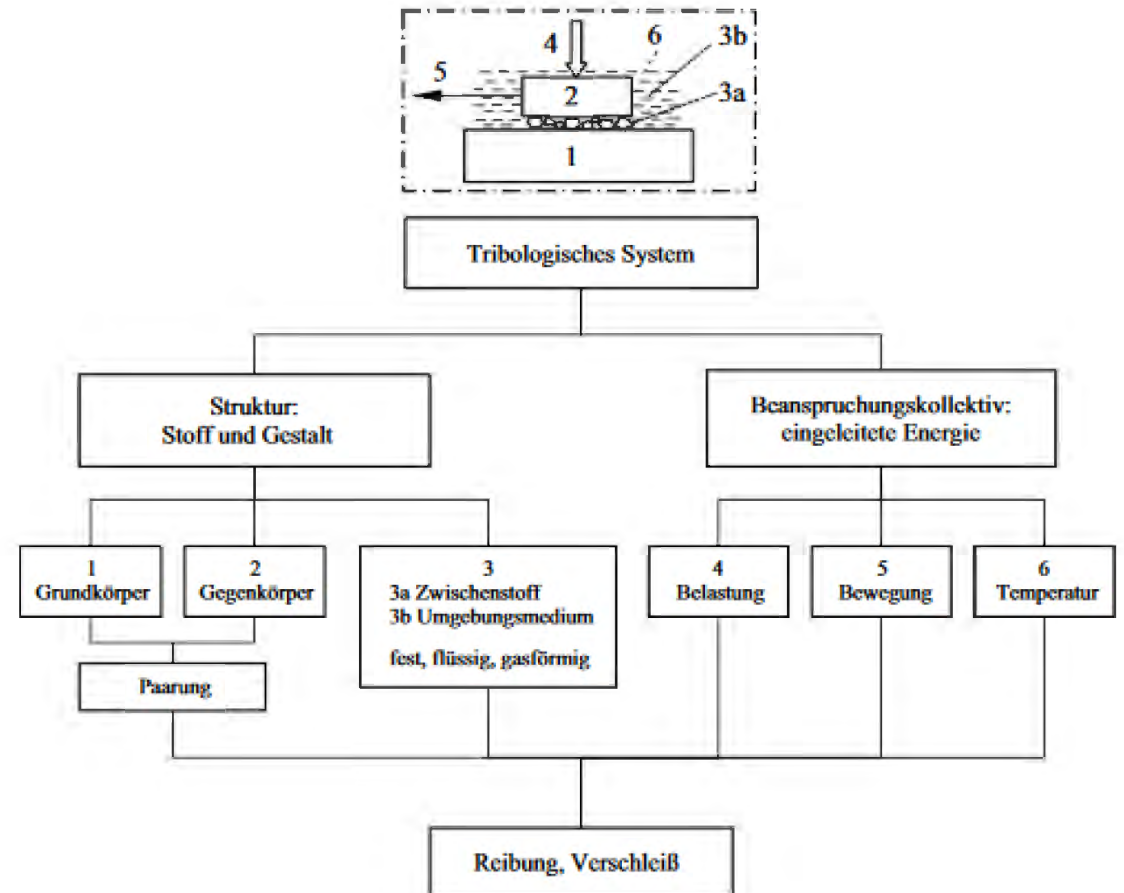
Einflussfaktoren aus der Sicht des Vortragenden auf den Reibwert

- Werkstoffpaarung
- Formpaarung
- Umwelteinflüsse
- Betriebsbedingungen
- Momentaner Zustand der Grenzschicht

Beachtung der Besonderheiten bei Bremswerkstoffen

Reibschicht wird thermisch beeinflusst
 Ausbildung einer Grenzschicht auf der Basis des Werkstoffes der Grundkörpers
 damit andere tribologische Eigenschaften als der Grundkörper
 Werkstoff hat ein Gedächtnis

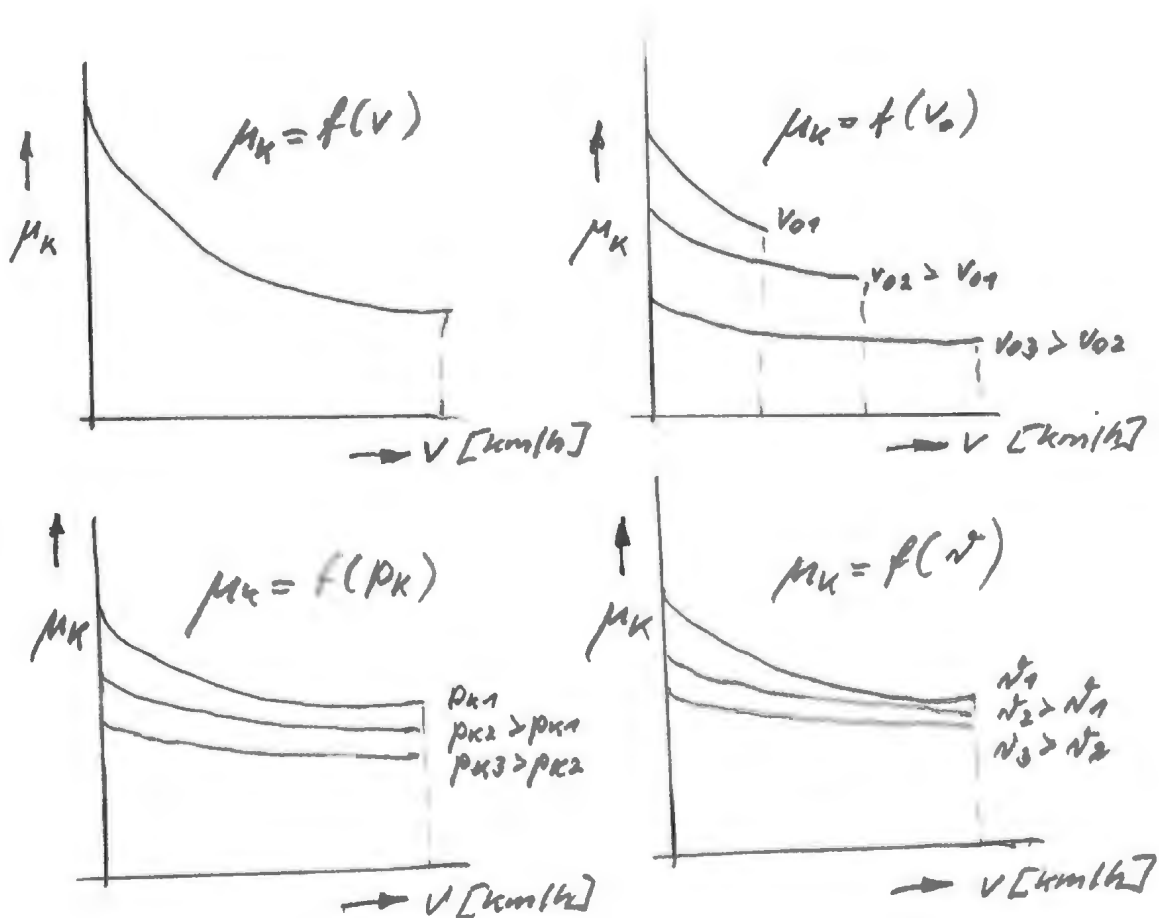
Einflussparameter auf den Reibungsprozess



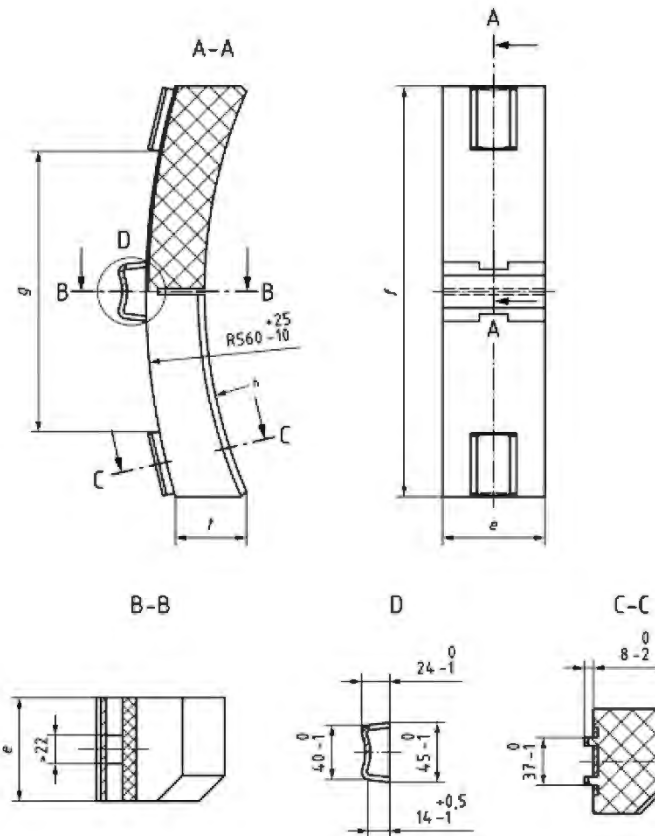
Quelle :Kontaktmechanik und Reibung
 Von der Nanotribologie bis zur Erdbebendynamik
 Autoren: Popov, Valentin L.

Bremswerkstoffe sind von folgenden Parametern abhängig:

$$\mu = f(v, v_0, p_k, \delta)$$



Bauform der Bremssohle mit Abmessungen

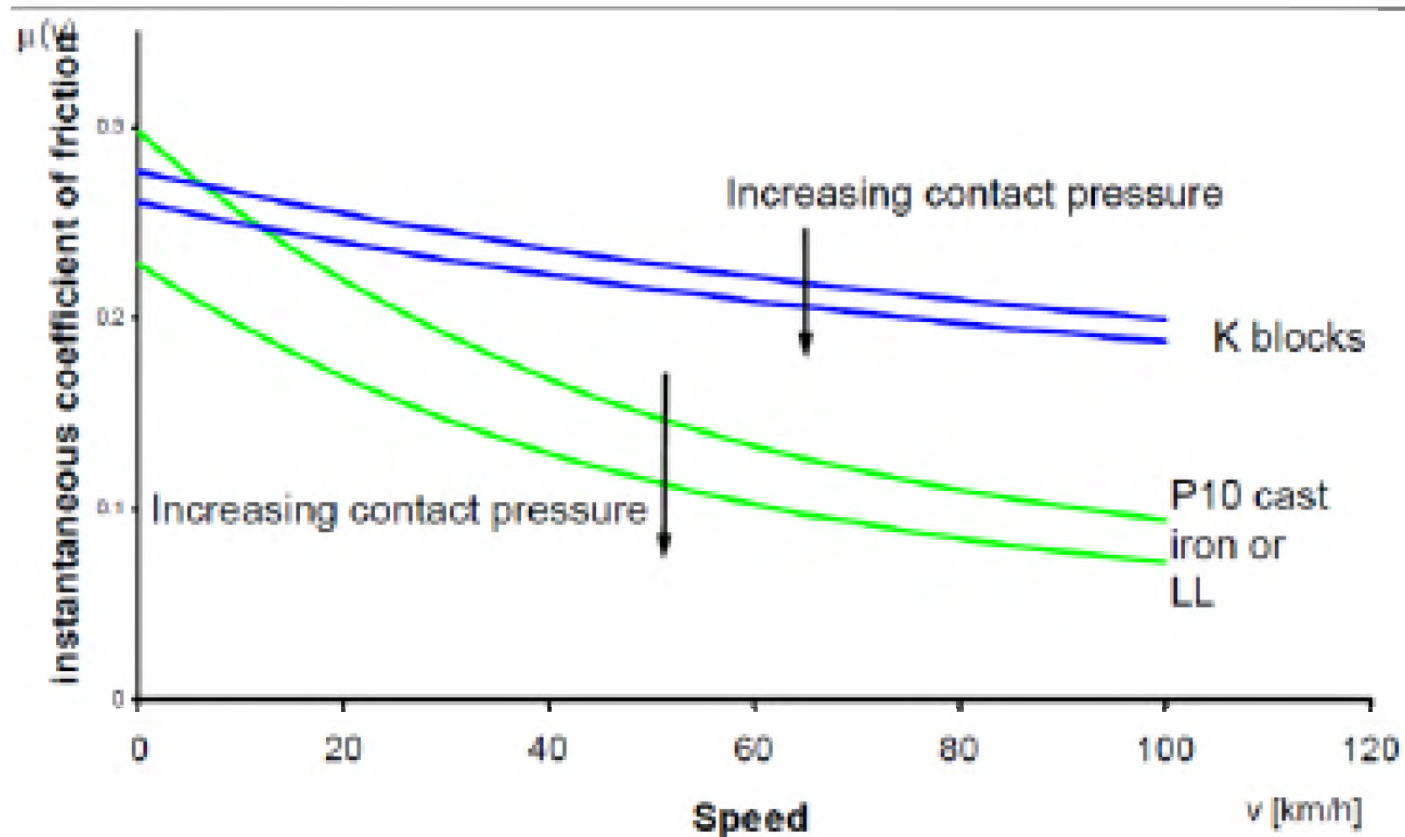


Legende

- e bevorzugte Abmessung = 80 mm
- f = 250 mm für eine Bremsklotzsohle von 250 mm (üblicherweise verwendet bei der Konfiguration Bgu)
= 320 mm für eine Bremsklotzsohle von 320 mm (üblicherweise verwendet bei der Konfiguration Bg)
- g = 182 mm für eine Bremsklotzsohle von 250 mm (üblicherweise verwendet bei der Konfiguration Bgu)
= 220 mm für eine Bremsklotzsohle von 320 mm (üblicherweise verwendet bei der Konfiguration Bg)
- h Kontaktfläche zwischen Bremsklotzsohle und Lauffläche. Falls nicht anderweitig vereinbart, muss das Profil der Reibfläche mit dem Radprofil S1002 von EN 13715 kompatibel sein
- t bevorzugtes Maß = 60 mm

Bild S.1 — Ausführung der Bremsklotzsohlen der Typen K, L und LL mit einer Länge von 250 mm und 320 mm

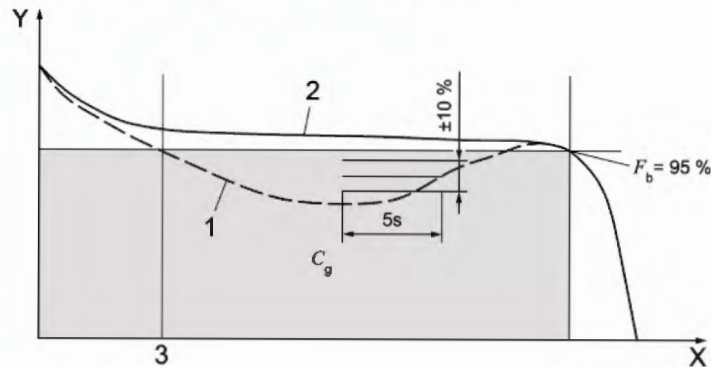
Vergleich der Reibwertverläufe von GG-, K- und LL-Sohlen



Bewertung der Bremsmaterialien durch Prüfstands- und Betriebsversuche

C.4 Streubereich momentaner Reibwerte

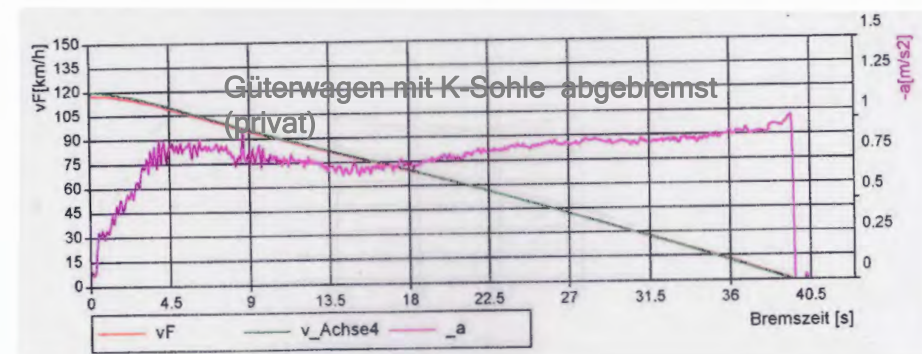
Streubereich momentaner Reibwerte, anwendbar für Prüfprogramme C.1 und C.2.



Legende

- 1 Beispiel eines momentanen Reibwerts (μ_a), schlechtes Profil
- 2 Beispiel eines momentanen Reibwerts (μ_a), gutes Profil
- C_g grauer Bereich, nicht empfohlener Bereich für momentanes Reibprofil
- 3 30 km/h
- X momentane Geschwindigkeit (km/h)
- Y Reibwert (μ)

Bild C.4 — Maximale Abweichung der momentanen Reibwerte



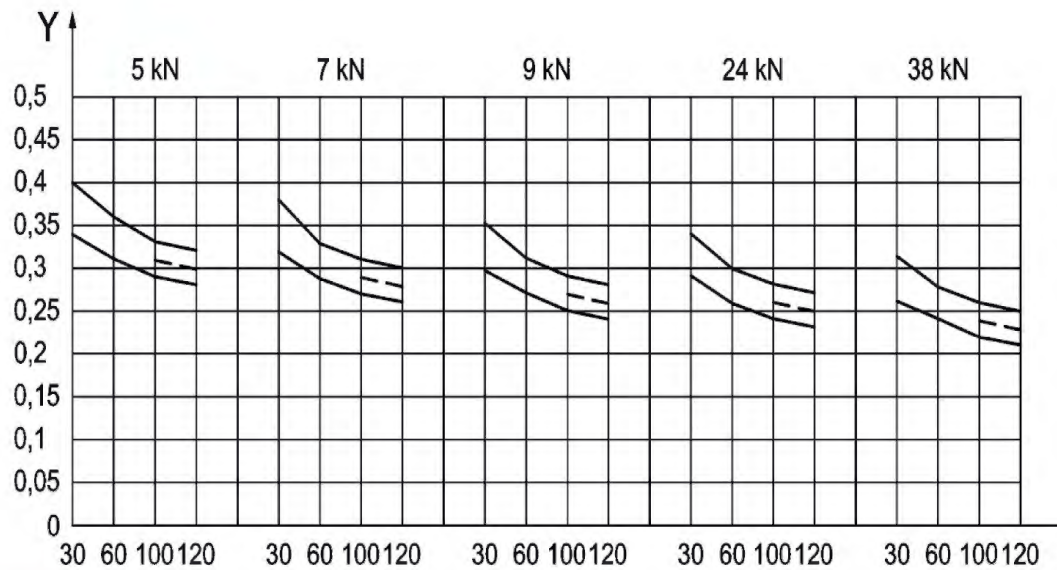
Schrieb Jaenichen

Die Beurteilung im Betrieb muss an mindestens fünf (5) Güterwagen für die Anordnung der Bremsklötze und das Bremssystem (S/SS-gebremst) und unter verschiedenen Wetterbedingungen, für 12 Monate ohne Unterbrechung und für mindestens 60 000 km für jedes Fahrzeug durchgeführt werden.

DIN EN 16452 Bremsklotzsohlen **K-Sohle**

$$\mu_{K0} = 0,44 \frac{0,1 F_K + 20}{0,4 F_K + 20} \cdot \frac{v + 150}{2v + 150}$$

C.3.3 Konfiguration 2Bg



Legende

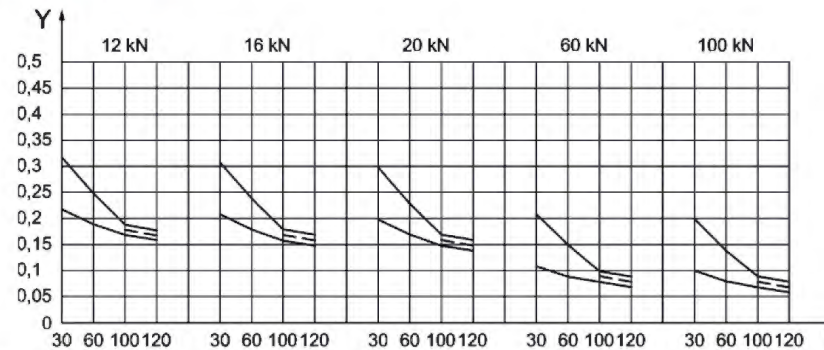
- nominaler Reibwert für 100 km/h und 120 km/h
- Hüllkurve der Toleranzen
- X Geschwindigkeit in km/h
- Y Reibwert

Tabelle C.5 — Streubereich des mittleren Reibwerts in trockenem Zustand, Konfiguration 2Bg

F_B kN	Anfangs- geschwindigkeit v (km/h) \geq	30	60	100	120
5	Maximum	0,403	0,357	0,330	0,320
	Nominal			0,310	0,300
	Minimum	0,341	0,310	0,290	0,280
7	Maximum	0,377	0,334	0,310	0,300
	Nominal			0,290	0,280
	Minimum	0,319	0,290	0,270	0,260
9	Maximum	0,351	0,311	0,290	0,280
	Nominal			0,270	0,260
	Minimum	0,297	0,270	0,250	0,240
24	Maximum	0,338	0,299	0,280	0,270
	Nominal			0,260	0,250
	Minimum	0,286	0,260	0,240	0,230
38	Maximum	0,312	0,276	0,260	0,250
	Nominal			0,240	0,230
	Minimum	0,264	0,240	0,220	0,210

Bremsklötze (LL) aus Verbundwerkstoff - Darstellung der Reibeigenschaften für S- und SS- (S/SS) gebremste Güterwagen ($v_{\max} = 120 \text{ km/h}$)

D.3.3 Konfiguration 2Bg



Legende

- — — nominaler Reibwert für 100 km/h und 120 km/h
- — — Hüllkurve der Toleranzen
- X Geschwindigkeit in km/h
- Y Reibwert

Bild D.2 — Streubereich mittlerer Reibwert in trockenem Zustand, Konfiguration 2Bg

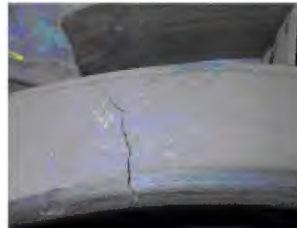
Tabelle D.5 — Streubereich mittlerer Reibwert in trockenem Zustand, Konfiguration 2Bg

F_B kN	Anfangs- geschwindigkeit v (km/h) \geq	30	60	100	120
12	Maximum	0,320	0,250	0,190	0,180
	Nominal			0,180	0,170
	Minimum	0,220	0,190	0,170	0,160
16	Maximum	0,310	0,240	0,180	0,170
	Nominal			0,170	0,160
	Minimum	0,210	0,180	0,160	0,150

Beschränkung zulässiger mechanischer Beschädigungen der Bremsklotzsohlen

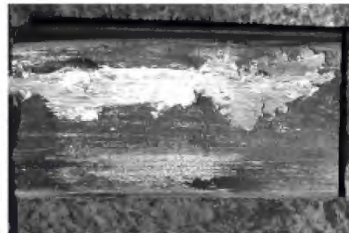
U.2 Risse bis zur Rückentragplatte

Radialriss im Reibmaterial von der Reibungsfläche
bis zur Rückentragplatte



U.4 Metallische Einschlüsse

Metallische Einschlüsse von mehr als 5 % der
gesamten Reibfläche der Bremsklotzsohle



U.3 Bröckeln von Reibmaterial

Bröckeln von Reibmaterial von mehr als $\frac{1}{4}$ der
Länge der Bremsklotzsohle (entspricht der
Gesamtlänge > 63 mm für 250 mm
Bremsklotzsohlen oder Gesamtlänge > 80 mm für
320 mm Bremsklotzsohlen)



U.7 Ablösung von Reibmaterial

Ablösung von Reibmaterial von mehr als 10 % der
gesamten Reibfläche des Bremsklotzes



Fragen

- Was besagt die Anwendungsrichtlinie V-BKS (LL) Teil 2 für den Bahnbetrieb?
https://uic.org/IMG/pdf/uic_anwendungsrichtlinie_v-bks_ll_nicht-aktualisiert.pdf
- Warum und wodurch erhält der Lokführer eine Information über die Anzahl der Fahrzeuge mit K- und LL-Sohlen im Zug?
- Welche Unterschiede ergeben sich in der Bremsbedienung zwischen einem GG- und einem K-Sohlen gebremsten Zug bei einer Stoppbremmung (Diskussion mit dem Diagramm über die unterschiedlichen Reibwertverläufe)
- Welche Massnahmen sind erforderlich, dass Radbrüche durch die Klotzbremse vermieden werden ?

Lesen Sie dazu das Finaldokument zu Radreifenbrüche „Broken wheels“, Brüssel

28. Nov 2019

https://www.eba.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Fahrzeuge/Ueberwachung/32_Ergebnisse_ERA_Taskforce_Gueterwagenradbrueche_DE.pdf?__blob=publicationFile&v=4

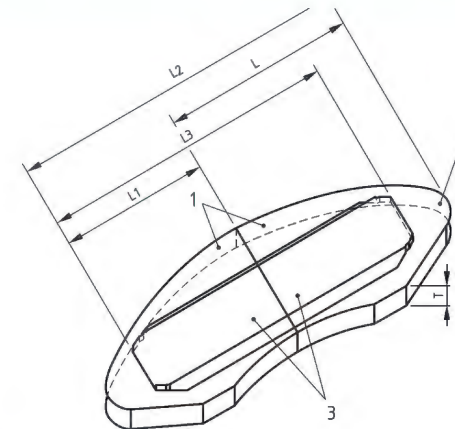
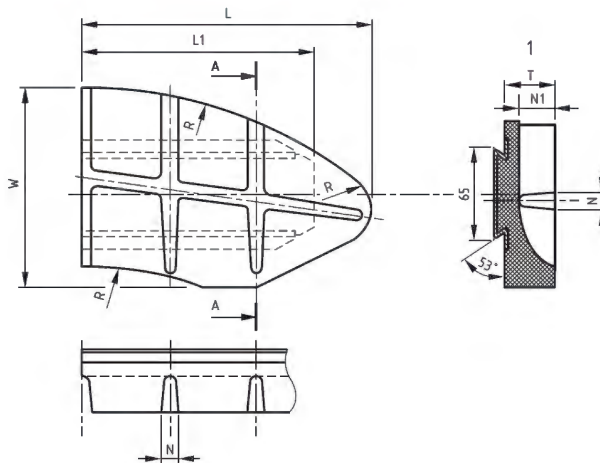
Fragen

- Was sind die Ursachen der Streuung der Reibwerte?
- Weshalb ist das Tragbild einer Bremssohlenreibfläche beim Bremsen nicht 100%, sondern aus physikalischer Sicht variabel?
- Was versteht man unter dem Gedächtnis einer Bremssohle?
- Warum werden in der DIN EN 16452 keine momentanen sondern nur mittlere Reibwerte angegeben, obwohl doch für die Auslegung der Bremse momentane Reibwerte notwendig sind?
- Sind in der Fahrdynamik für die Fahrzeitberechnung mittlere Reibwerte klotzgebremster Züge ausreichend?
- Welches sind die Ursachen der Querrisse in den K-Bremssohlen in der Folie 21?

Geometrie eines Belages

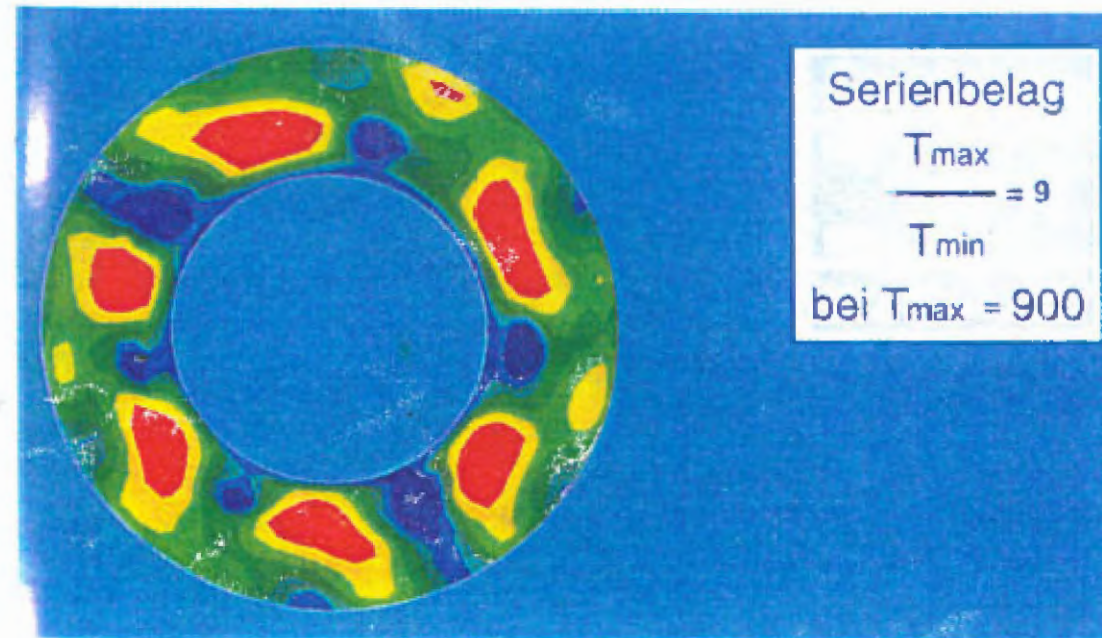


Bild Jaenichen



- Legende**
- 1 Belag
 - 2 Belaghälfte
 - 3 Schwalbenschwanz — Design

Hot pots auf Brems Scheibe

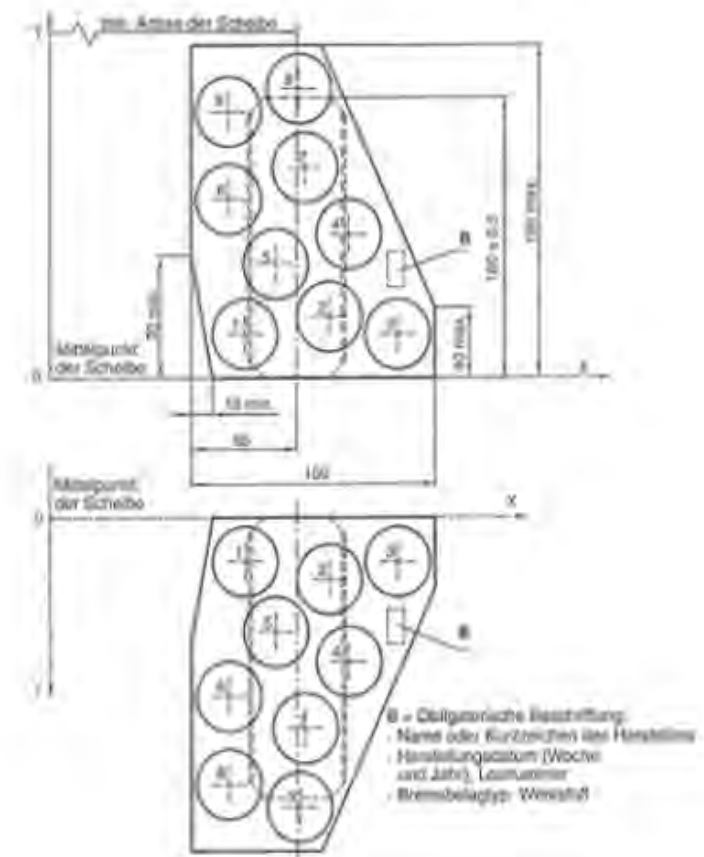


Sinterwerkstoff

Zusammensetzung

- Trägermedium z. B. Eisen, Kupfer oder deren Legierungen
- Gleitfördernde Stoffe z. B. Grafit, niedrigschmelzende Metalle
- Reibungsmodifikatoren z. B. Oxide, Silikate, Carbide
- sind teuer, neigen leichter zu Geräuschen,
- hochlegierte Stahlscheiben als Partner,
- erforderlich im HGV wegen thermischer Stabilität

Sinterbremsbelag Abmessungen

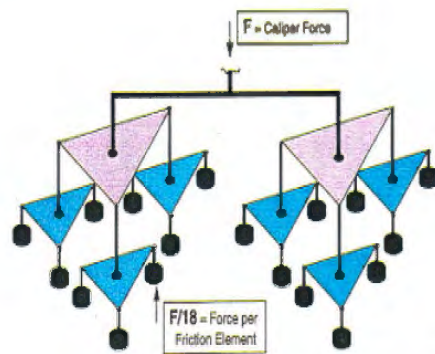


Flexpad Silent von KNORR-Bremse

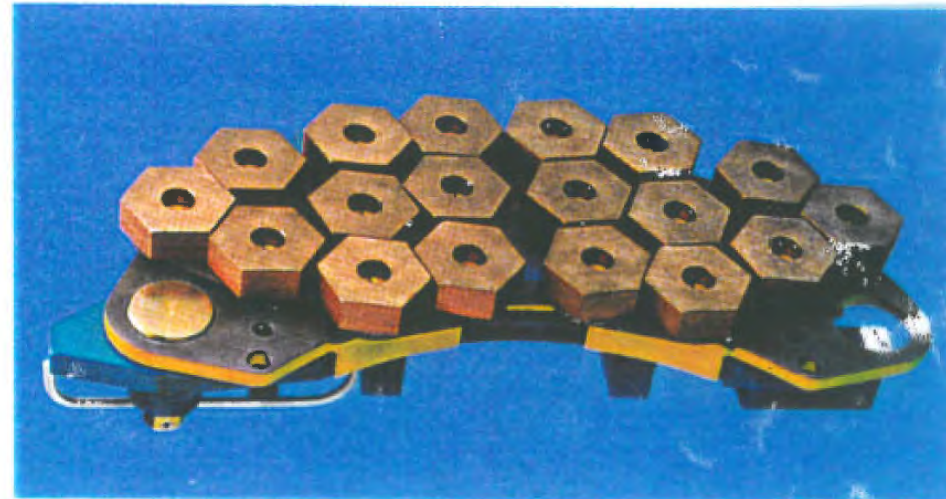
- Mittlerer Reibwert $\mu_m = 0,35$
- Geringe Geräusentwicklung
- Flexible Pads höhere Lebensdauer
- Sinterelemente sind austauschbar
- Kein Quietschen



Dreipunktlagerung



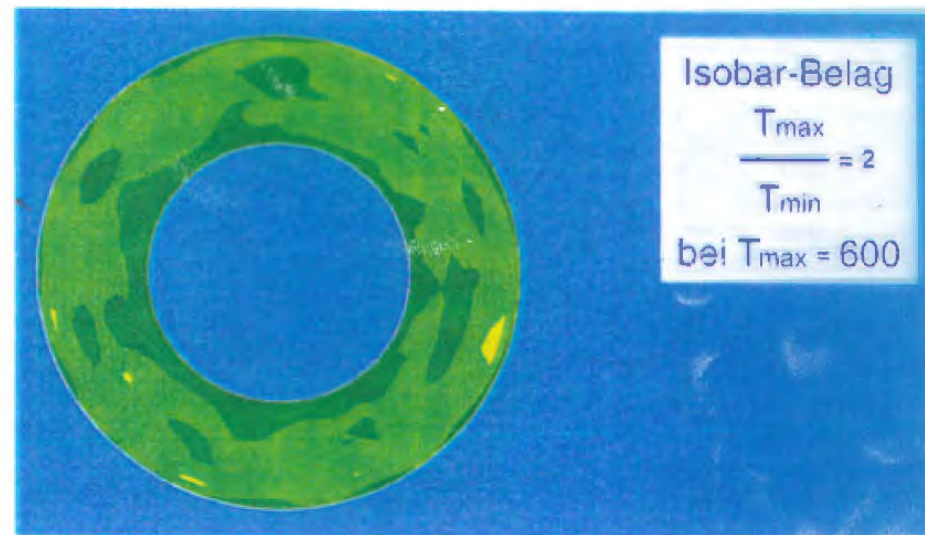
Ausführung Bauart KNORR



Herstellung von Sinterbelägen

- Mischen
- Pressen zur Formgebung
- Sintern bei 900 -1050°C in Brandöfen

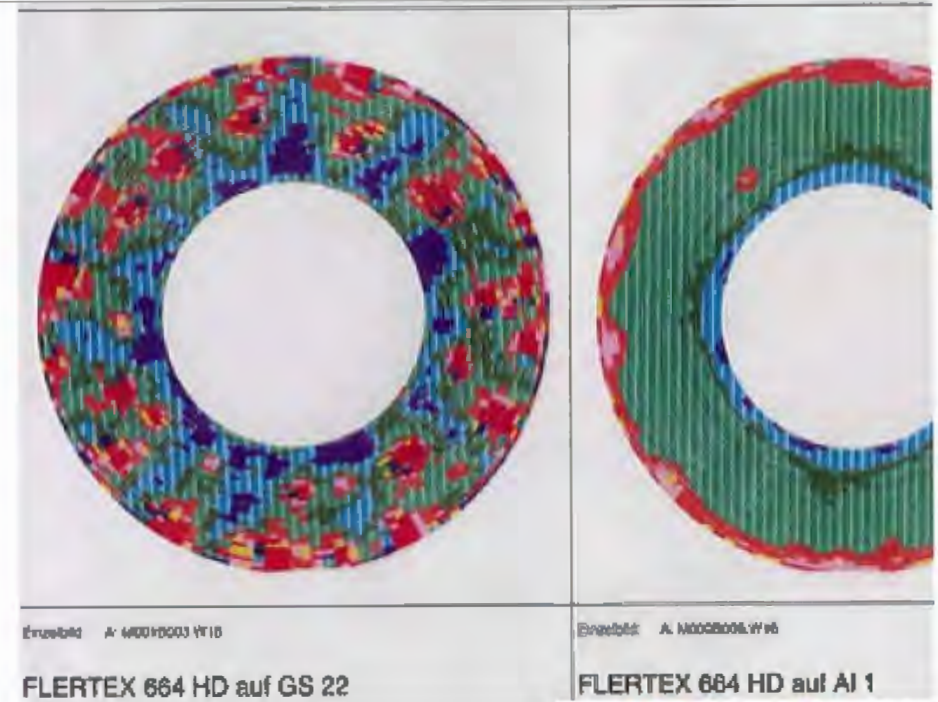
Keine hot pots





Al – MMC Bremsring
 WKS 640 x 100 Al
 nach UIC 541-3 300 km/h Programm

- Leistungsfähigkeit (Richtwerte)
 - Bremsenergie bis 15MJ/450kW
 - Temperaturen max 400°C
 - Homogene Wärmeverteilung
- Geringer Eigen- und Gegenverschleiß
- Niedrige Masse



FLERTEX-Gruppe und ergänzte
 die Gruppe mit ihrer Erfahrung im
 Bereich Hochenergie und
 Hochgeschwindigkeitsbremsen .

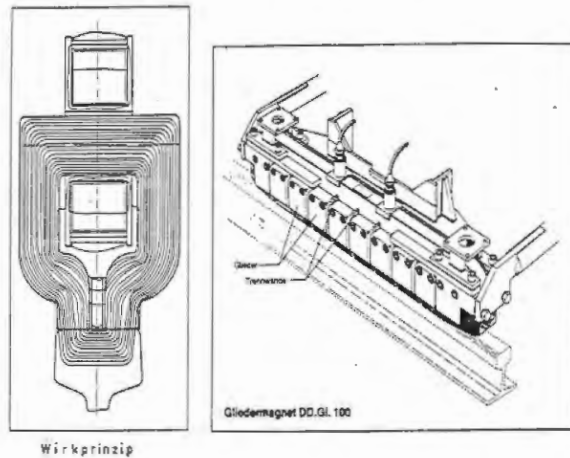


- Werkstoffe

Stahl/Stahl Baustahl DIN EN 10025 hat

- formstabile Eigenschaften und
- Materialzähigkeit und Zugfestigkeit

Magnetschienenbremse



Stahl/Sintereisen

- Reibwert höher, -Anzugskraft geringer (nur etwa 65%), Bremskraft etwa mit Paarung Stahl /Stahl identisch.
- Preis/Leistungsverhältnis gegenüber –Stahl/Stahl schlechter
- Keine Aufschweißungen, geringerer Wartungsaufwand ,
Sevicekosten sinken, aber größerer Verschleiß der Polschuhe

Stahl/Gußeisen GGG40

- Nur 75 % der Anpreßkraft von St
- Reibwert leicht niedriger als St
- Bremskraft nur 65% von Paarung ST/St
- Größerer Verschleiß gegenüber ST/St

Momentaner Reibwerte

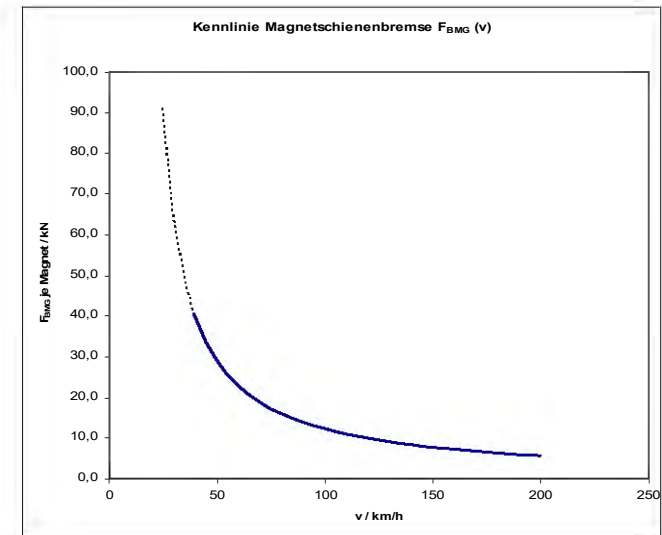
$$\mu_{MG} = 1/(k_1 \cdot v_0 + k_0)$$

Koeffizienten in DIN EN 14531-1 nicht
Angegeben, Anfrage beim
Lieferanten

z. B. $K_0 = 2$, $K_1 = 0,18$

Mittlerer Reibwert

$$\overline{\mu_{MG}} = \frac{v_0^2 - v_1^2}{\frac{2}{3} \cdot k_1 \cdot (v_0^3 - v_1^3) + k_0 \cdot (v_0^2 - v_1^2)}$$



v_0 Ausgangsgeschwindigkeit
 v_1 Abschaltgeschwindigkeit z. B. 6 m/s

Energieaufnahmefähigkeit (Leistungsfähigkeit) der Reibpaarungen

- Organische Reibstoffe 11MJ/Scheibe (bedeutet für eine Höchstgeschwindigkeit von 270 km/h und eine abzubremsende Masse von 4t), max. Temperatur etwa 375°C, in Grauguss-Bremsscheiben starke Wärmespannungen)
- Sinterwerkstoffe 14 MJ/Scheibe (bedeutet bei einer Höchstgeschwindigkeit von 300 km/h und eine abzubremsende Masse von 4t) max. Temperatur etwa 600 °C , legierte Stahlscheiben, im Störfall 20 MJ erreichbar, wenn die Anpresskraft der Bremsbeläge oberhalb von 200 km/h verringert wird

Beispiele TGV1 14 MJ, TGV 2 18 MJ, TGV 3 22 MJ je Scheibe

Fragen

- Geben Sie eine technische Begründung für die Fugung der organischen Beläge.
- Weshalb ist die geometrische Oberflächen-Gestaltung der Sinterbeläge denen der organischen Beläge nicht identisch?
- Weshalb unterscheiden sich die geometrischen Oberflächen-Varianten von Sinterbelägen?
- Welches sind die Ursachen der hot pots?
- Nennen technische Vor- und Nachteile von CFC-Bremsen!
- Begründen Sie, weshalb Triebzüge mit Polschuhen der MG-Bremse mit Baustahl ausgewählt werden?

Fragen

- Erläutern Sie den Prozess der Materialauftragungen auf den Polschuhen
- Warum ist der momentane Reibwertverlauf bei der MG-Bremse unterhalb der v von 50 km/h gestrichelt dargestellt?
- Welche Veränderungen an Belägen entstehen, wenn die genannte Leistungsgrenze der organischen Beläge überschritten wird?
- Begründen Sie, warum in Deutschland keine speziellen CFC –Beläge für Schienenfahrzeuge entwickelt und eingesetzt werden?
- Wie erfolgt die Wärmeaufteilung auf Belag und Bremsscheibe?

vereinfachter Ansatz ohne Beachtung der Rotationsmasse

$$F_{Br}(v) \leq F_H$$

$$F_{Br}(v) = F_K * \mu_K(v) \text{ mit } F_H = F_R * \mu_H \text{ und } F_R = m * g$$

$$\mathbf{F_K * \mu_K(v) \leq F_R * \mu_H}$$

$$F_K / F_R \leq \mu_H / \mu_K(v)$$

Bezogen auf ein Fahrzeug

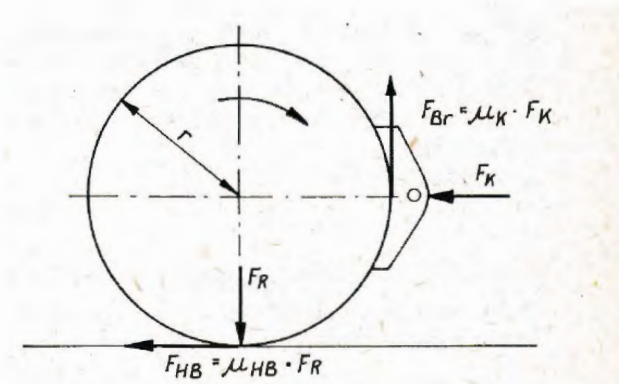
$$\Sigma F_K / \Sigma F_R \leq \mu_H / \mu_K(v)$$

Definition Abbremsung eines Fahrzeugs κ

$$\kappa = \Sigma F_K / \Sigma F_R \quad \kappa = \Sigma \mu_H / \mu_K$$

Prozentuale Abbremsung eines Fahrzeugs κ

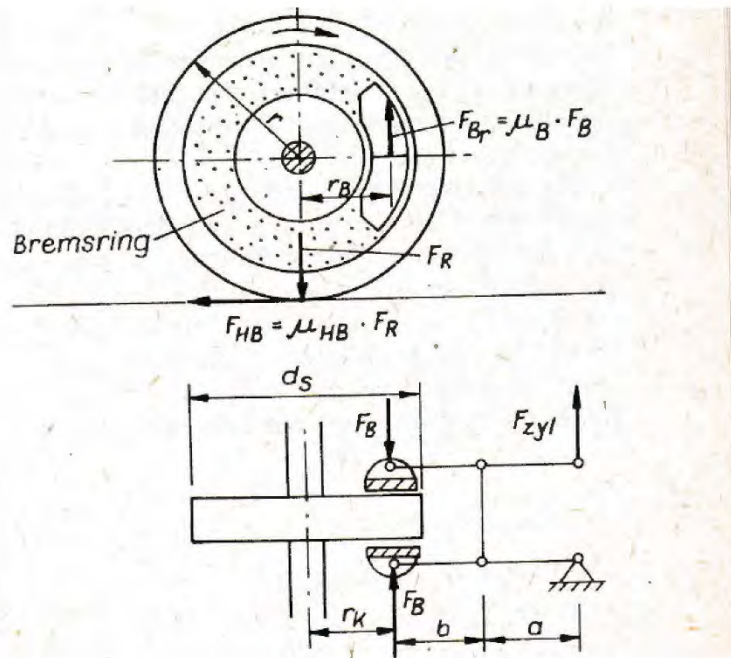
$$\kappa = (\Sigma F_K / \Sigma F_R) * 100 \quad \kappa = \mu_{Hm} / \mu_{Km} * 100$$



Beispiel $\mu_{Km} = 0,15$ für LL-Sohle, $\mu_{Hm} = 0,15$ ist $\kappa = 100\%$,

d. h. $\Sigma F_K \leq \Sigma F_R$ für erste Berechnungen

- **Scheibenbremse**



- » $\Sigma M = 0$
- » $F_H * r = F_{Br} * r_B$ mit r_B Bremsradius
- » $F_R * \mu_H * r = F_B * \mu_B * r_B$

$$\gg \frac{F_B}{F_R} * \frac{r_B}{r} = \frac{\mu_H}{\mu_B}$$

» Proz. Abbremsung

$$\kappa = \frac{F_B}{F_R} * \frac{r_B}{r} * 100 = \frac{\mu_H}{\mu_B} * 100$$

Beispiel $\mu_H = 0,15$, $r_B = 247$ mm, $r = 420$ mm
und $\mu_B = 0,35$, $m = 8$ t ist $\kappa = 42,8\%$

Damit ist $F_B \leq \kappa * F_R * r / r_B$

$$\Sigma F_B \leq 0,428 * m * g * 420 / 247$$

$$\Sigma F_B \leq 0,428 * 8000 * g * 1,70 = 57102N$$

Bremskraft am Bremsradius $F_{Br} = F_B * \mu_B$

$$= 57102 * 0,35$$

$$= 19985,7 \text{ N}$$

Bremskraft am Rad $F_{Br}(\text{Umfang}) = F_{Br} * r_B / r$

$$= 19985,7 * 247 / 420$$

$$= 11753,5 \text{ N}$$

Max. Gesamtbremskraft mit Rotationsmasse bezogen auf ein Rad

$$F_{Br} \leq 11753,0 + 382,6 = 12135,7 \text{ N}$$

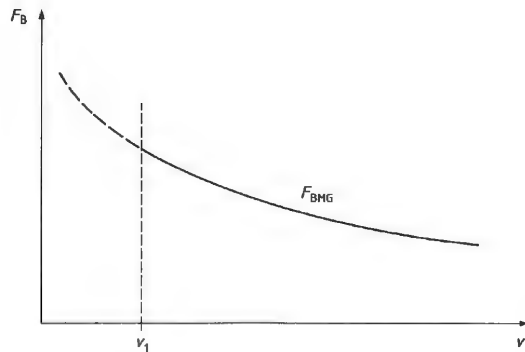
Prozentuale Zunahme der Bremskraft durch Rotationsmasse

$$383 \text{ N} / 12008 \text{ N} * 100 = 3,2 \%$$

- Momentane Bremskräfte der Magnetschienenbremse

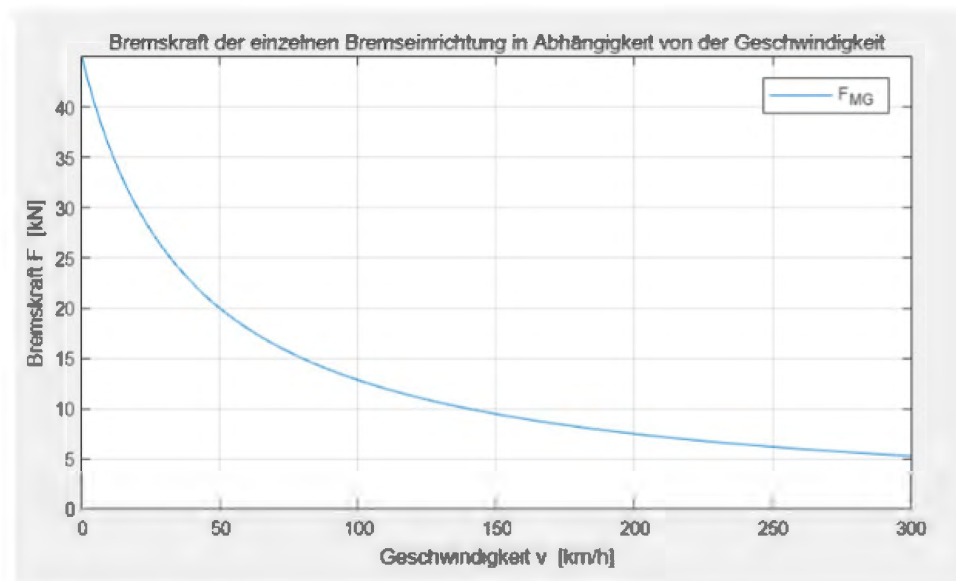
$$F_{\text{BMG}} = F_{\text{AMG}} \cdot \mu_{\text{MG}} = F_{\text{AMG}} \cdot \frac{1}{k_1 \cdot v + k_0}$$

Bremskraft nach EN 143531

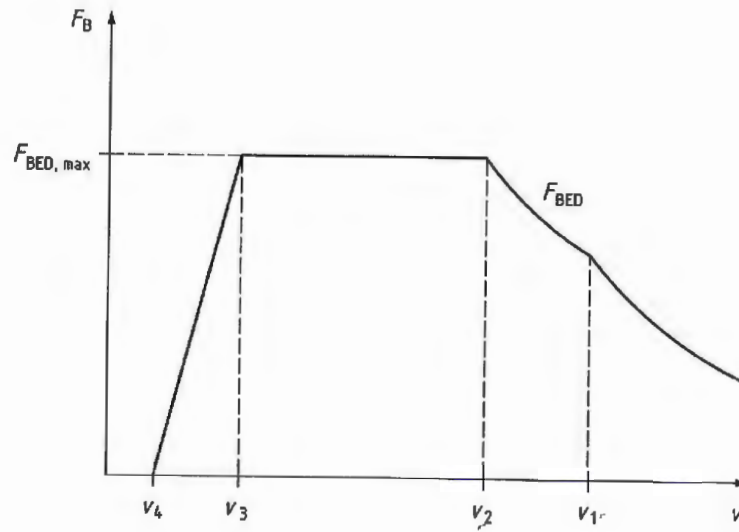


Beispiel
mit $F_{\text{AMG}} = 90 \text{ kN}$
 $K_0 = 2$
 $K_1 = 0,18$

Berechnete Bremskraft



- Momentane Bremskräfte der elektrodynamische Bremse
nach EN 14531



ein linearer Abschnitt von v_4 nach v_3

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

ein konstanter Abschnitt von v_3 nach v_2

$$F_{\text{BED}} = F_{\text{BED,max}}$$

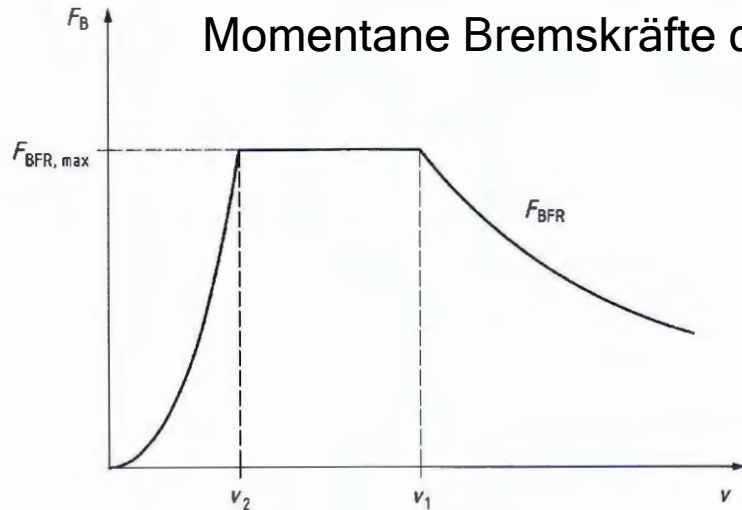
ein hyperbolischer Abschnitt mit konstanter Leistung von v_2 nach v_1

$$F_{\text{BED}} = F_{\text{BED,max}} \cdot \frac{v_2}{v}$$

ein Abschnitt, der von $1/v_2$ für Geschwindigkeiten über v_1 abhängt

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



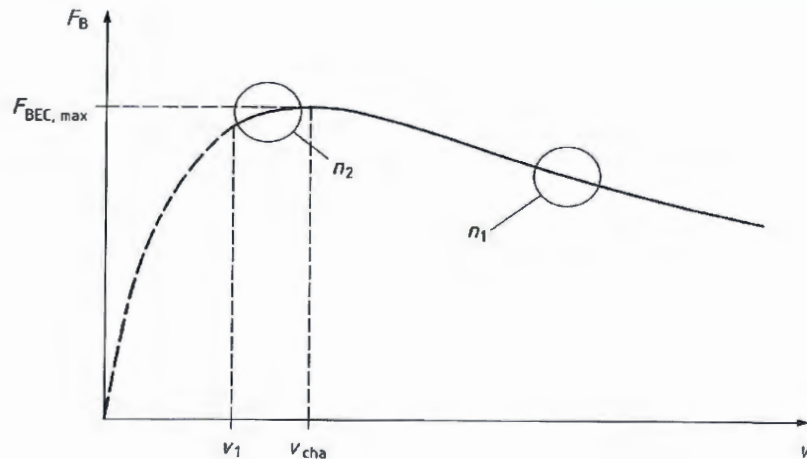


$$\text{wenn } 0 < v \leq v_2 \quad F_{BFR} = F_{BFR,max} \cdot \frac{v^2}{v_2^2}$$

$$\text{wenn } v_2 < v \leq v_1 \quad F_{BFR} = F_{BFR,max}$$

$$\text{wenn } v_1 < v \leq v_{max} \quad F_{BFR} = F_{BFR,max} \cdot \frac{v_1}{v}$$

Momentane Bremskräfte der Wirbelstrombremse nach DIN EN14531



$$F_{BEC} = F_{BEC,max} \cdot \frac{2}{\left(\frac{v}{v_{cha}}\right)^{n_1} + \left(\frac{v_{cha}}{v}\right)^{n_2}}$$

mit:

$$n = n_1 \quad \text{für } v \geq v_{cha}$$

$$n = n_2 \quad \text{für } v < v_{cha}$$



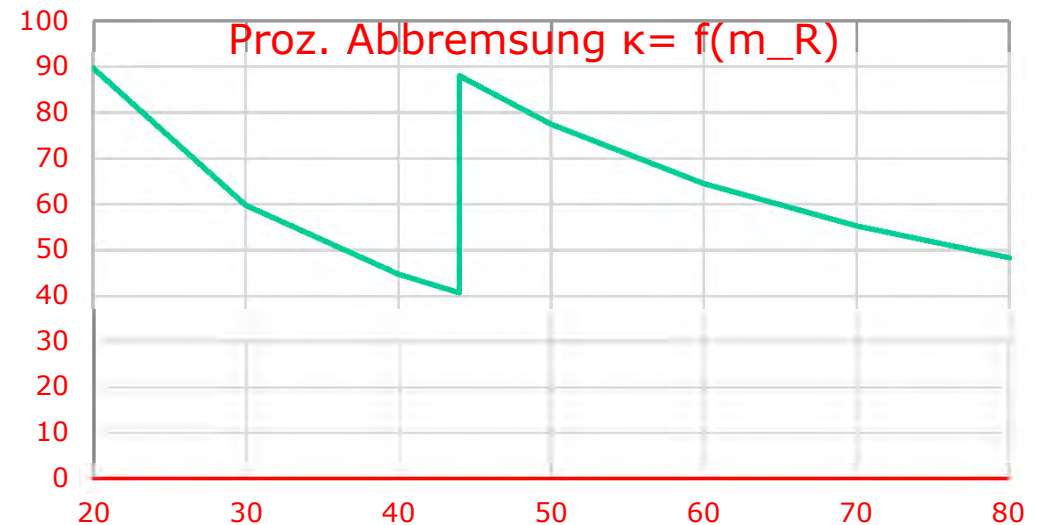
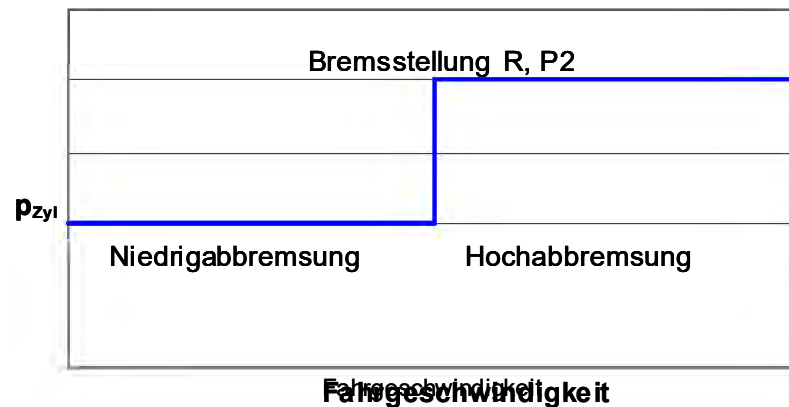
Masseabhängige Regelung der Bremskraft

Beispiel Klotzbremse mit proz. Abbremsung κ

$$\kappa = 0,15/0,17*100 = 89\%$$

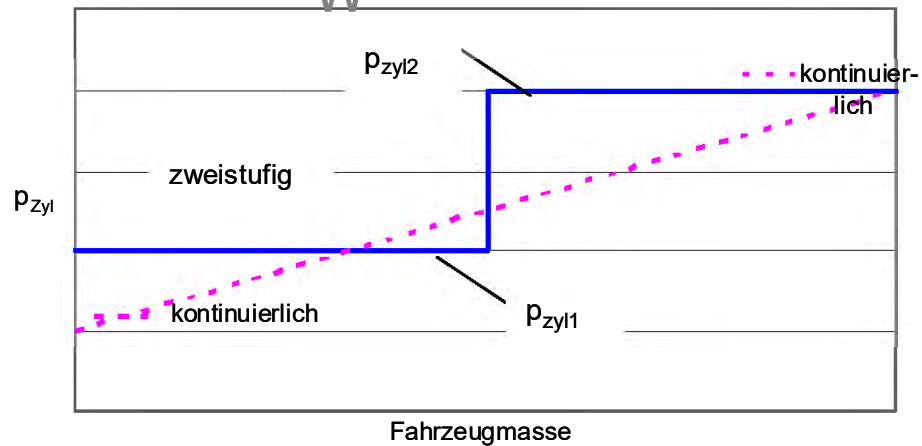
$$\gg \kappa = (\sum F_K / (m_R * g)) * 100$$

Zweistufige Lastabbremmung



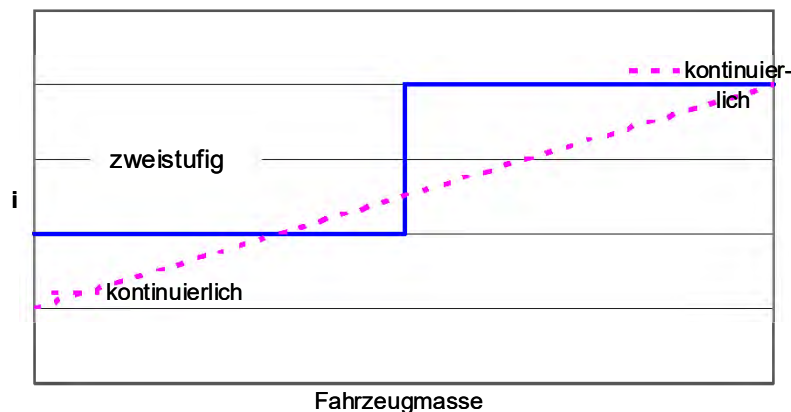
Wirkprinzipi der Regelung :

Regelung des Bremszylinderdruckes $F_K = f(p_{zyl})$ in zwei Stufen bzw. kontinuierlich



Automatische Lastabbremmung

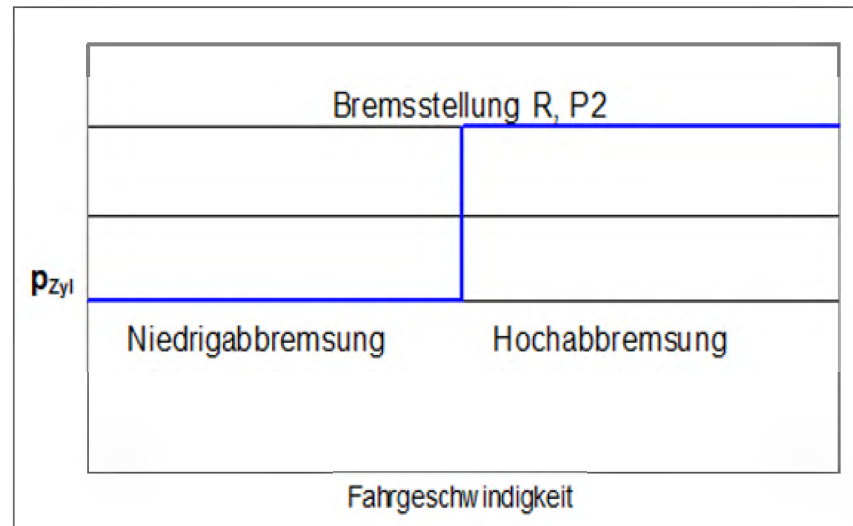
Regelung durch Übersetzung $F_K = f(i_1 \text{ und } i_2)$ in zwei Stufen bzw. kontinuierlich



Automatische Lastabbremmung

Geschwindigkeitsabhängige Regelung der Bremskraft

- **Hoch- und Niedrigabbremung mittels Druckumsetzer bei Verwendung von Gusssohlen**



» Foto Jaenichen

- **in den Bremsstellungen P2, R in Abhängigkeit von den Reibmaterialien und der thermischen Leistungsgrenze , z. B. bei Hochgeschwindigkeitszügen**

Rechenalgorithmus des Zeitschrittverfahrens mit gewählter Rechenschrittweite Δt

Geschwindigkeit zum Zeitpunkt t_{j+1} :
$$v_{j+1} = v_j - a_j \cdot \Delta t \quad (5)$$

Weg zum Zeitpunkt t_{j+1} :
$$s_{j+1} = s_j + v_j \cdot \Delta t - \frac{1}{2} \cdot a_j \cdot \Delta t^2 \quad (6)$$

Verzögerung zum Zeitpunkt t_{j+1} :
$$a_{j+1} = \frac{(\sum F_{B,i} + \sum F_{ext})_{j+1}}{m_{dyn}} \quad (7)$$

Nächster Zeitschritt:
$$t_{j+1} = t_j + \Delta t \quad (8)$$

Nächstes Zeitintervall:
$$j = j + 1 \quad (9)$$

Dabei ist

- a_j Fahrzeugverzögerung zum Zeitpunkt t_j in m/s^2 ;
- $F_{B,i}$ Bremskraft der Bremsleinrichtung i als Funktion von $f(t, v, s)$, in N;
- F_{ext} externe Kraft, in N (bei einer verzögernden Kraft positiver Wert, bei einer beschleunigenden Kraft negativer Wert);
- j Zählnummer des Integrationsschritts;
- m_{dyn} dynamische Masse ($= m_{st} + m_{rot}$), in kg;
- s_j Wegstrecke zum Zeitpunkt t_j , in m;
- Δt der Zeitschritt, in s;
- t_j der Verzögerungszeitpunkt beim Integrationsschritt j , in s.

Anhalteweg s – Weg von der Einleitung der Schnellbremsung bis zum Stillstand des Zuges oder der Weg der zwischen der Auslösung der Bremsanforderung und dem Erreichen der Endgeschwindigkeit des Zuges zurückgelegt wird

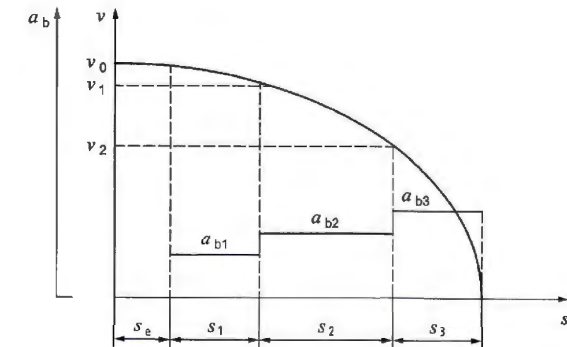
Berechnungs-Methoden

- Numerisches Verfahren: Berechnung in Geschwindigkeitsschritten mit äquivalenten Stufenverzögerungen a_e

$$s = v_0 \cdot t_e + \frac{v_0^2 - v_{\text{fin}}^2}{2 \cdot a_e}$$

Dabei ist

s	Anhalte-/Verzögerungsbremsweg, in m;
t_e	gesamte äquivalente Ansprechzeit, in s;
v_0	Ausgangsgeschwindigkeit, in m/s;
v_{fin}	Endgeschwindigkeit (= 0 beim Anhalteweg), in m/s;
a_e	äquivalente Verzögerung, in m/s^2 .



Bewegungsverlauf der Schnellbremsung mit Abschnitts-Stufenverzögerungen a_e



Der erforderliche Kraftschluss je Radsatz ist wie folgt zu errechnen:

$$\tau_{\text{req,ax}} = \frac{(\sum_{\text{ax}} F_{\text{B,i}} - m_{\text{rot,ax}} \cdot a)}{m_{\text{st,ax}} \cdot g_n} \cdot \sqrt{1 + i^2}$$

Dabei ist

$\tau_{\text{req,ax}}$	erforderlicher Kraftschluss je Radsatz;
\sum_{ax}	Summe aller beteiligten kraftschlussabhängigen Bremseinrichtungen je Radsatz;
$F_{\text{B,i}}$	momentane Bremskraft der Bremseinrichtung i , in N;
a	momentane Verzögerung des Fahrzeugs, in m/s^2 ;
g_n	Normfallbeschleunigung, in m/s ;
i	Neigung;
$m_{\text{rot,ax}}$	rotierende Masse des Radsatzes, in kg;
$m_{\text{st,ax}}$	statische auf den Radsatz wirkende Masse, in kg.

- mittels analytischer Lösung

z. B. Geschwindigkeitsintegrationsverfahren

$$\Delta s = \int \frac{v}{a(v)} * dv$$

$$\text{mit } a(v) = A*v^2 + B*v + C$$

$$\text{mit Diskriminante } Z = 4*A*C - B^2$$

- mittels Energiegleichung

$$\Delta s_i = \frac{3,93 * \rho * (v_1^2 - v_2^2)}{\frac{\sum F_{Br}}{\sum F_R} + w_F \pm i}$$

Dabei: v in km/h, F_Br in N, F_R in kN, w_F

in N/kN, i in ‰, s in m

Anhalteweg s

$$s = \frac{(t_D + t_F) * v_A}{2 * 3,6} + \sum \Delta s_i$$

Dabei: t_D Durchschlagszeit des Druckimpuls in
der Steuerleitung in s
t_F Bremsentwicklungszeit in s

- auf empirischer Grundlage

genannt: Mindener Gleichung entwickelt von Sauthoff

Mindener Formel

für Klotz- und Scheibenbremsen, Bremsarten R/P und G

Bremsart R/P:
$$S = \frac{3,85 \cdot V^2}{6,1 \cdot \psi \cdot \left(1 + \frac{\lambda_r}{10}\right) \pm i_r}$$

Bremsart G:
$$S = \frac{3,85 \cdot V^2}{5,1 \cdot \psi \cdot \sqrt{\lambda_r - 5} \pm i_r}$$

Bedeutung der Symbole:

S	m	Bremsweg
V	km/h	Geschwindigkeit
ψ		geschwindigkeitsabhängender Koeffizient für Brems- und Klotzbauart nach Tabelle 1

λ_r

rechnerische Bremsgewichtshundertstel

$$\lambda_r = c_L \cdot \lambda$$

λ

Bremsgewichtshundertstel, aus Anschrift berechnet

c_L

Korrekturwert für Zuglänge nach Tabelle 2

i_r ‰

rechnerische Streckenneigung

$$i_r = c_i \cdot i$$

c_i

Korrekturwert für Streckenneigung nach Tabelle 3

i ‰

wirkliche Streckenneigung



3.1 Anhalteweg und Arten der Bremsverzögerungen

Geschwindigkeitsabhängiger empirischer Faktor ψ in Abhängigkeit der Bauform des Bremsklotzes
Werkstoff der Bremssohle GG

Tabelle 1		Zahlenwerte für ψ					
Geschwindigkeit V	Klotzbremse				Scheibenbremse Stellungen R und P	Alle Bremsbau- arten in Stellung G	
	KE-GP, KE-GPR Stellung P		KE-GPR Stellung R				
	Einfachklötze	Doppelklötze	Einfachklötze	Doppelklötze			
km/h	ψ_1	ψ_2	ψ_3	ψ_4	ψ_5	ψ_6	
10	0,75	0,50	0,63	0,40	0,45	0,41	
20	1,04	0,73	0,87	0,60	0,64	0,61	
30	1,17	0,87	1,00	0,69	0,76	0,75	
40	1,23	0,97	1,09	0,74	0,84	0,85	
50	1,25	1,02	1,14	0,76	0,90	0,92	
60	1,24	1,05	1,15	0,77	0,94	0,97	
70	1,21	1,06	1,15	0,92	0,96	1,00	
80	1,17	1,05	1,14	0,96	0,99	1,00	
90	1,13	1,04	1,11	0,98	1,00	1,00	
100	1,09	1,03	1,08	1,00	1,00		
110	1,04	1,02	1,04	1,00	1,00		
120	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
130	0,96	0,98	0,96	0,99	0,99		
140	0,92	0,96	0,92	0,98	0,98		
150				0,96	0,97		
160				0,93	0,96		





3.1 Anhalteweg und Arten der Bremsverzögerungen

Zugängen abhängiger empirischer Faktor c_L für verschiedene Bremsarten

Tabelle 2		Zahlenwerte für c_L				
Bremsart I R/P	Achsenzahl	bis 24	über 24 bis 48	über 48 bis 60	über 60 bis 80	über 80 bis 100
	c	1,10	1,05	1,00	0,97	0,92
Bremsart II G	Achsenzahl	bis 40	über 40 bis 80	über 80 bis 100	über 100 bis 120	über 120 bis 150
	c	1,12	1,06	1,00	0,95	0,90

Korrekturwert für Streckenneigung

Tabelle 3		Zahlenwerte für c_s								
Geschwindigkeit km/h	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Bremsart I R/P	0,60	0,66	0,72	0,77	0,81	0,84	0,87	0,89	0,90	0,90
Bremsart II G	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,75	-



Arten der Bremsverzögerungen

- Momentane Verzögerung eines Fahrzeugs bzw. Zuges

$$a(v) = \frac{\sum F_{Br}(v)}{m}$$

- Konstante Verzögerung in einem Geschwindigkeitsabschnitt (Bremsstufen- bzw. äquivalente -Verzögerung)

$$a_{Stufe} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 * a_{1,2}}$$

- Mittlere Bremsverzögerung eines Fahrzeuges bzw. Zuges bezogen auf den Anhalteweg s

$$a_m = \frac{v_0^2}{2s}$$

- Max Grenzwertverzögerung durch Grenz-Kraftschluss Rad/Schiene τ

$$a_{max} = \tau * g$$

Fragen

- Welche Möglichkeiten bestehen, den Anhalteweg zu berechnen?
- Welche Methode würden Sie in der Praxis für ein bewährtes Beispiel anwenden? Begründung!
- Welche Bedeutung hat die Rotationsmasse für den Anhalteweg?
- Warum wird für die Berechnung des Anhalteweges das Zeitschrittverfahren gewählt?
- Warum wird für die Berechnung des Anhalteweges ein idealisierter Verzögerungsverlauf verwendet?
- Warum wird dagegen für die Berechnung des Anhalteweges nach DIN EN 14531-2 bei der Wahl des Zeitschrittes eine sehr hohe Genauigkeit bei der Berechnung des Anhalteweges gefordert ?

- Warum bleibt bei der Berechnung des erforderlichen Kraftschlusses in einer Bremsberechnung der Term der Trägheitskraft der Rotationsmassen unberücksichtigt?
- Von welchen empirischen Parametern wird nach der Mindener Gleichung der Anhalteweg beeinflusst?
- Welche Nachteile hat die Mindener Gleichung bei heutigen Berechnungen des Anhalteweges gegenüber den Berechnungen im vorigen Jahrhundert?
- Die DIN EN 14531-1 gibt die Berechnungsgleichung der momentanen Bremsleistung an. Wie berechnet sich daraus die mittlere Bremsleistung?
- Bei welcher Geschwindigkeit ist die max. momentane Bremsleistung vorhanden?
- Warum werden in der Praxis in der Zugsteuerung äquivalente Bremsverzögerungen bevorzugt verwendet?

Bewertung der Bremsleistung erfolgt nicht physikalisch

Bewertung auf empirischer Grundlage mit den Begriffen Bremswert B und Bremswert λ

Bremswert B :

mittleres Bremsvermögen des Zuges oder des Fahrzeugs, entspricht etwa einer „Verzögerungskraft“,

Basis der Bewertung ist ein Vergleichszug als „Normal“

„Normal“ ist: Reisezug mit 60 Radsätzen bekannter Bremsanlage und Masse, $\lambda = 100\%$ entspricht so einer „Musterverzögerung“, dabei ist Bremsvermögen des Reisezuges = Reisezugmasse, durch Änderung der Bremsparameter wurden Musterdiagramme erstellt, damals UIC-Bewertungsdiagramme UIC 544 „Bremsleistung“

Bremswert λ :

$$\lambda = (B/m) \cdot 100$$

Für den Vergleich der Bremswirkung verschiedener Fahrzeuge oder Züge untereinander ist eine spezifische Größe notwendig, bezogen auf die Fahrzeugmasse m , vergleichbar mit der „Bremsverzögerung“

- **Allgemeine Grundlagen der Bremsbewertung mittels Bremsgewicht**
 - in der Regel aus Versuchen wird Anhalteweg bestimmt
 - dazu normierte Versuchsbedingungen (trockenes, fast windstill, fast gerade Strecke und mittlerer Betriebszustand der Fahrzeuge)
 - dazu Verwendung eines Bremsbewertungsschemas in DIN EN 16834 „Bremsvermögen“, früher UIC 544-1 „Bremsleistung“
 - Bremsbewertungsdiagramme bis $v_{\max} = 200$ km/h für Fahrzeuge und Züge sind vorhanden
 - Bremsgewichte werden i. d. R. unter Beachtung der Ansteuerung der Bremse an die Außenseite des Fahrzeugs angeschrieben
 - Angabe von B immer in ganze Zahlen und t



- **Versuchsauswertung**

- vier gültige Versuche
- Abweichungen von der Bremsausgangsgeschwindigkeit max. 4 km/h, ab 200 km/h auf 6 km/h
- Korrektur der ermittelten Versuchswerte auf Normbedingungen
- Berechnung Mittelwert und Standardabweichung des Anhaltweges, Vergleich mit Vorgaben der max. Standardabweichung in der DIN EN
- Bewertungsgeschwindigkeiten für jeweilige Fahrzeugtypen sind in der Norm festgelegt, bestimmend sind die niedrigsten ermittelten Brems Hundertstel
- wenn Schnellbremsbeschleuniger aller Wagen wirken, erhöht sich das Bremsgewicht um 7%
- wenn ep- Bremse indirekter Bauart funktioniert, erhöht sich das Bremsgewicht um 12 % gegenüber der HLL-Absenkung bei Schnellbremsung
- Bewertung für Einzelfahrzeuge mit $v \leq 100 \text{ km/h}$ in Bremsstellung/P, besondere Vorschriften
- bei Abhängeversuchen muss eine Korrektur der Entwicklungszeit zum Sollwert vorgenommen werden.

- **Versuchsdurchführung**

- unterschiedliche Vorgaben je nach Fahrzeugtyp siehe DIN EN 16834
- Lastbedingungen siehe DIN EN 15663 Fahrzeugreferenzmassen

Dienstmasse: „Auslegungsmasse des betriebsbereiten Fahrzeugs“

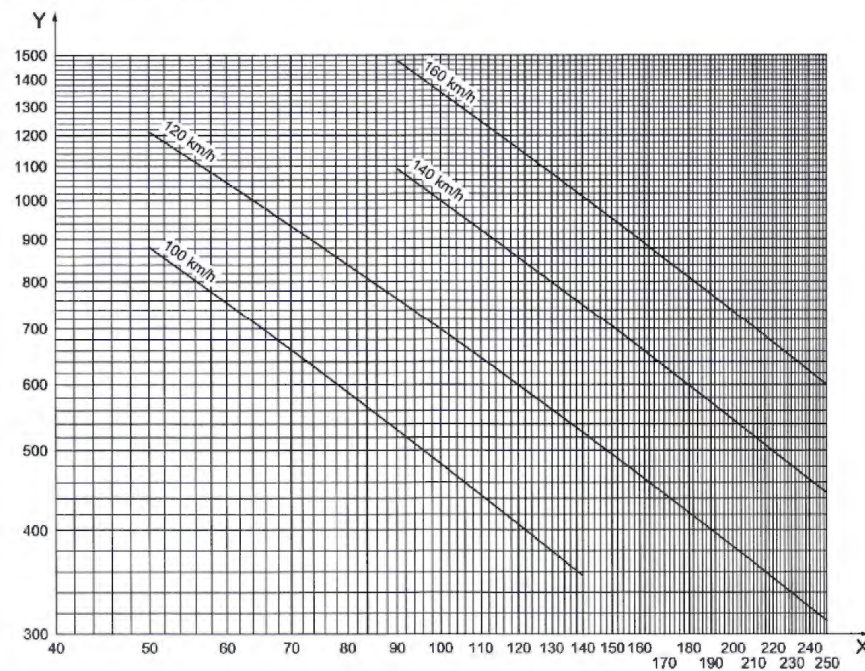
Gesamtmasse: Auslegungsmasse bei normaler Zuladung

Bremstechnische Höchstmasse: Auslegungsmasse bei außergewöhnlicher Zuladung“

- Verschiedene Bremsausgangsgeschwindigkeiten bis zur Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs
- Verschiedene Bremsstellungen P, P_2, R
- Beachtung der Ausgangstemperaturen der Räder/Bremsscheiben bei Versuchsbeginn
- Versuche bei eingeschränkten Bedingungen

Bremsbewertung für Einzelfahrzeuge (für Züge siehe DIN EN 16834)

B.1 Bewertungsdiagramm für Einzelfahrzeuge



Legende

- X Bremsgewichtshundertstel, in %
- Y Anhalteweg, in m

B.2 Übersicht der mathematischen Gleichungen für die Bewertungskurven von Einzelfahrzeugen

$$s = \frac{C}{\lambda + D}$$

$$\lambda = \frac{C}{s} - D$$

Dabei ist

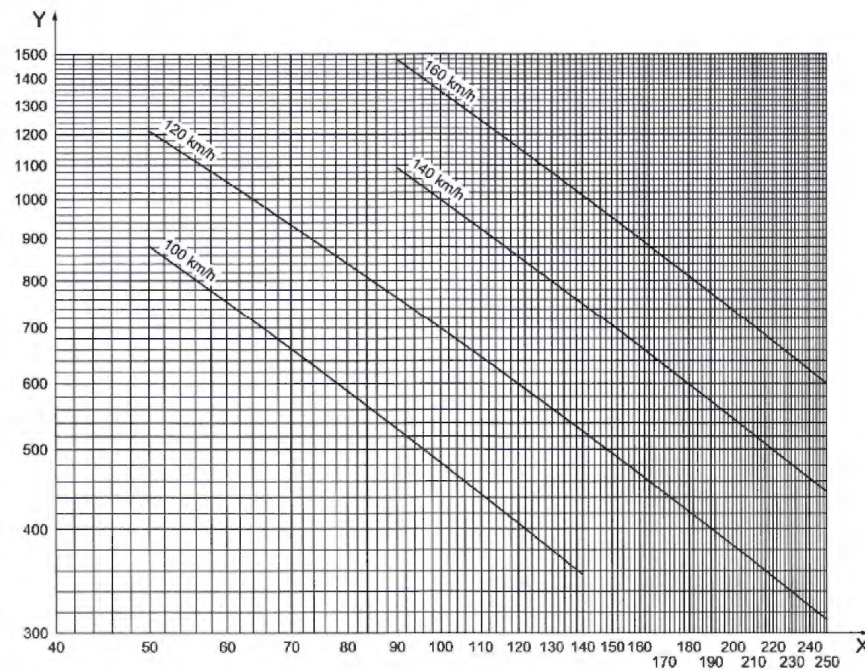
- λ das Bremsgewichtshundertstel, in %;
- s der Anhalteweg bei Schnellbremsungen, in m;
- C, D die Konstanten, siehe Tabelle B.1.

Tabelle B.1

v km/h	C	D
100	52 840	10
120	83 634	19
140	119 179	19
160	161 280	19

Bremsbewertung für Einzelfahrzeuge (für Züge siehe DIN EN 16834)

B.1 Bewertungsdiagramm für Einzelfahrzeuge



Legende

- X Bremsgewichtshundertstel, in %
- Y Anhalteweg, in m

B.2 Übersicht der mathematischen Gleichungen für die Bewertungskurven von Einzelfahrzeugen

$$s = \frac{C}{\lambda + D}$$

$$\lambda = \frac{C}{s} - D$$

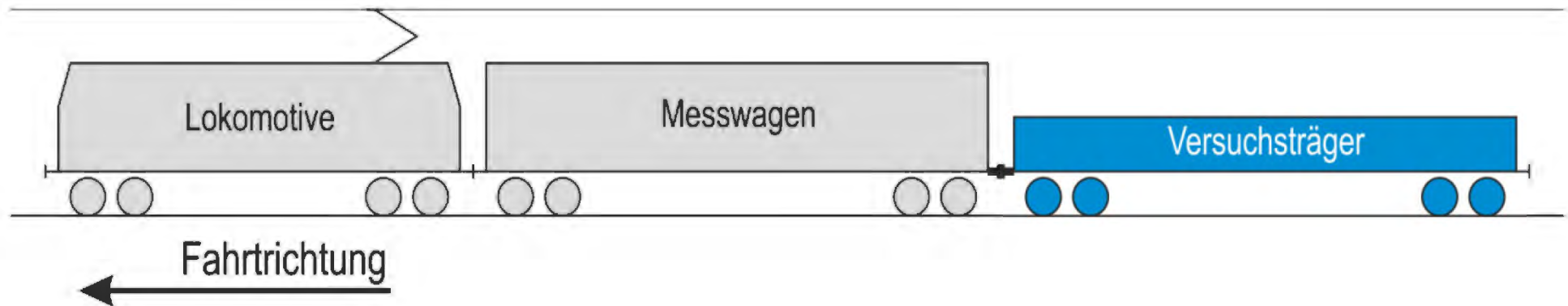
Dabei ist

- λ das Bremsgewichtshundertstel, in %;
- s der Anhalteweg bei Schnellbremsungen, in m;
- C, D die Konstanten, siehe Tabelle B.1.

Tabelle B.1

v km/h	C	D
100	52 840	10
120	83 634	19
140	119 179	19
160	161 280	19

Experimentelle Methode: Einzelfahrzeug-Abhängeversuche bis 160 km/h
Bildung eines Versuchszuges für die experimentelle Ermittlung der Anhaltewege s bei Schnellbremsung



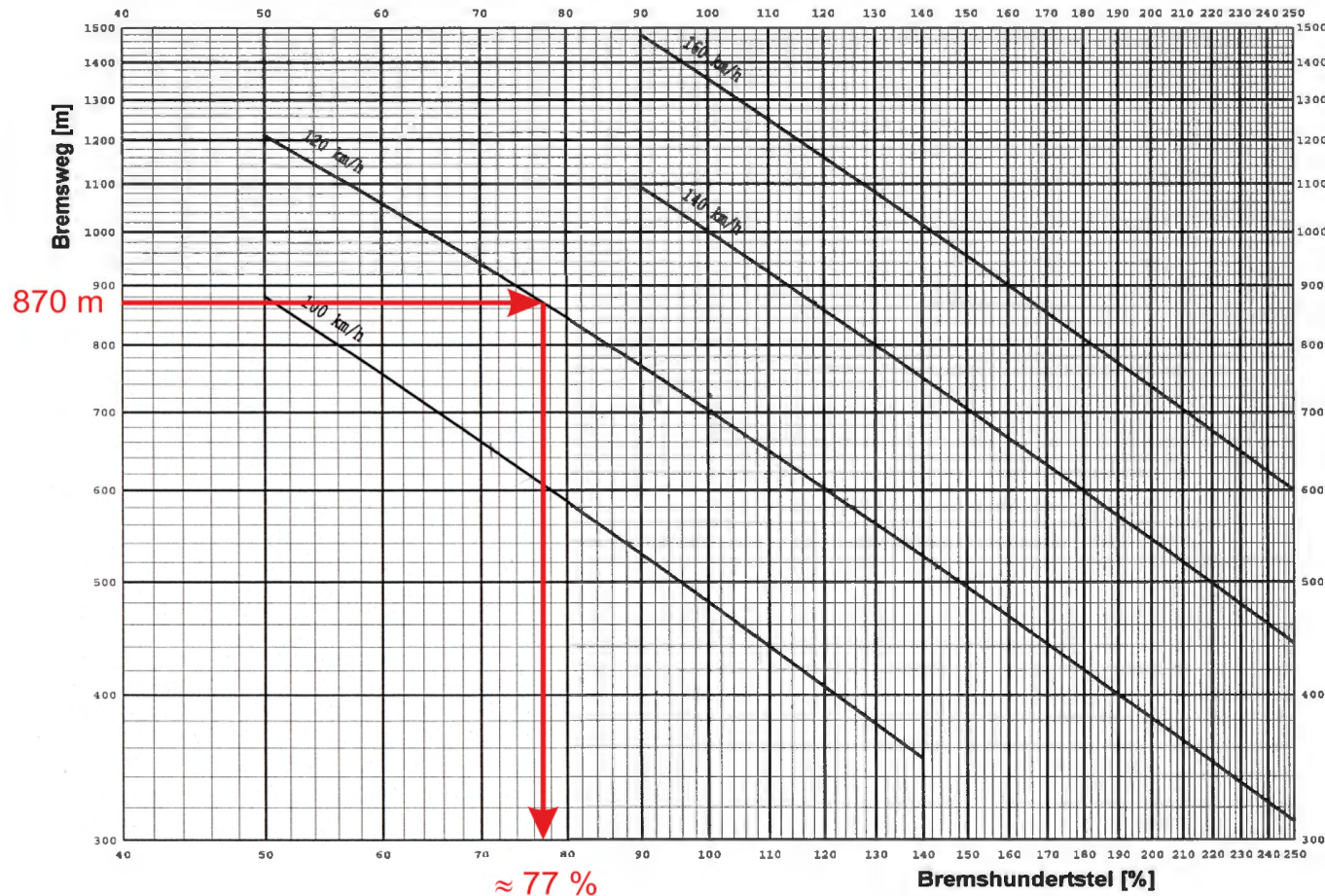
Versuchsablauf:

1. Beschleunigung des Versuchszuges auf eine definierte Bremsausgangsgeschwindigkeit
2. Abhängen des Versuchsträgers und gleichzeitig Einleitung einer Schnellbremsung beim Versuchsträger
3. Ermittlung des Schnell-Anhalteweges des Versuchsträgers
4. Eingabe des Anhalteweges in das DIN EN Bewertungsblatt und Ablesen der Bremshundertstel oder durch DIN EN -Berechnungsgleichung



Ablezen der Bremshundertstel aus Bewertungsblatt nach DIN EN 168534

$$\lambda = f(v_0, s)$$



$$B = m \cdot \lambda / 100 = 40 \cdot 77 / 100 = 31t$$



- **Verwendung der Brems Hundertstel**

- **Ausgefahrene Brems Hundertstel**, festgelegte Brems Hundertstel für die Berechnung des Bremsgewichts

- **Vorgegebene Brems Hundertstel für die Auslegung der Bremse**

Güterwagen Bremsstellung P nach TSI Waggon

Zweistufiger Lastwechsel $\lambda_{\min} = 65$, $\lambda_{\max} = 125$

Automat. Lastabbremung $\lambda = 100 \pm 5$

Reisezugwagen

$\lambda_{\min} = 135$, $\lambda_{\max} = 170$

- **Erforderliche Brems Hundertstel** für jede zu befahrende Strecke existiert ein Buchfahrplan, aus dem dieser Wert entnommen werden kann

- **Vorhandene Brems Hundertstel des Zuges**

$$\Lambda_{\text{Zug}} = \frac{\sum B^*}{\sum m} 100 \quad \text{siehe Bremszettel}$$



- **Bremsbetrieb**

- Güterwagen in Bremsstellung P

für jede Laststellung „leer und beladen“ ein Bremsgewicht

für automatische Lastabbremung max. Bremsgewicht festgelegt bis zum Lastausgleich von 100% der Fahrzeugmasse

- Güterwagen in Bremsstellung G

Versuche werden nur in Bremsstellung P durchgeführt Die erhaltende Bewertungszahl findet auch in Bremsstellung G bei der betrieblichen Anwendung.

- **Achtung!** Bewertung der Bremsen über $v = 200 \text{ km/h}$ erfolgt im PKt. 7.3 der Vorlesung



Fragen:

- Wie sind die Begriffe Bremsgewicht und Brems Hundertstel definiert?
- Warum wird keine physikalische Bewertung der Bremsleistung durchgeführt?
- Was versteht man unter bremstechnischer Höchstmasse und warum hat man diesen Begriff in Normen eingeführt?
- Sind in den ausgefahrenen Anhaltewegen Sicherheiten enthalten?
- Warum ist das Bremsvermögen-Bewertungsblatt logarithmisch skaliert?
- Wie verändert sich das Bremsvermögen bei pneumatischer Ansteuerung mit Zunahmen der Zuglänge?
- Weshalb sind die Zuglängen auf 700m bzw. 1000m aus bremstechnischer Sicht begrenzt?
- Erläutern Sie die unterschiedlichen Anwendungen des Begriffs „Brems Hundertstel“!

DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2019/773 DER KOMMISSION
vom 16. Mai 2019 **Teilsystems „Verkehrsbetrieb und
Verkehrssteuerung“ Kap. Zugbremsung**

Mindestanforderungen an das Bremssystem

- alle Fahrzeuge im Zugverband müssen an ein durchgehendes automatisches Bremssystem gemäß den **TSI LOC&PAS und WAG** angeschlossen sein.
- erste und das letzte Fahrzeug (einschließlich Triebfahrzeugen) im Zugverband müssen eine **funktionstüchtige selbsttätige** Bremse besitzen.
- wenn ein Zugverband unbeabsichtigt in zwei Teile getrennt wird, müssen beide Zugteile **selbsttätig** durch Zwangsbremmung zum Stillstand gebracht werden

4.1 Funktionale Anforderungen

Bremsteuerungssystem des Zuges muss über drei Steuerungsmodi verfügen:

- **Schnellbremsung**: Aufbringen einer vordefinierten Bremskraft in einer vordefinierten maximalen Ansprechzeit, um den Zug mit einem vordefinierten Grad des Bremsvermögens anzuhalten;
- **Betriebsbremsung**: Aufbringen einer regelbaren Bremskraft zur Regulierung der Geschwindigkeit des Zuges, einschließlich Anhaltevorgängen und vorübergehendem Festhalten des Zuges;
- **Feststellbremsung**: Aufbringen einer Bremskraft, um den Zug (oder das Einzelfahrzeug) ohne fahrzeugseitige Energieversorgung dauerhaft in stationärer Position festzuhalten.

VERORDNUNG (EU) Nr. 321/2013 DER KOMMISSION vom 13. März 2013 **Teilsystems „Fahrzeuge – Güterwagen“**

Bremsanlage der Einheit muss nach einem entsprechenden Bremsbefehl Funktionen wie das Anziehen und Lösen der Bremsen erbringen.

Die Bremse muss

- **durchgehend** sein (der Befehl zum Anziehen oder Lösen der Bremse wird von einer zentralen Steuereinheit über eine Steuerleitung an den ganzen Zug übertragen),
- **selbsttätig** sein (eine unbeabsichtigte Unterbrechung der Steuerleitung führt dazu, dass die Bremse an allen Einheiten des Zuges aktiviert und jede Einheit zum Stillstand gebracht wird),
- **absperrbar** sein, so dass sie gelöst und isoliert werden können

4.1 Funktionale Anforderungen

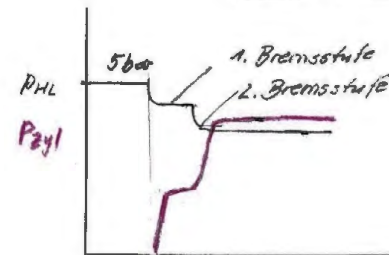
Abgestufte Betriebsbremsungen
 Druckabsenkung um
 max. $1,5 \text{ bar} \pm 0,1 \text{ bar}$

Vollbremsungen
 Druckabsenkung um $1,5 \pm 0,1 \text{ bar}$ ungestuft
 Höchstdruck $3,8 \text{ bar}$
 im Bremszylinder

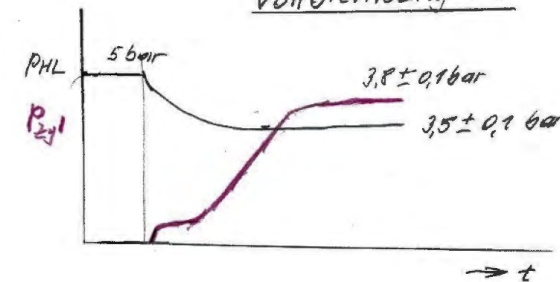
Schnellbremsung
 Höchstdruck $3,8 \text{ bar}$
 im Bremszylinder

Jaenichen

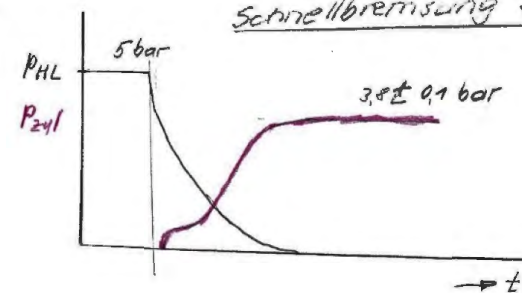
Betriebsbremsung BB



Vollbremsung VB



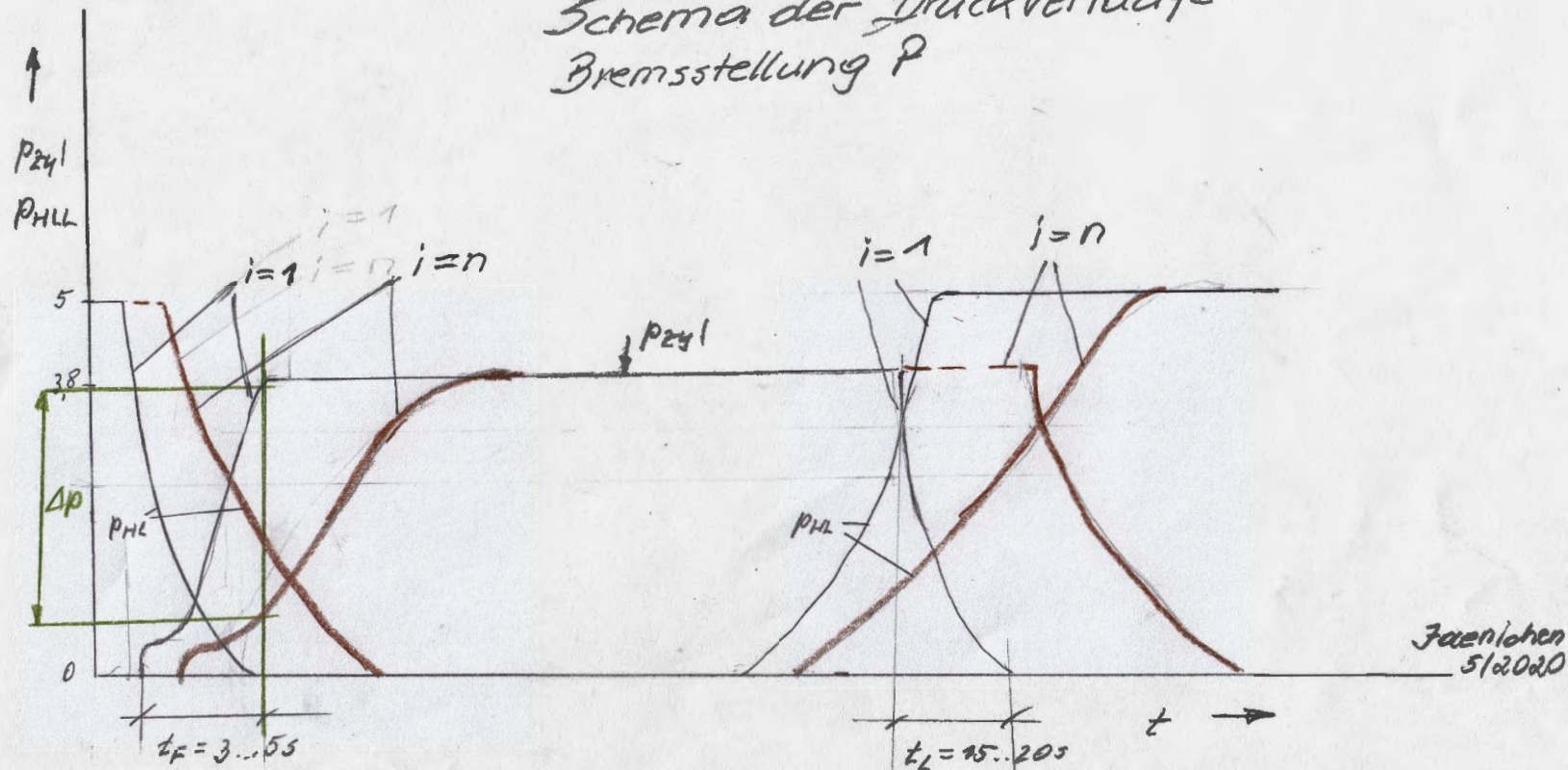
Schnellbremsung SB



4.1 Funktionale Anforderungen

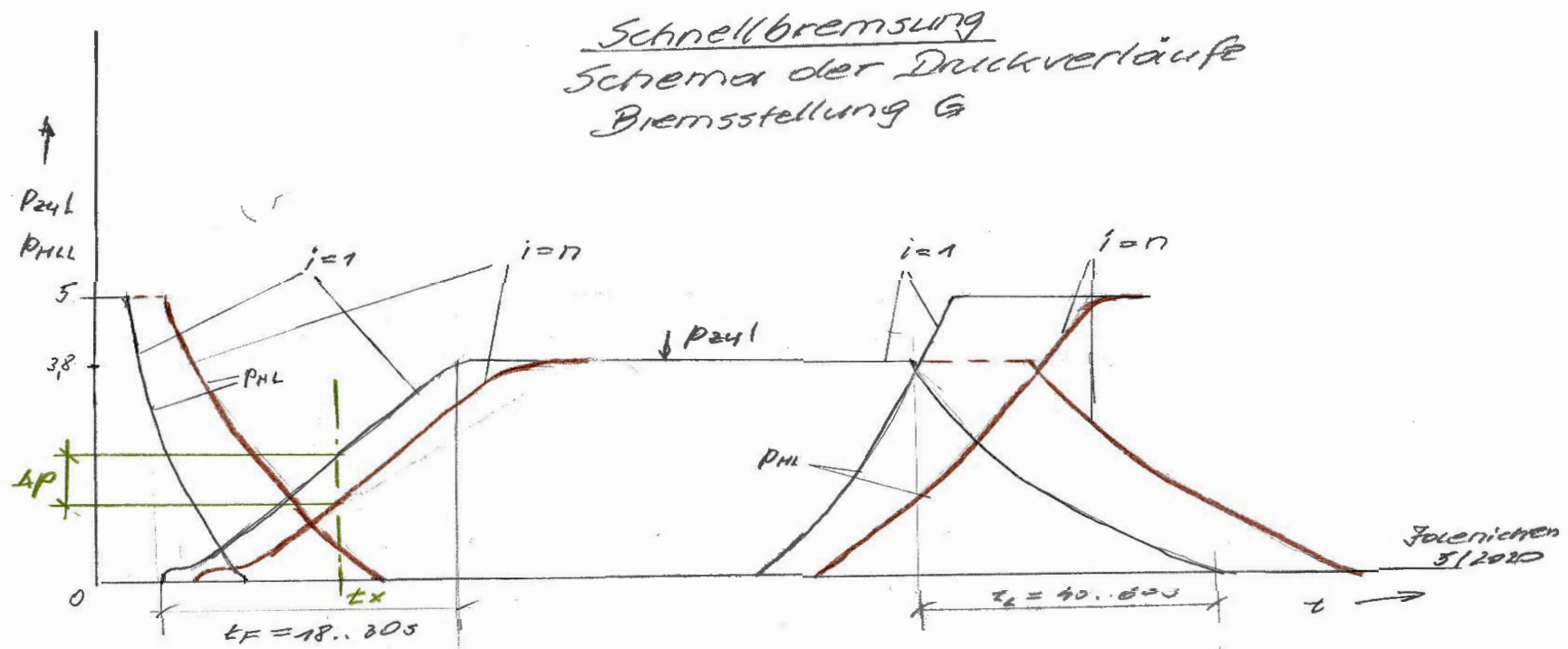
Schematische Darstellung der Druckverläufe am 1. und am n-ten Fahrzeug eines Zuges

*Schnellbremsung
 Schema der Druckverläufe
 Bremsstellung P*



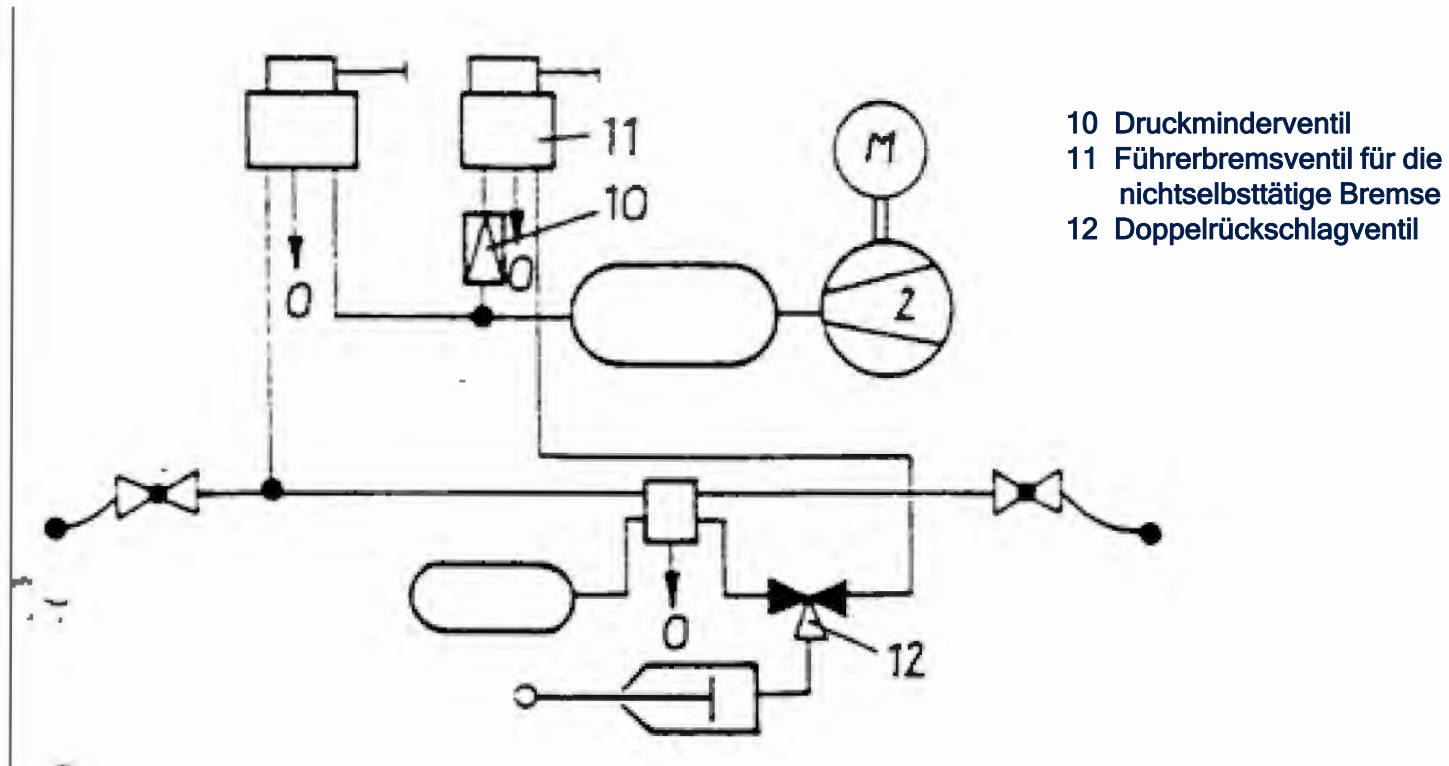
4.1 Funktionale Anforderungen

Schematische Darstellung der Druckverläufe am 1. und am n-ten Fahrzeug eines Zuges



4.2 Wirkprinzipien

Kombination der direkt mit der indirekt wirkenden Druckluftbremse



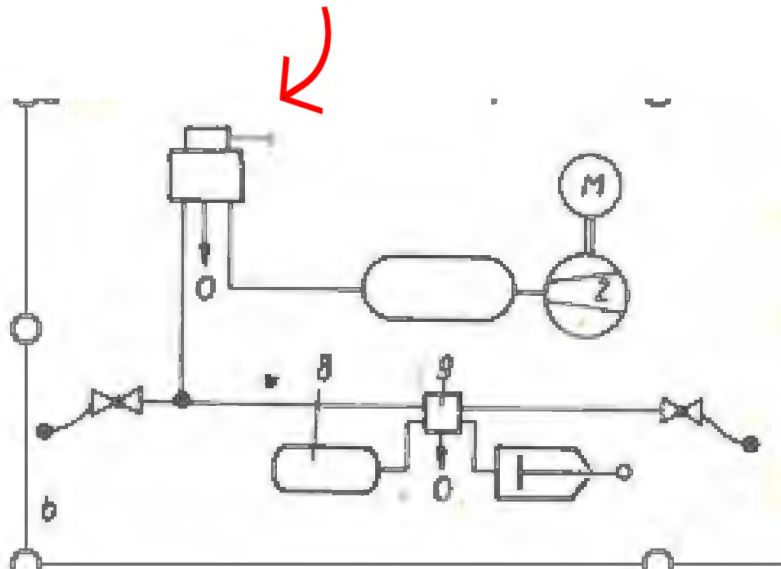
Fragen

- Warum wird für E- Triebfahrzeuge für das Hauptbremssystem (pneumatische Ansteuerung) eine mechanische Bremse gefordert ?
- Ergänzen Sie die Skizzen Folie 14 durch Hinzufügung der Druckverläufe beim Lösevorgang und notieren sie dazu die Lösezeiten in den Bremsstellungen G und P
- Erstellen Sie eine Handskizze über den Brems- und Lösevorgang einer Schnellbremsung eines Zuges für die Bremsstellungen G und P und erläutern Sie daran an einer gewählten Stelle t_x die Druckunterschiede zwischen dem ersten Fahrzeug und dem n-ten Fahrzeug des Zuges.
- Erläutern Sie nach Erstellung von zwei Skizzen die Wirkungsweise der direktwirkenden und der indirekt wirkenden Druckluftbremse.

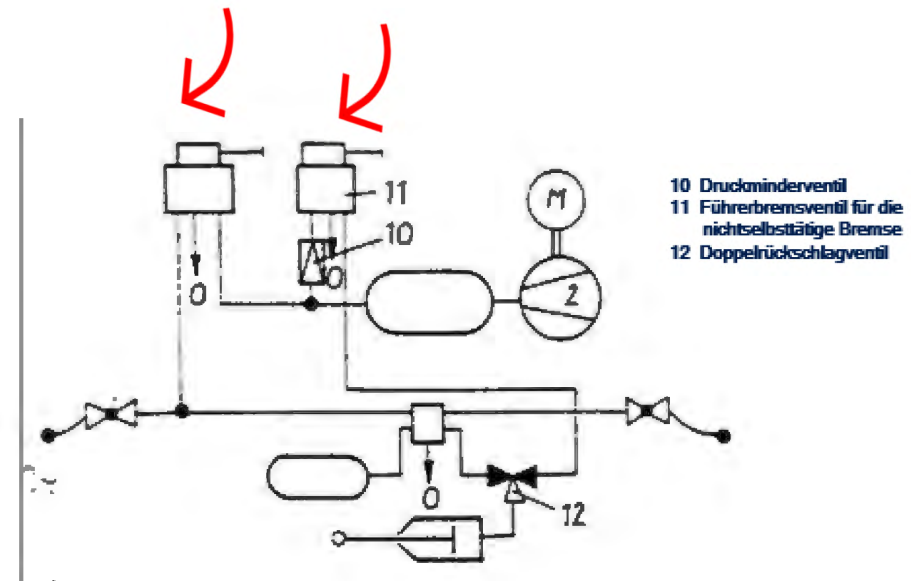
4.2 Wirkprinzipien

- Berechnen sie die Durchschlagszeit des Bremssignals eines 750 m langen Zuges, der mit Druckluft gesteuert wird.
- Durch welche Eigenschaften wird das Arbeits- und das Ruhestromprinzip bei Druckluftbremsen charakterisiert?
- Welche Gründe sprechen für eine Weiterentwicklung der Druckluftbremse ?
- Weshalb findet eine elektronisch gesteuerte Bremse nur zögerlich Einzug bei Schienenfahrzeugen.
- Welche grundlegenden Eigenschaften besitzt eine UIC Druckluftbremse ?
- Wie verändern sich die Stoffwerte von Gummi, Fett und Eisen unter den genannten klimatechnischen Einflüssen und was hat das für Auswirkungen auf die Bremstechnik?

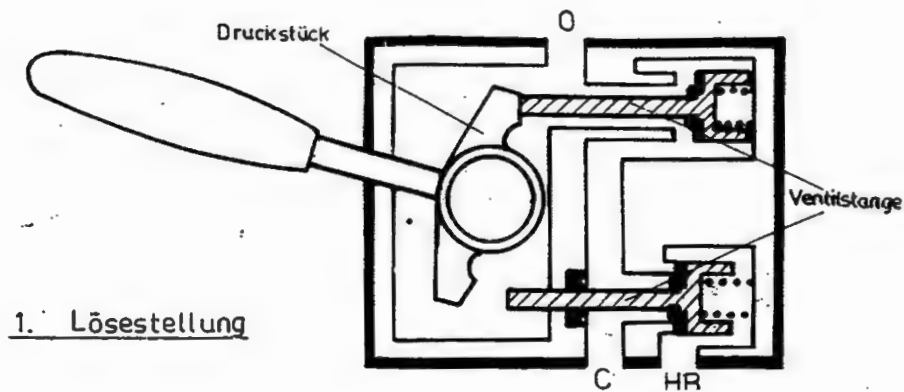
Führerbremsventil für die indirekt wirkende Druckluftbremse (Hauptbremse)



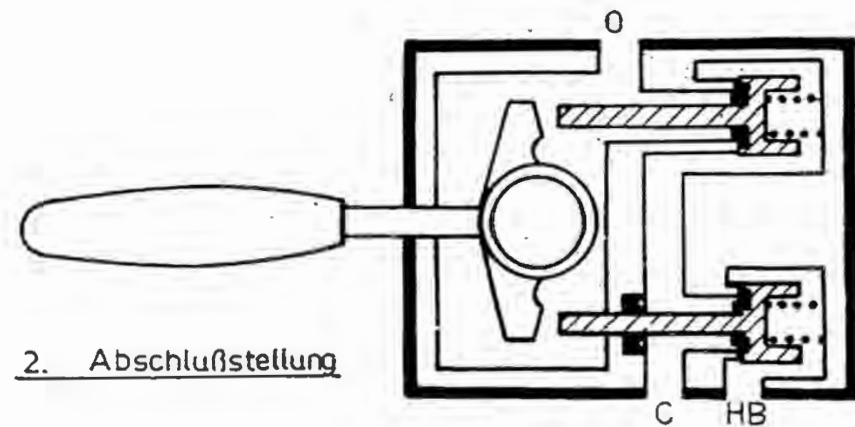
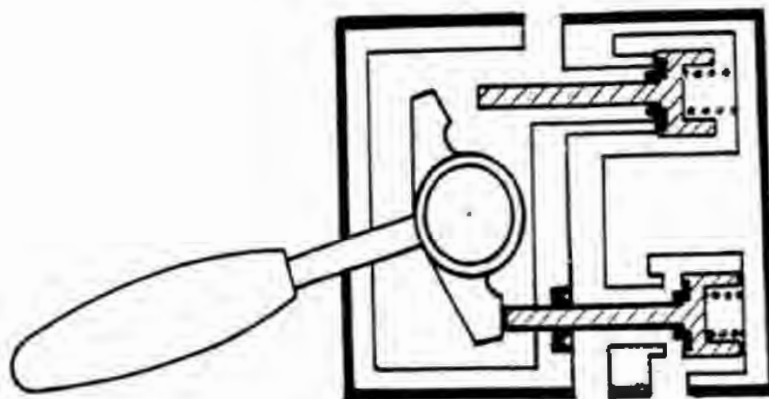
Führerbremsventil für Haupt- und Zusatzbremse



Fbv für die Zusatzbremse (Zusatzbremsventil)

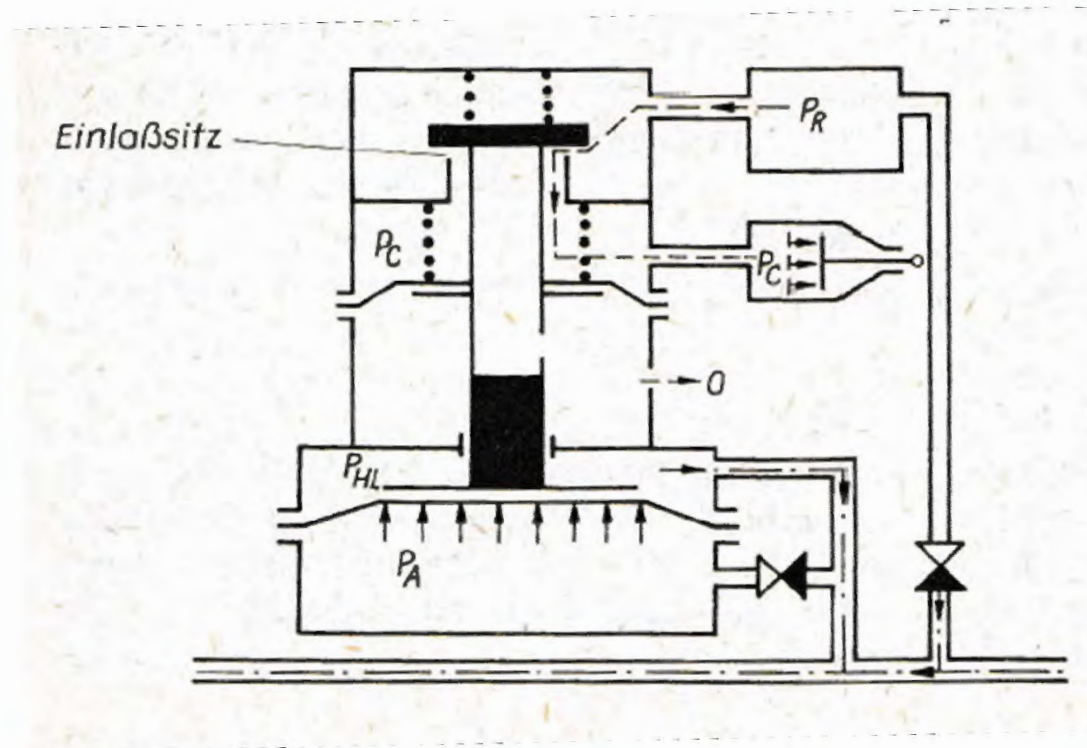


- 0 Verbindung zur Atmosphäre
- C Bremszylinderdruck
- HB Hauptluftbehälterdruck



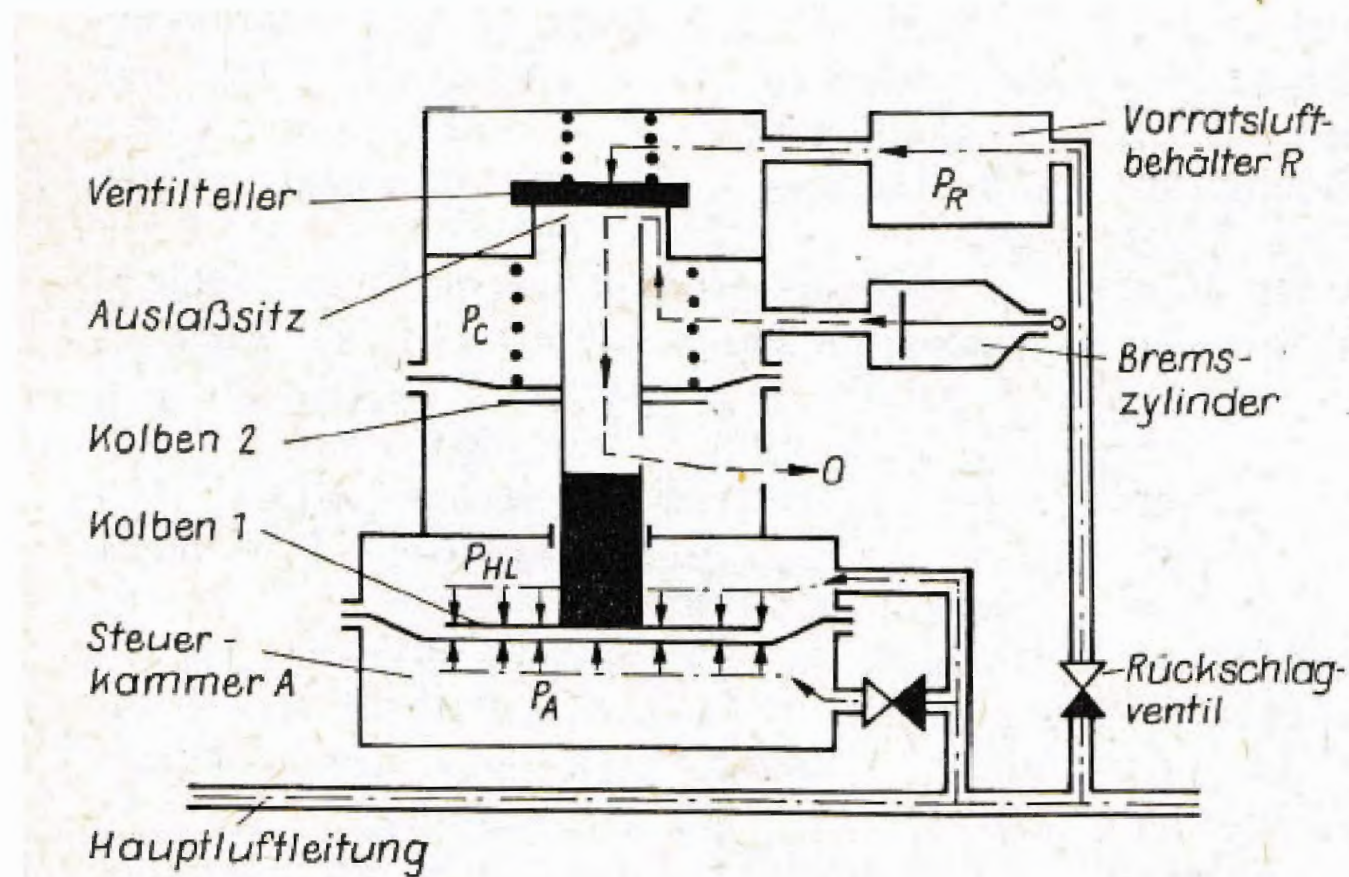
4.4 Steuerventile

Dreidruckvenil des Steuerventils KE , **Bremsstellung**



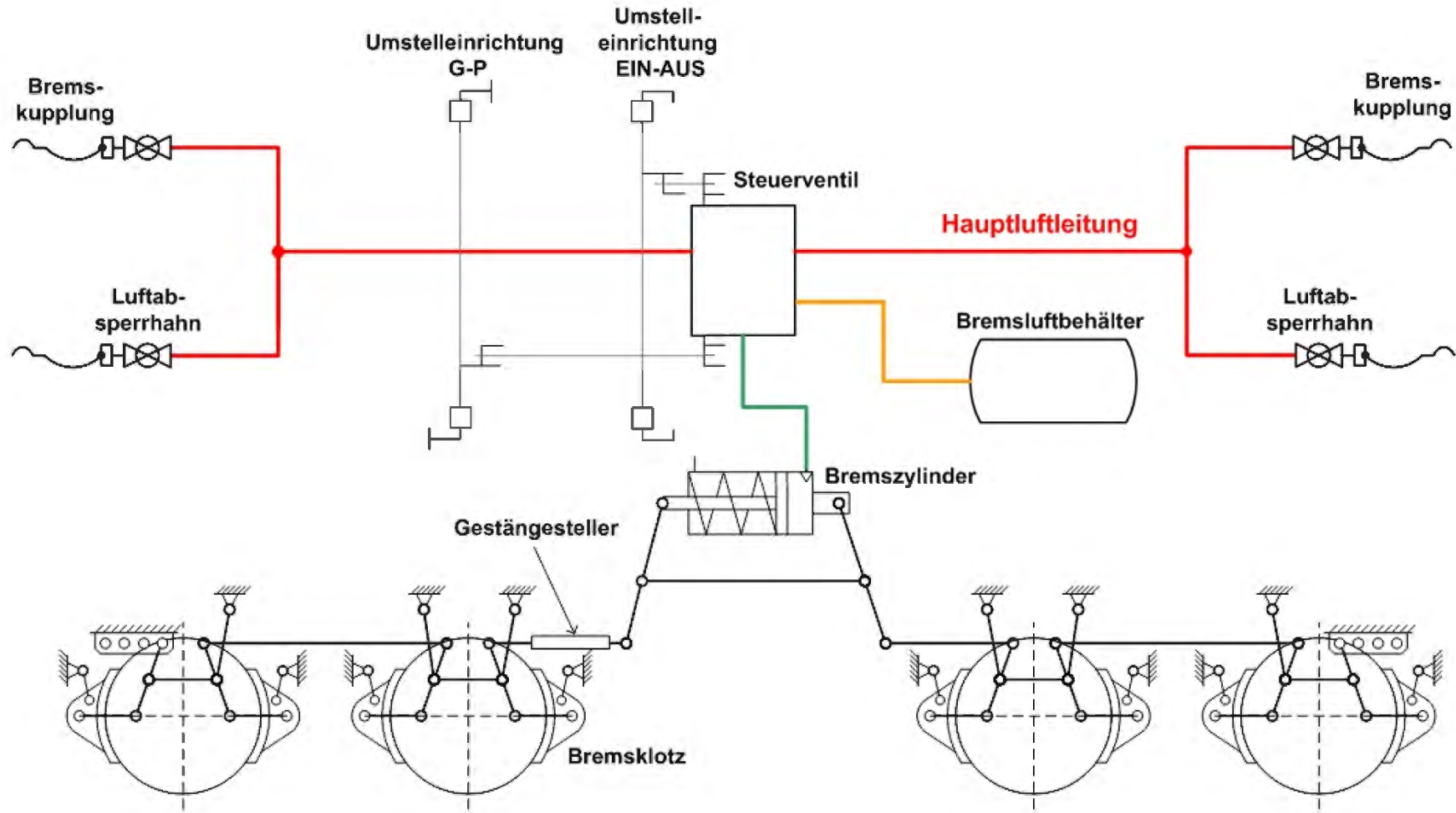
$$p_{\text{zyl}} = (p_A - p_{\text{HLL}}) \cdot \text{Kolbenflächenfaktor}$$

Dreidruckventil des Steuerventils KE, **Füll- und Lösestellung**



Quelle Jaenichen

4.4 Steuerventile



Quelle Jaenichen

Fragen

1. Was versteht man unter Füllstoß und wann wird dieser ausgeführt?
2. Was versteht man unter überladenen Bremsen und wie werden diese beseitigt?
3. Weshalb wird die Schnellbremsung pneumatisch und nicht elektrisch durch das Fbrv. angesteuert?
4. Skizzieren Sie die p_{Hll} und p_{zyl} Druckverläufe einer ein- und mehrlösigen Bremse . Worin bestehen die Unterschiede?
5. Nenne Sie Vor- und Nachteile der einlösigen Bremse:
6. Berechnen Sie den etwaigen Bremszylinderdruck, wenn $p_{HLL} = 1$ bar und das Kolbenflächenverhältnis 2 beträgt.

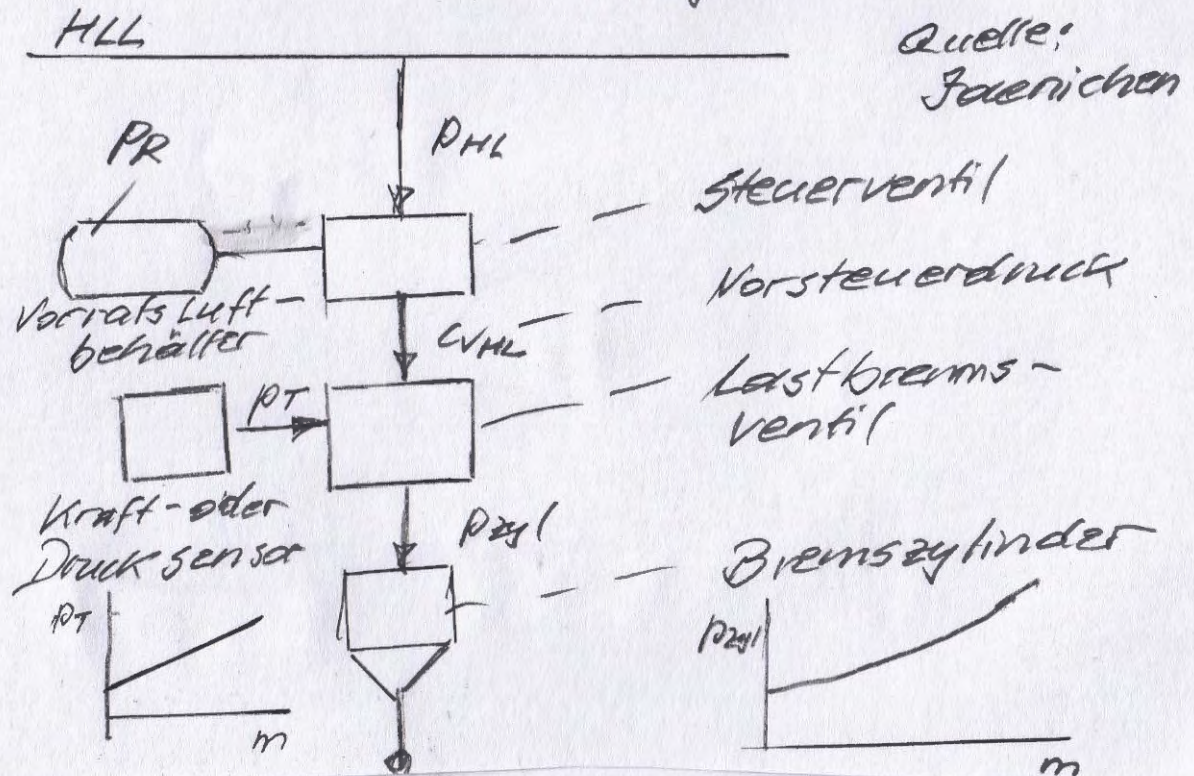
Fragen

7. Was versteht man unter Einheitswirkung bei Steuerventilen?
8. Warum muss die Angleichung zum Regelbetriebsdruck sehr langsam vorgenommen werden.
9. Schätzen Sie, wie lange das Auffüllen eines Zuges von 500m Länge dauert.
10. Warum kann der Lokführer, nachdem er eine „gewischt“ bekam (Schnellbremsung) sofort nach Erteilung eines Fahrauftrages den Zug nicht in Bewegung setzten.
11. Welche Vor- und Nachteile haben Relaisventile?
12. In welcher Position muss sich das FBv befinden, damit die Dichtheitsprobe des Zuges vorgenommen werden kann.

4.5 Automatische Lastabbremmung

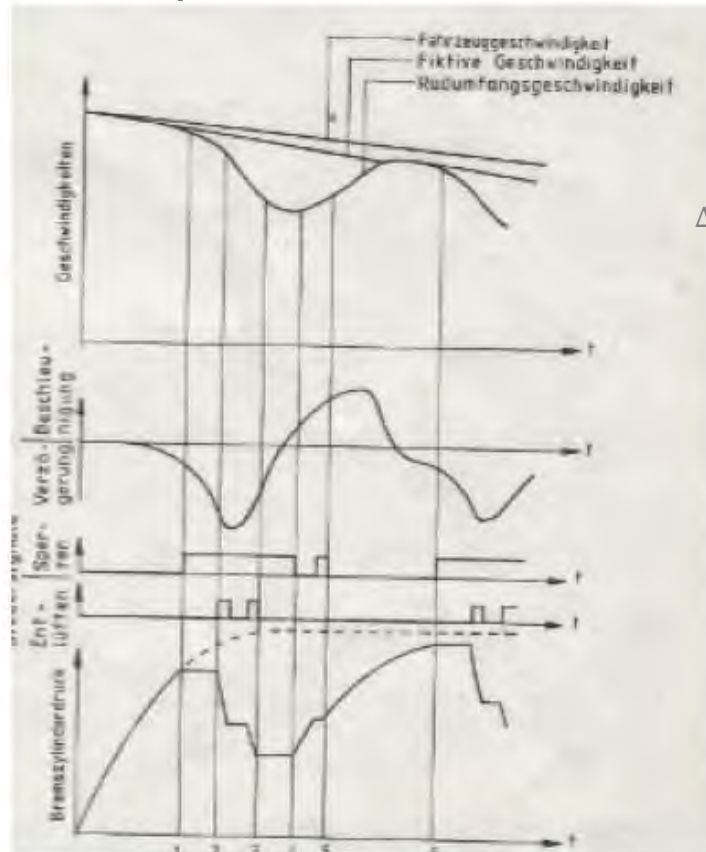
Fahrzeug mit Druckluftbremse KE-GP -A

Pneumatische Lastabbremmung ^{1A}
 - mit 1 Bremszylinder



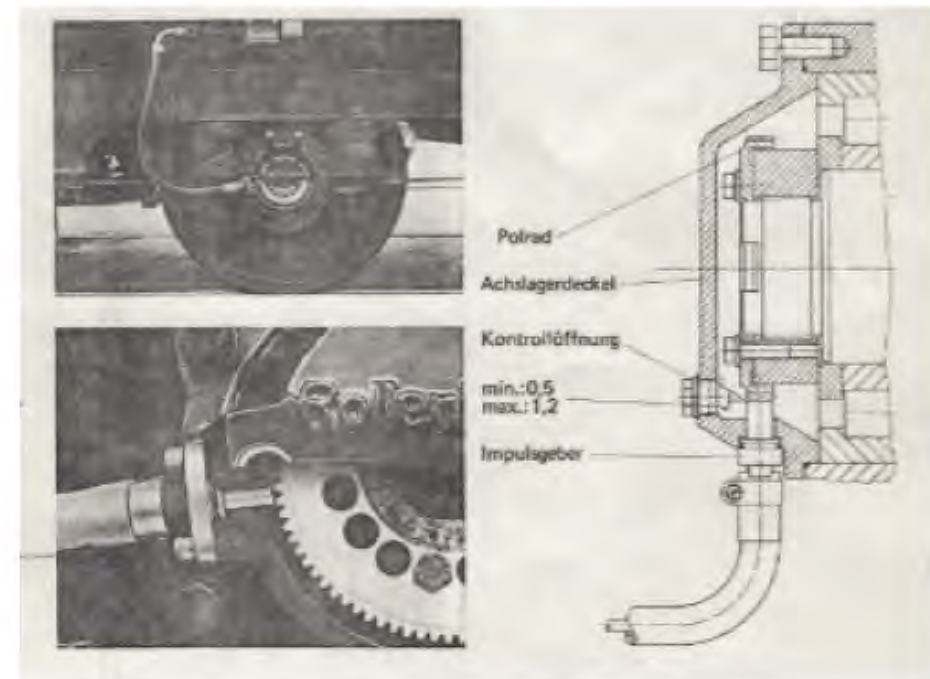
Elektronischer Gleitschutz Grundprinzip der Regelung

Schaltzyklus

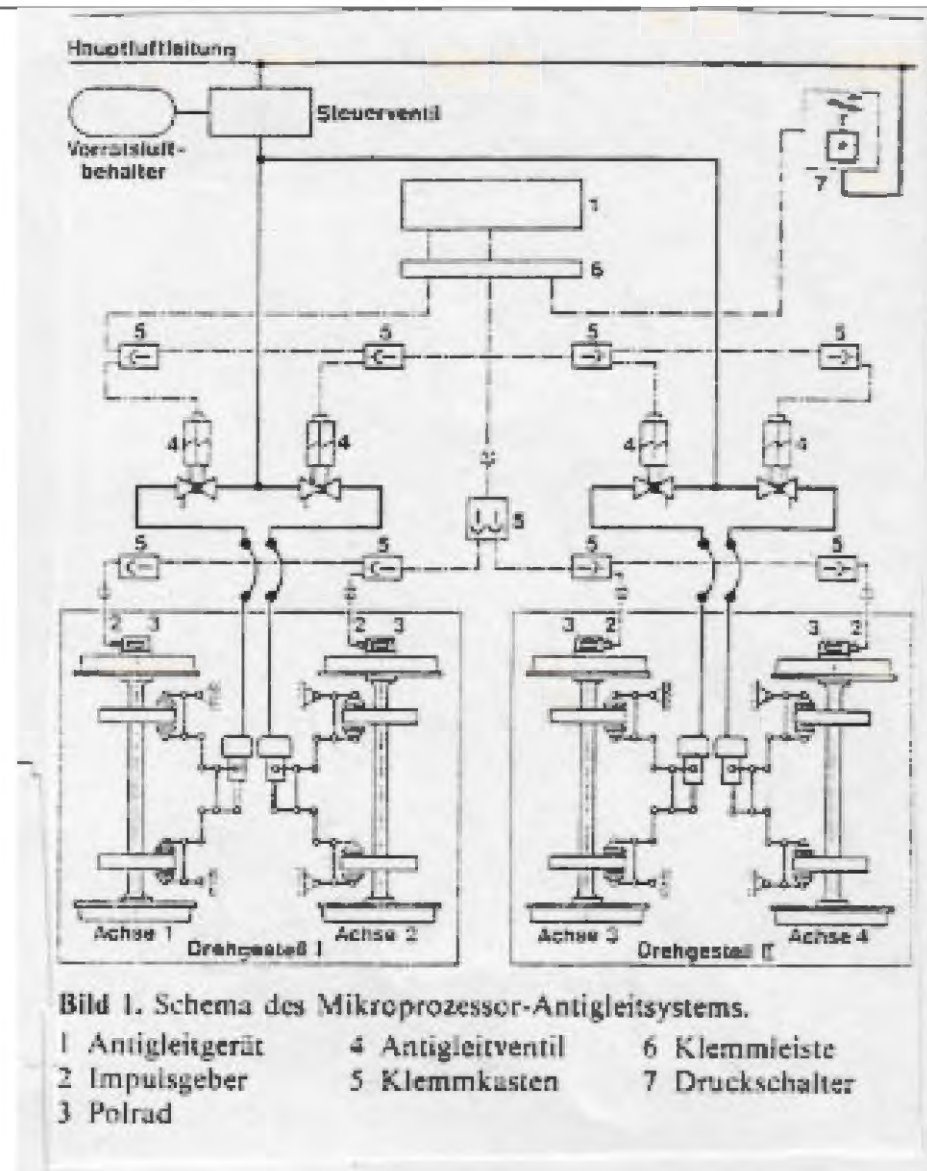


Δ

Geschwindigkeitsgebersystem



Elektronische Gleitschutzanlage



Fragen

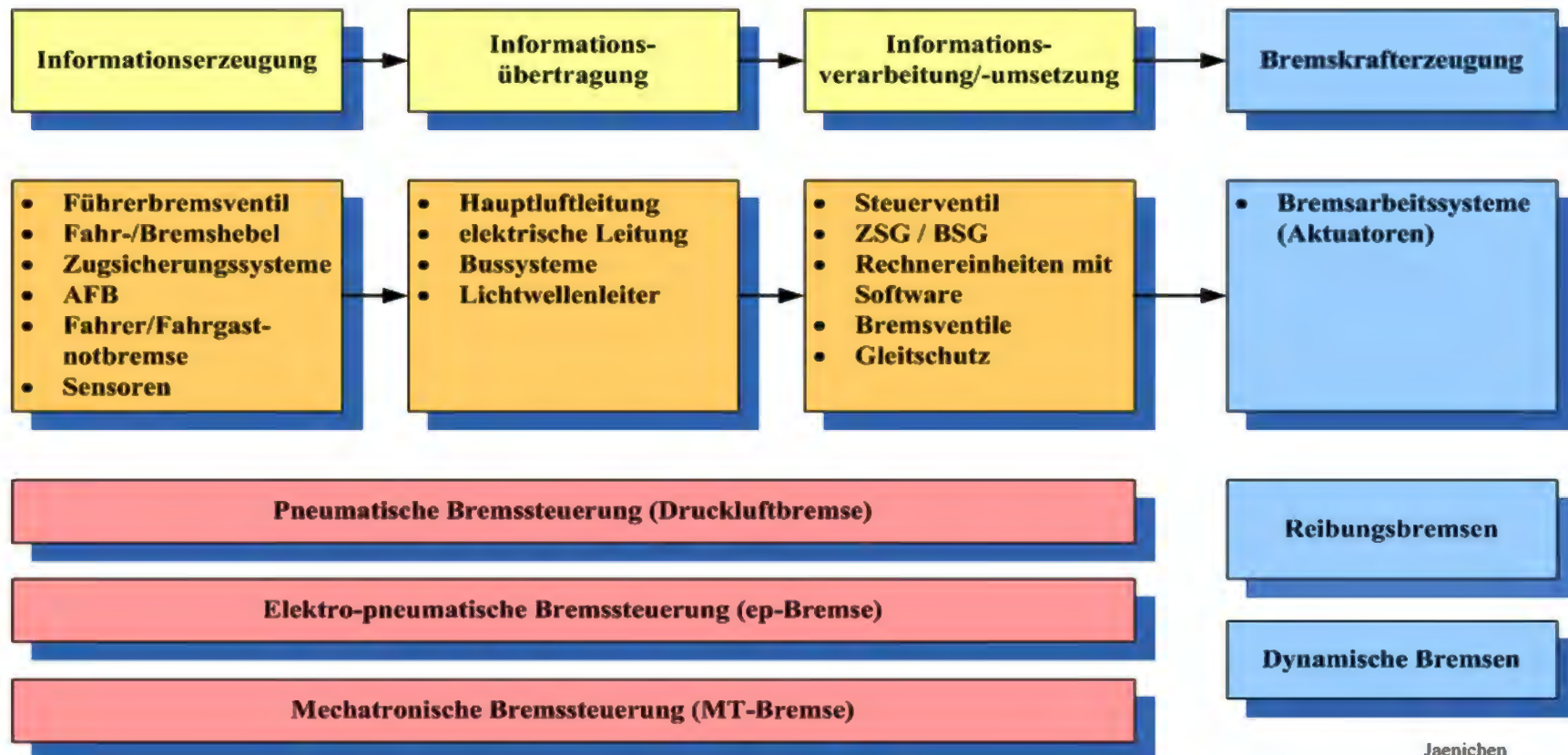
- Nennen Sie die Vorteile der automatischen Lastabbremung gegenüber einer zweistufigen Lastabbremung mit dem Lastwechsel leer/beladen am Güterwagen
- Erläutern Sie das Wirkprinzip der mechanischen automatischen Lastabbremung.
- Erläutern Sie das Wirkprinzip der pneum. auto. Lastabbremung.
- Was versteht man unter Einheitswirkung und wie wird es realisiert?
- Welches Zusatzbauteil mit welchem Wirkprinzip wird für die Realisierung der Bremsstellung R für das Steuerventil KE0 verwendet?

Fragen

- Skizzieren und erläutern Sie Druckverläufe der KE-GPR Bremse mit Scheibenbremse.
- Skizzieren und erläutern Sie das Wirkprinzip der pneumatischen Lastabbremmung mit Doppelbremszylinder.
- Welche bremstechnischen Unterschiede (Bremschwertstellung) bestehen für den S-, SS/S und SS- Verkehr ?
- Nennen Sie die Regelkriterien eines elektronischen Gleitschutzes.
- Erläutern Sie die Arbeitsweise eines elektron. Gleitschutzes mittels eines entworfenen Schaltbildes.
- Erläutern Sie die Arbeitsweise der Rollüberwachung der Räder.
- Welche techn. Forderungen werden an den Gleitschutz gestellt?

4. Einteilung der Bremsen nach Funktionen

Systemaufbau der Bremsanlagen von Schienenfahrzeugen



Jaenichen

Frage: Gibt es nicht andere Möglichkeiten der Energieumwandlung?

Können wir nicht andere Wirkprinzipien für die Energieumwandlung nutzen?

Priorität hat das Wirkprinzip kinetische Energie in elektrische Energie umzuwandeln. Im Zeitalter der Umweltfreundlichkeiten wollen wir beispielhaft die aerodynamische Bremse diskutieren.

Sie ist eine in den Luftstrom ausfahrbare Klappe an einem Fahrzeug, die dessen Strömungswiderstand erhöht und so zu einer Verringerung der Geschwindigkeit beiträgt (2 Wirkprinzipien)

- Durch Vergrößern der Stirnfläche eines Fahrzeugs kann der Widerstand erhöht werden
- Durch Verändern der Mikrogeometrie der Außenhaut eines Fahrzeugs (Grenzschichtströmung), Verwendung neuzeitlicher

5.1 Wirkprinzipien zur Energieumwandlung

Bremskraft $\hat{=}$ Druckwiderstandskraft

$$F_B = c_w \cdot A_{KL} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \quad [N] \quad \text{für 1 Paneel}$$

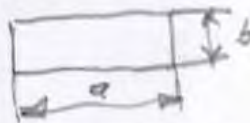
c_w - Luftwiderstandsbeiwert

A_{KL} - Klappfläche des Paneels

ρ - Luftdichte

v - Geschwindigkeit [km/h]

Zu c_w aus der Literatur:
Annahme $c_w = f(a/b)$ für Rechteck und senkr. Anströmung



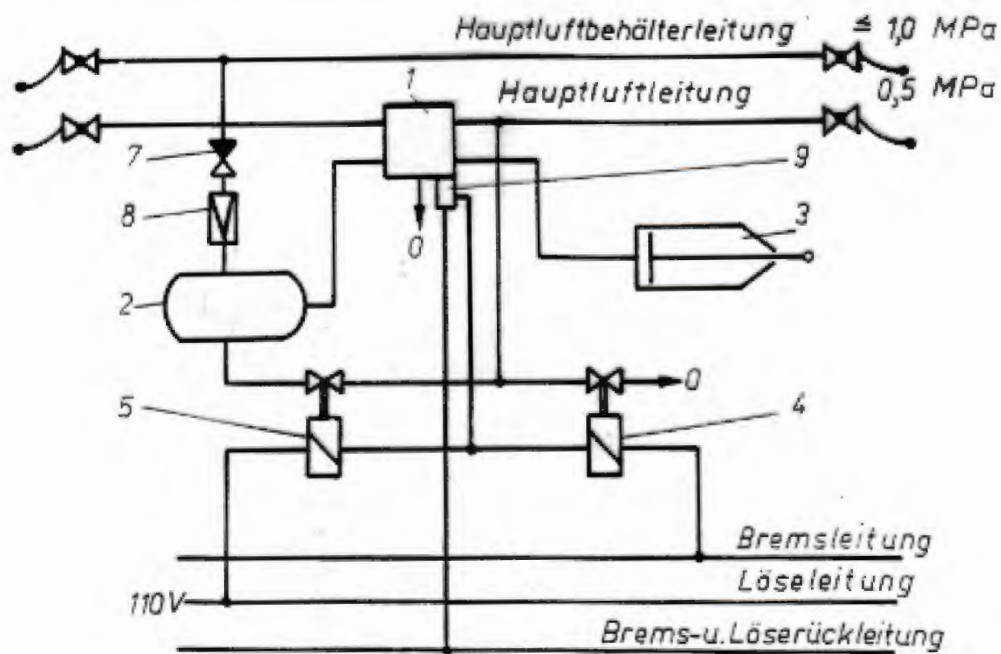
a/b	1	2	4	10	18
c_w	1,1	1,17	1,19	1,29	1,40

Beispiel:

- $a = 0,7 \text{ m}$, $b = 0,7 \text{ m} \rightarrow c_w = 1,1$
- Anzahl $n = 2$ Paneele auf dem Dach
- $A_{KL} = 0,49 \text{ m}^2$ $\Sigma A_{KL} = 2 \cdot 0,49 = 0,98 \text{ m}^2$
- $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

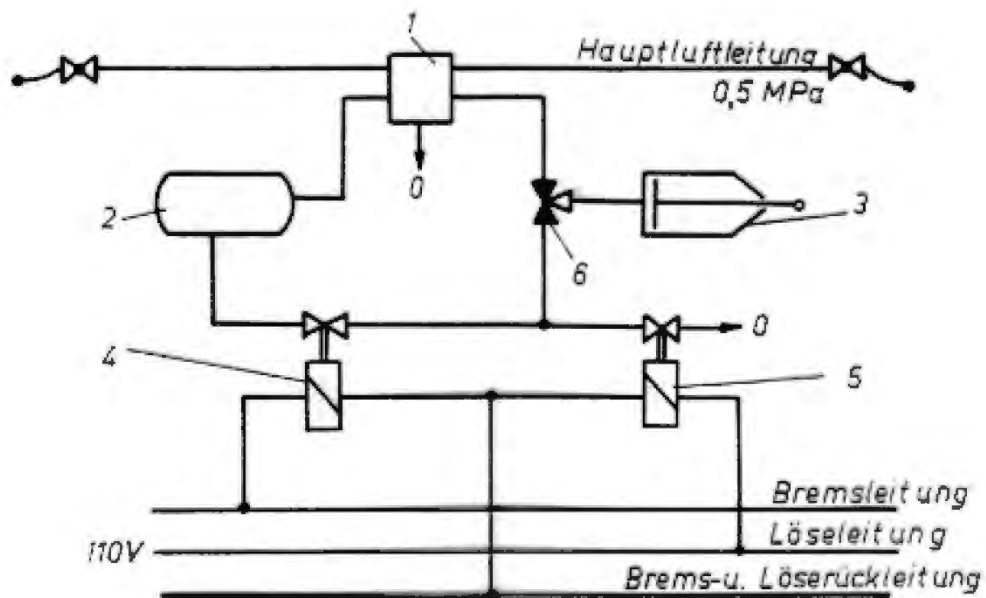
$$\Sigma F_B = 0,052 \cdot v^2$$

Indirekt wirkende ep-Bremse



- 1 Steuerventil
- 2 Bremsluftbehälter
- 3 Bremszylinder
- 4 Magnetventil Bremsen
- 5 Magnetventil Lösen
- 7 Absperrventil
- 8 Druckminderventil
- 9 Düsenumschalter

direkt wirkende ep - Bremse

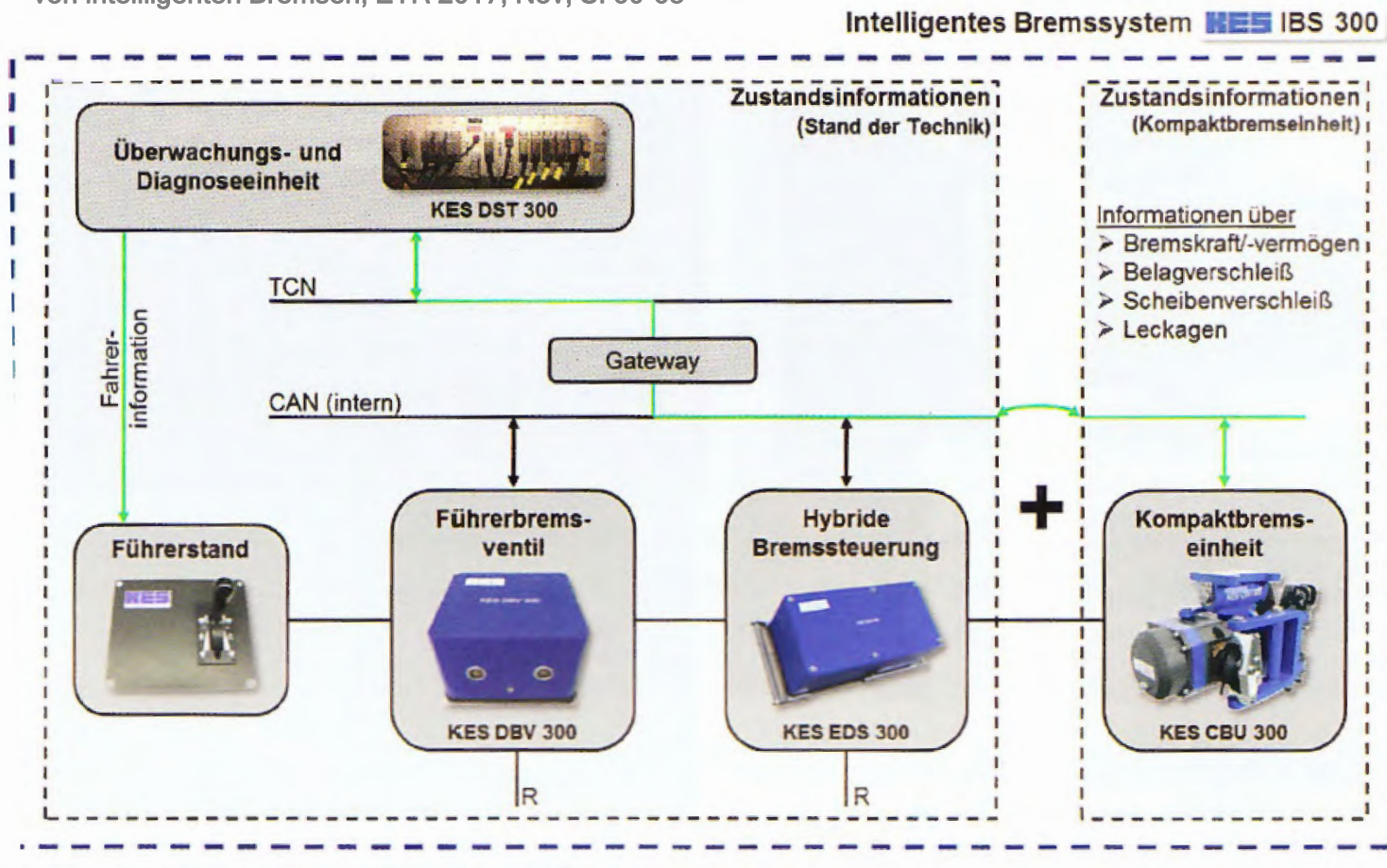


- 4 Magnetventil Bremsen
- 5 Magnetventil Lösen
- 6 Doppelrückschlagventil

5.2 Bremssteuerung mit Leittechnik

Bremssystem KES IBS 300, bestehend aus KES DBV300 elektron-pneum.
 Führerbremsventil, KES EDS 300 elektr. Bremssteuerung und
 Kompaktbremseinheit KES CBU 300

Literatur; Erhöhung der Sicherheit und Reduzierung der Betriebskosten durch den Einsatz
 von intelligenten Bremsen, ETR 2017, Nov, S. 60-63



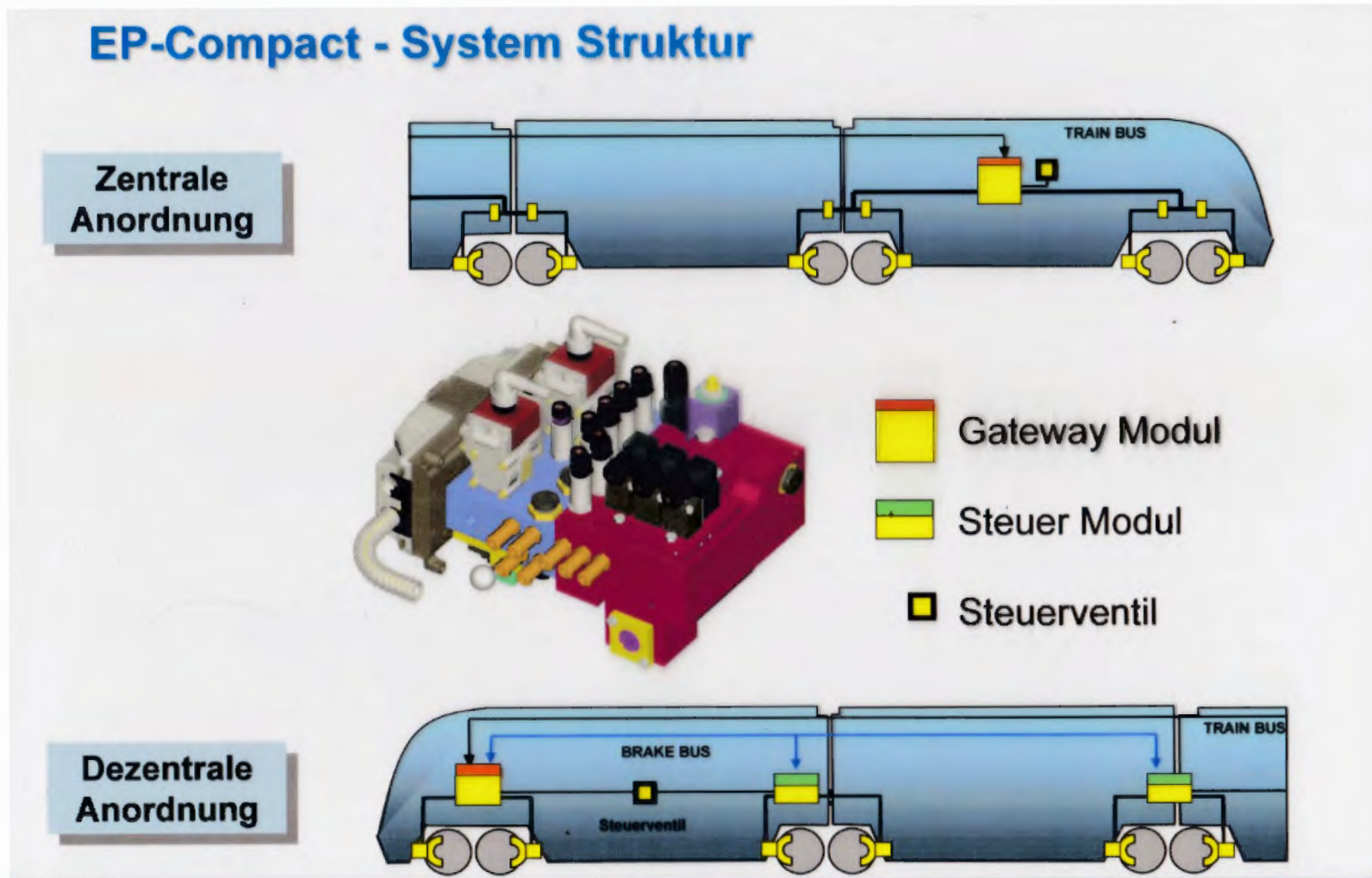
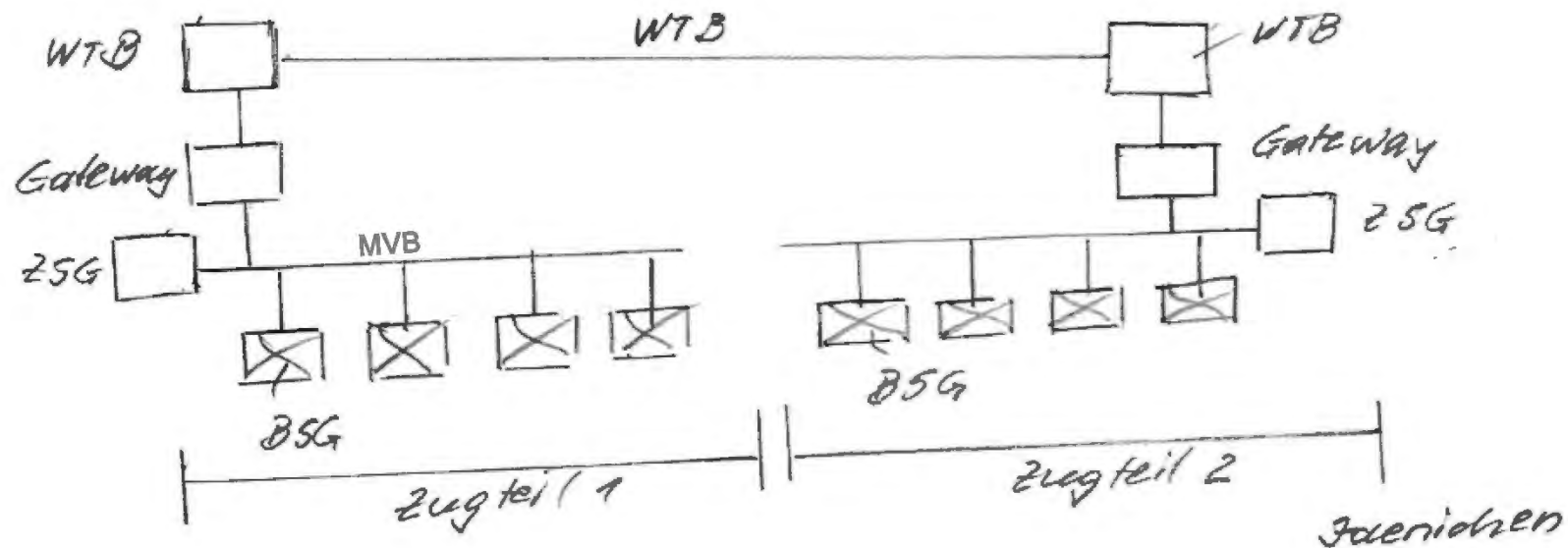


Foto Knorr-Bremse

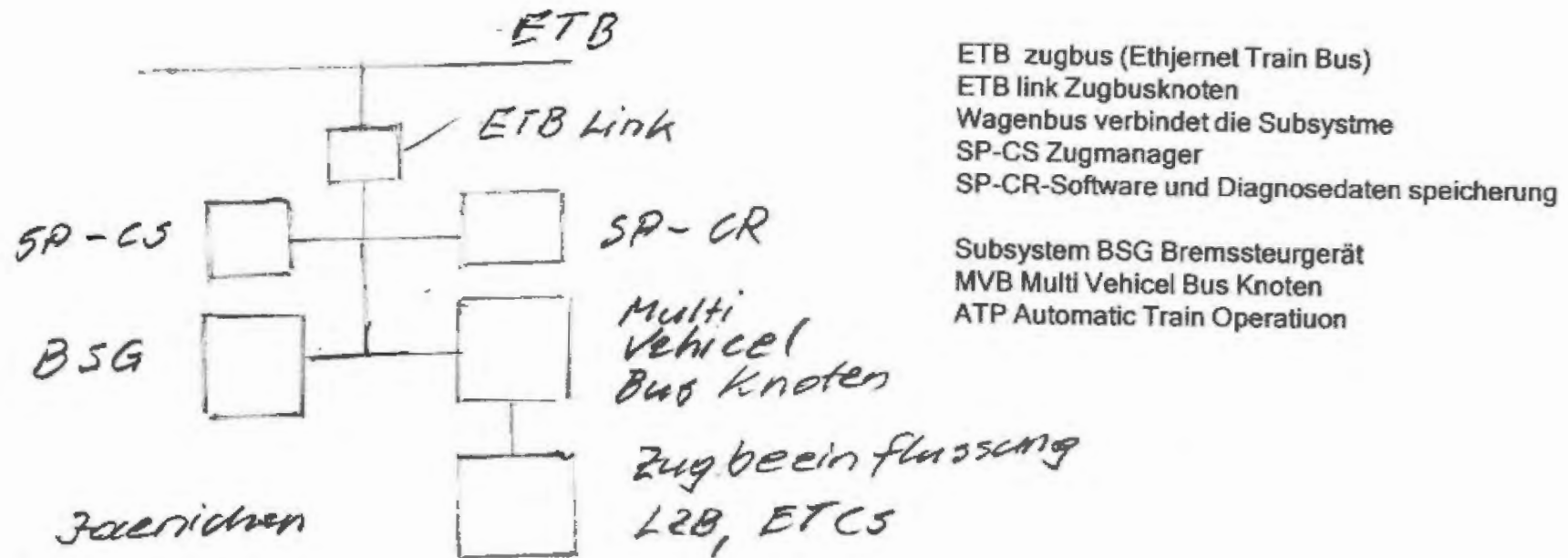
Vereinfachtes Schema Leittechnik für die Bremskraft-Steuerung des Zuges ICE BR 403/406 mit Geschwindigkeitsreglung AFB



WTB Wire Train Bus, MVB Multivehicle Bus
 ZSG Zugsteuergerät, BSG Bremssteuergerät,

Vereinfachtes Schema Leittechnik für die Bremskraft-Steuerung des Zuges ICE4 , BR 412

Leitwerk -Netzwerk ICE 4 (BR 412/812)



Fragen

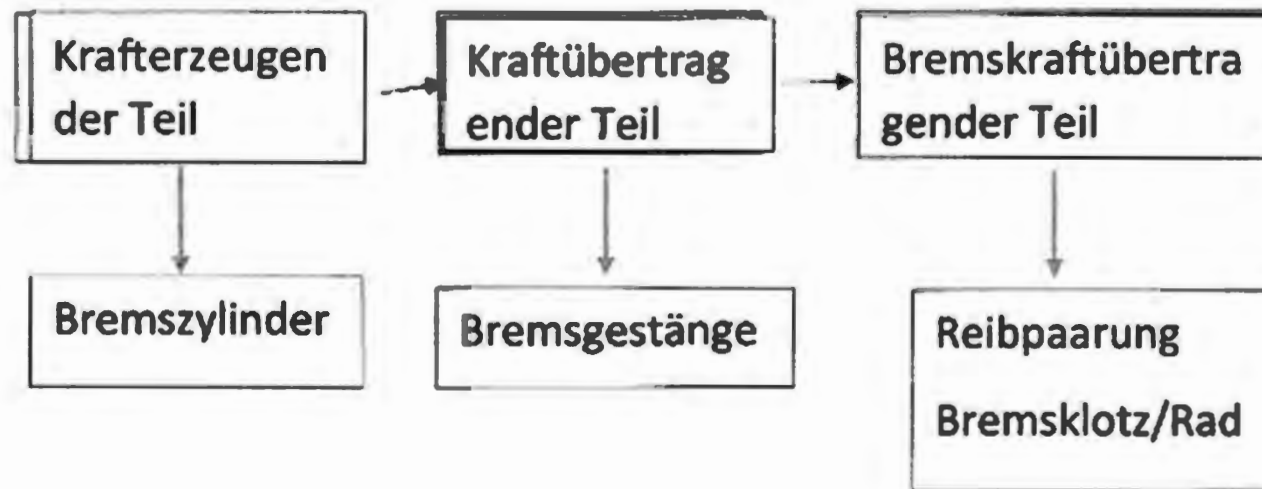
- Weshalb verwendet man in Neubaufahrzeugen die direktwirkende nichtselbsttätige Bremse?
- Wie wird die Forderung der Selbsttätigkeit bei Neubaufahrzeugen hergestellt?
- Inwieweit erhöht sich bei der Grundausrüstung mit einer direktwirkenden Bremse die gesamte Bremsausrüstung?
- Wird man bei Güterwagen die direkte oder die indirekte ep-Bauart in Zukunft einbauen?
- Weshalb verwendet man bei der direktwirkenden Bremse kein UIC KE- oder SW4-Steuerventil?
- Nennen Sie die Vor- und Nachteile einer zentralen und einer dezentralen Anordnung der Software in Fahrzeugen?

Fragen

- Warum verwendet man heute bei Triebzügen den Zugbus ETB mit einem internen Wagenbus statt mit WTB und MVB Segmenten?
- Zeichnen Sie ein vereinfachtes Netzwerk für die Bremssteuerung und erläutern Sie daran die Wirkungsweise.
- Welche Aufgabe hat der Zugmaster SP-CS unter Beachtung des Richtungschalters mit der Grundstellung „0“.
- Was macht man, wenn die Fahrzeugsteuerung ausfällt? Eine 110V Steuerleitung ist vorhanden.
- Welche Unterschiede bestehen bei der Betätigung der Sifa bei ICE1-3 und ICE4 ?

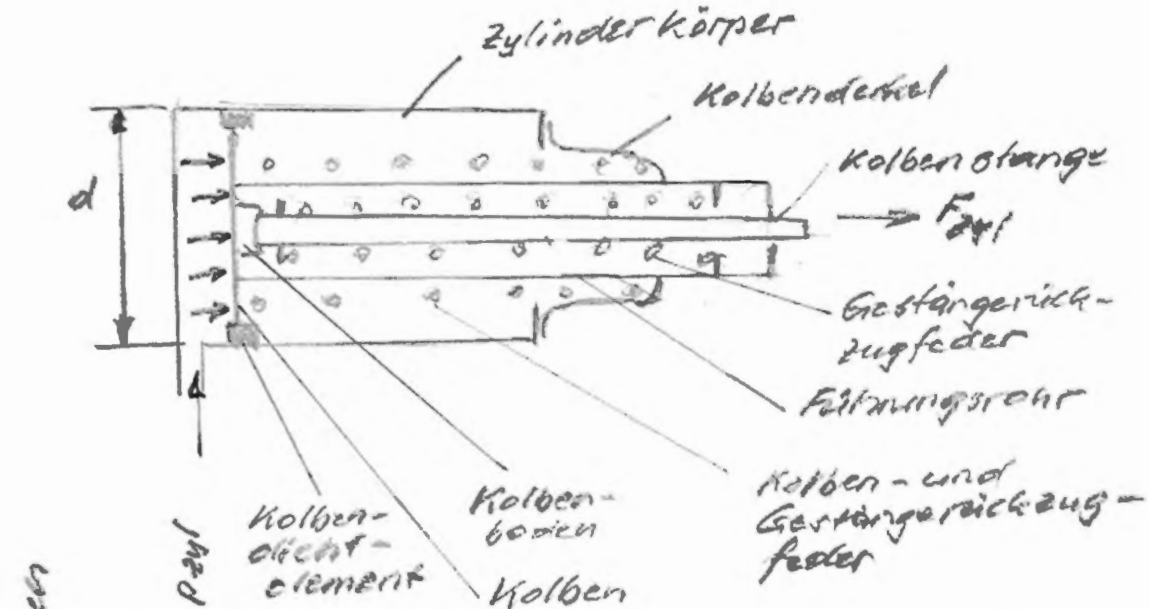
Modulaufbau der Klotzbremse

Jaenichen



Krafterzeugender Teil

Aufbau des Bremszylinders



Bremszylinderkraft

$$F_{zyl} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p_{zyl} - F_F - F_R$$

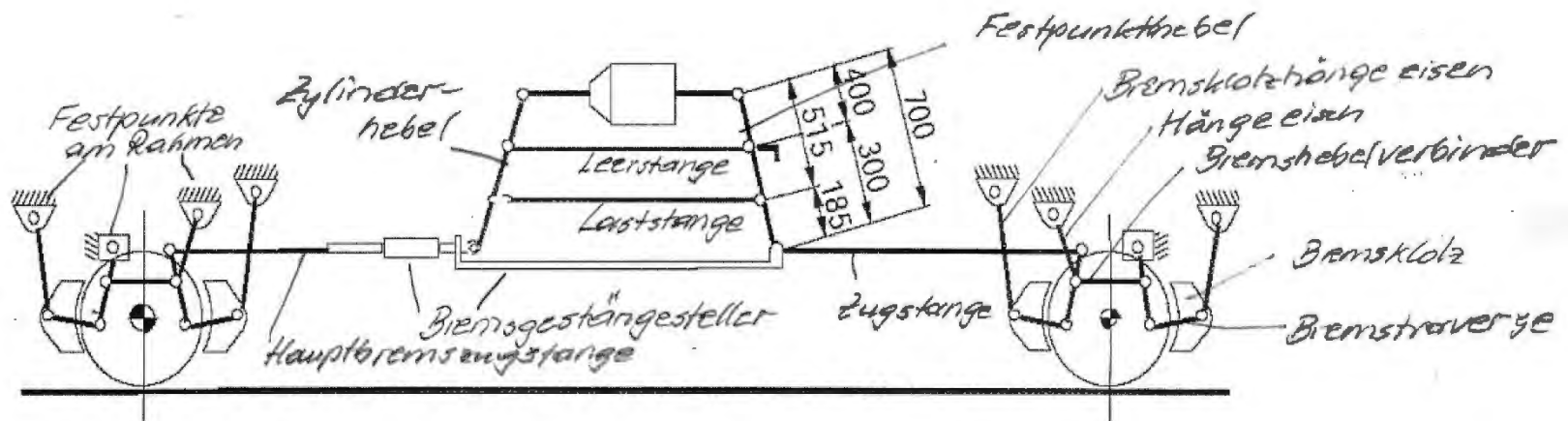
F_F - Federkräfte

F_R - Reibungskräfte Zylinder / Dichtelement

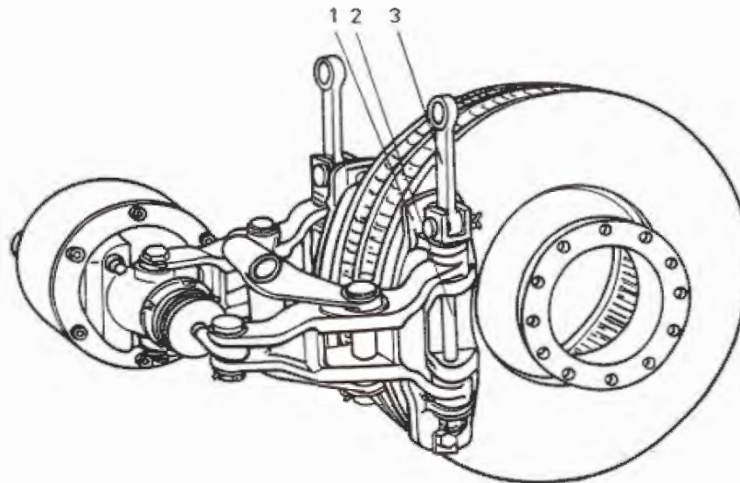
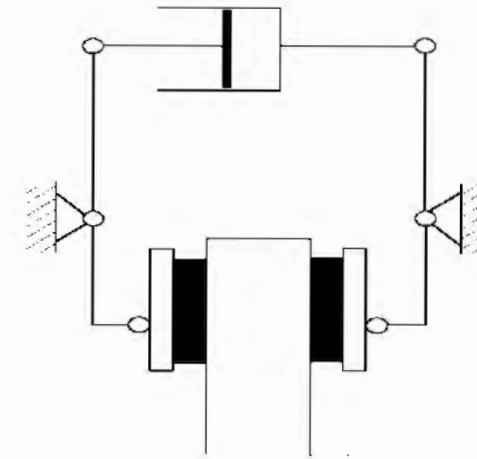
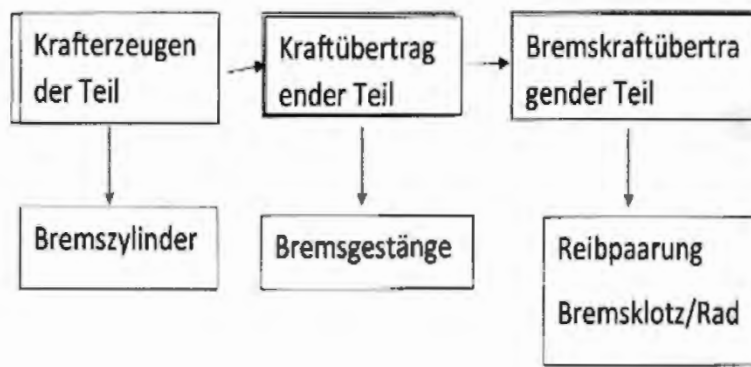
Hebelsystem

man unterscheidet zwischen

- Übersetzungs- und
- Ausgleichhebeln

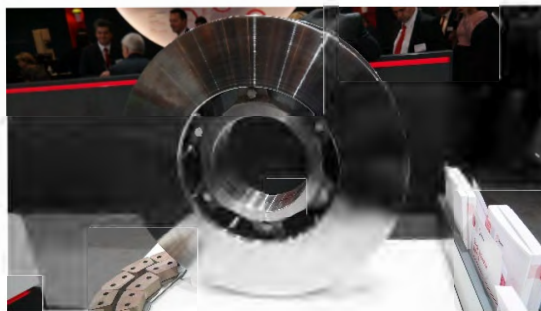
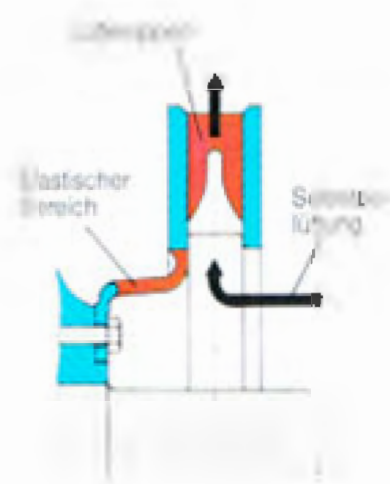


Aufbau der Scheibenbremse

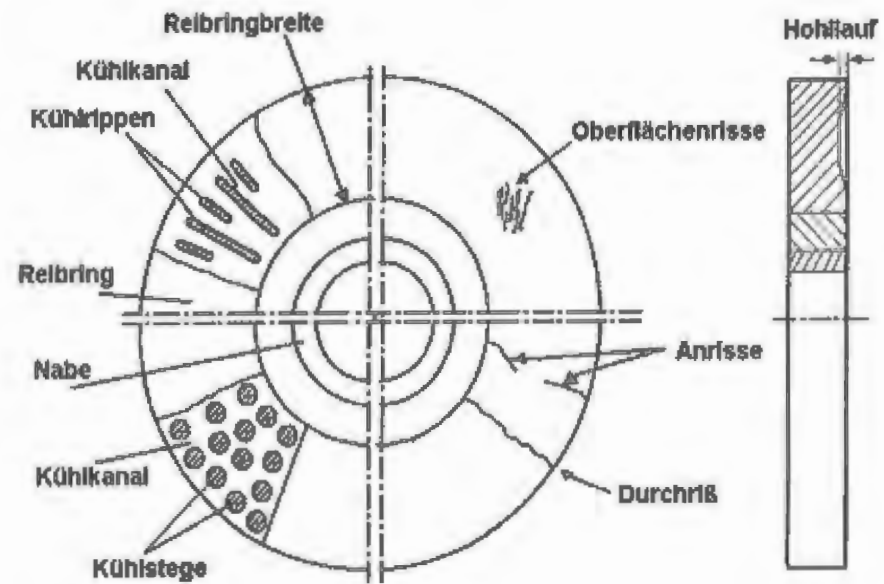


1 Belaghalter, 2 Gabelbolzen,
3 Hängelaschen

Gestaltung der Bremsscheibe mit Riß- und Verschleißausbildung



Bremsscheibe vor Einsatz , Foto Jaenichen



Leistungsgrenzen

-11MJ /Sphäro-GG-Scheibe mit organische Beläge,

Max. Temp. der Beläge ca. 370 °C

-14MJ /legierte Stahl- Scheibe mit Sinterbeläge

Max. Temp. der Beläge ca. 600 °C

Literatur

Bahnanwendungen

– Bremsscheiben für Schienenfahrzeuge –

Teil 3: Bremsscheiben, Leistung der Bremsscheibe

und der Reibpaarung, Klassifikation;

Deutsche Fassung EN 14535-3:2015

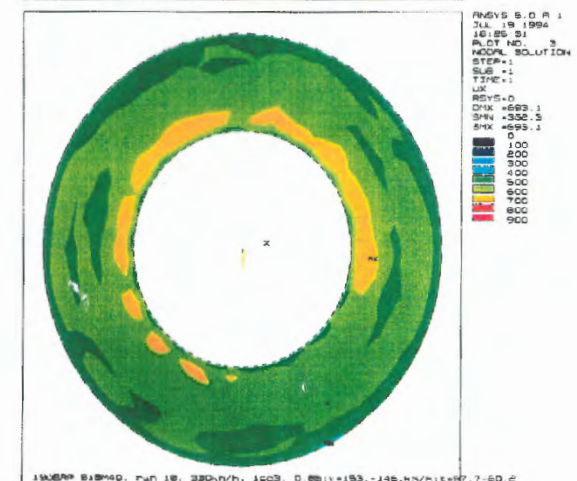
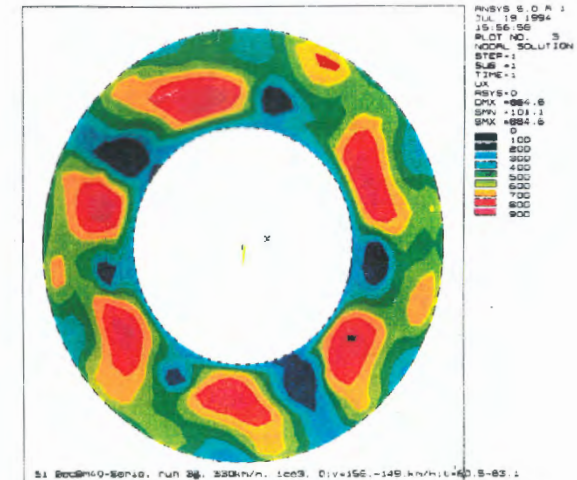


Bild 25: Thermographie für ungedrante (oben) und gedrante Sinterelmente-Anordnung (unten) BM 40



Fragen

- Skizzieren und erläutern Sie Aufbau und Wirkungsweise eines Bremszylinders.
- Erklären Sie die technischen Unterschiede zwischen einem Kolben- und einem Membran-Bremszylinder.
- Erläutern Sie den Anlegevorgang an einem Fahrzeug mit Klotzbremse (Bewegungsverhalten des Bremsgestänges)
- Wie berechnet sich die Bremskraft der Klotzbremse nach DIN EN14531
- Welche Methoden gibt es, den Kolbenhub konstant zu halten.
- Von welchen Faktoren hängt der Wirkungsgrad des Bremsgestänges ab?
- Welche Aufgaben hat das Bremsgestänge?

Fragen

- Welche Anforderungen muss ein Brems Scheibenwerkstoff erfüllen?
- Begründen Sie die Einsatzgebiete der Wellen, Rad- und Motorwellenbremsscheibe
- Was versteht man nuter „Bremszange“ und wie wird von dieser die Übersetzung berechnet.
- Warum werden in der Praxis unterschiedliche Brems Scheibenwerkstoffe angeboten?
- Wie wird die Bremskraft einer Scheibenbremse berechnet.
- Begründen Sie die unterschiedliche Luftkanalführung bei Wellenbremsschieben?
- Welche Arten von Brems Scheibenrisse treten auf?

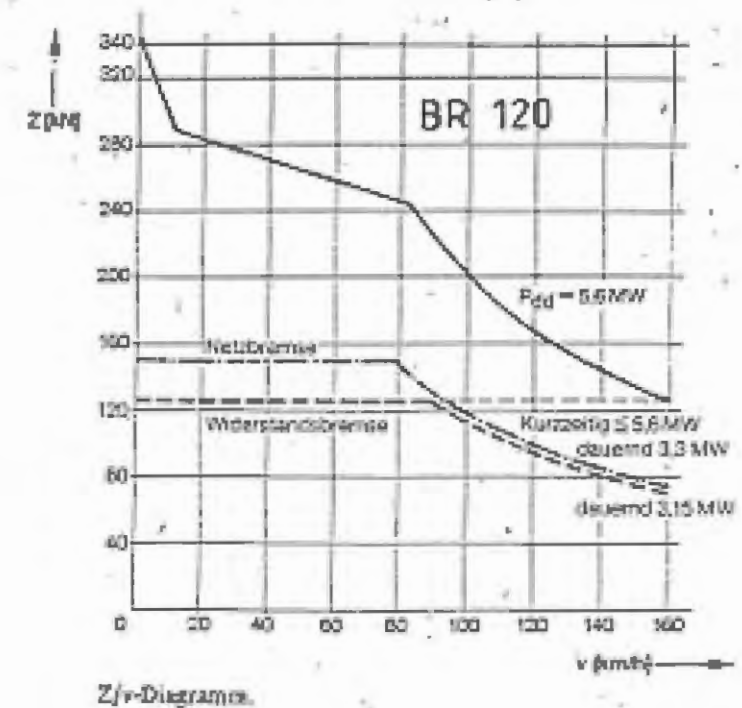
- Ausführungsformen der ED-Bremse

- Nach der Art
der Energieumwandlung

Widerstands- und Netzbremse

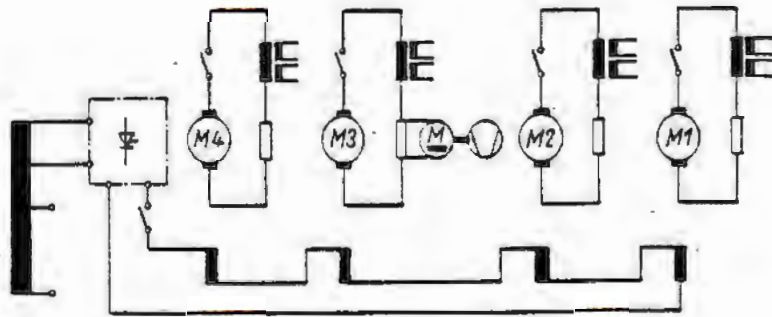
1. Ausführung

BR 120 im Erststadium

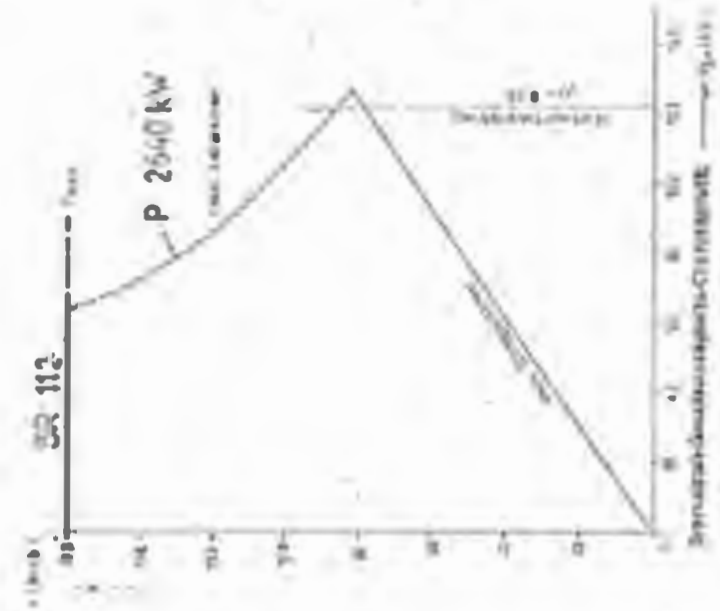


- Nach der Art der Erregung

selbst- und fremderregt



Schaltschema der fremderregten Widerstandsbremse



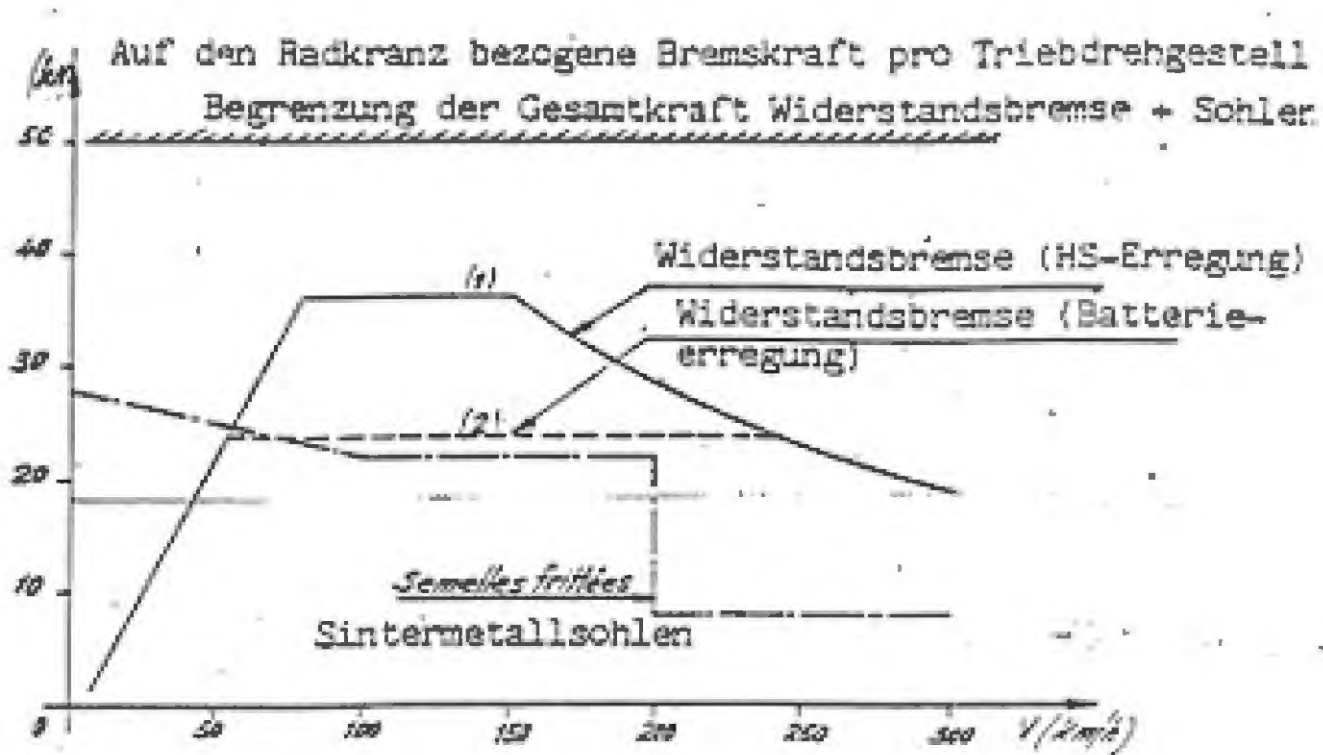
Bremskraft-Kennlinie der Lokomotive BR 112

Bremskraft F_{Br} wird im unteren v -Bereich durch den max. Erregerstrom I_E und im oberen v -Bereich durch den max. Ankerstrom I_{Br} begrenzt

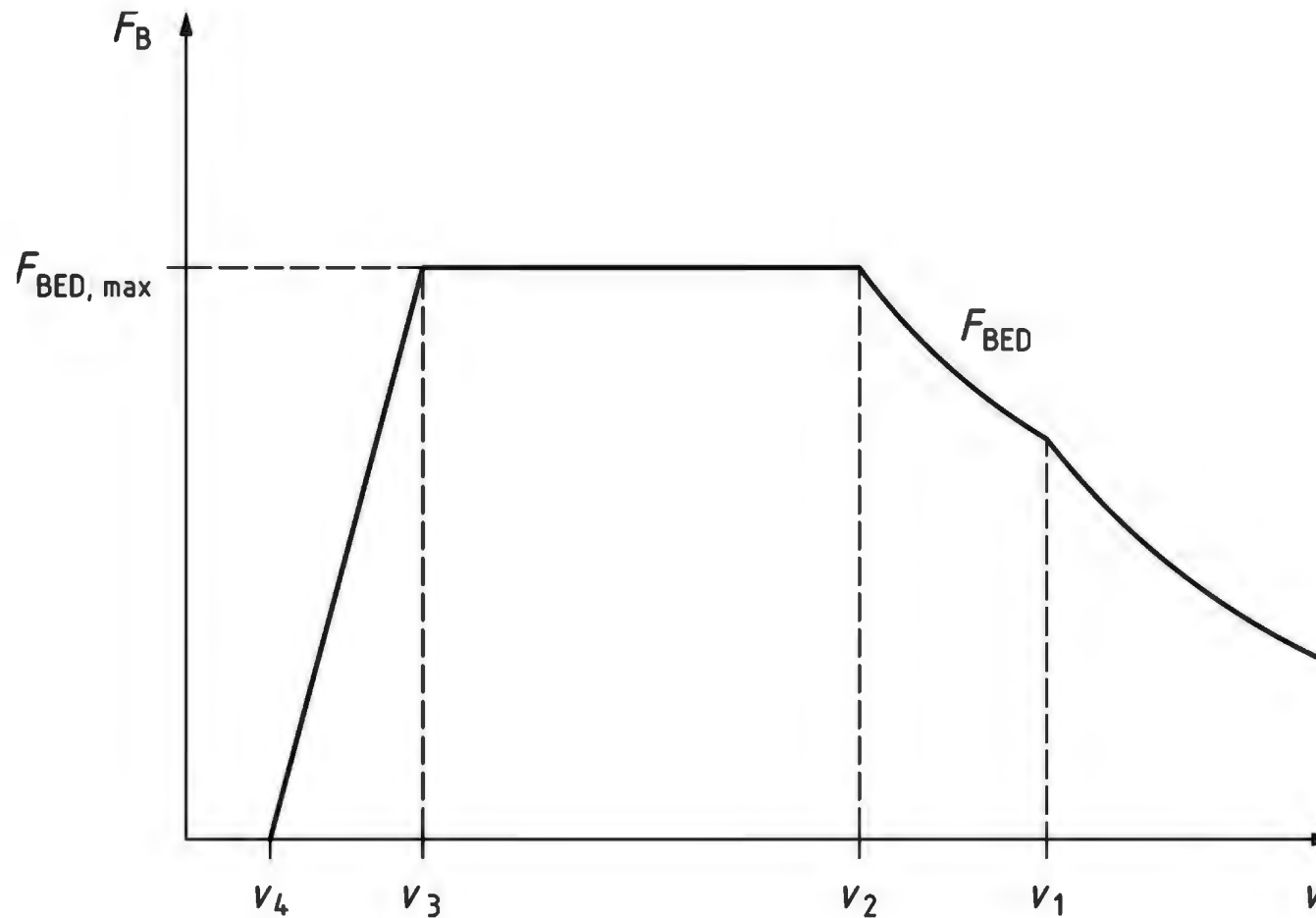
$$F_{Br} = I_{Br} * I_E * c \quad c\text{-Maschinenkonstante}$$

2. Beispiel für die Art der Erregung

Bremskraftkennlinien des TGV mit E- und Reibungsbremse



Idealisierte Bremskraftkennlinie nach DIN EN 14531-1



Momentane Bremskraft

- linearer Abschnitt von v_4 nach v_3

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

Linearer Abbau der Bremskraft für den Aufbau der Reibungsbremse

- Max. Bremskraft der E-Bremse von v_3 nach v_2

$$F_{\text{BED}} = F_{\text{BED,max}}$$

Grenze durch max. Kraftschlusskraft

- Nichtlineare Abnahme von v_2 nach v_1

$$F_{\text{BED}} = F_{\text{BED,max}} \cdot \frac{v_2}{v}$$

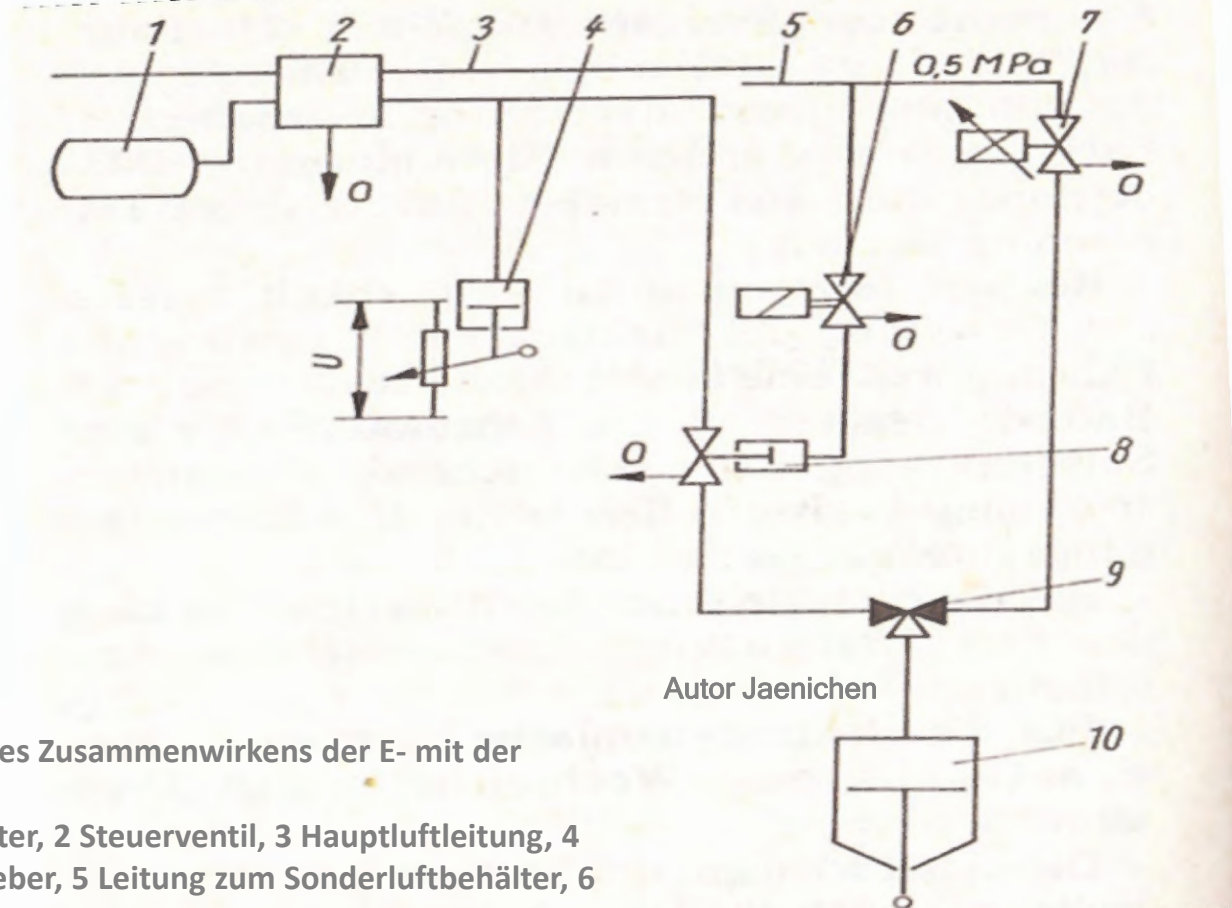
Spannung durch Motorauslegung begrenzt

- Nichtlineare Abnahme von v_1 auf v

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

Spannung wird durch Oberleitung begrenzt

Wirkprinzip der Realisierung des Blendingverfahrens



Prinzip-Schema des Zusammenwirkens der E- mit der Druckluftbremse

1 Bremsluftbehälter, 2 Steuerventil, 3 Hauptluftleitung, 4
 Druckmesswertgeber, 5 Leitung zum Sonderluftbehälter, 6
 Magnetventil, 7 Bremsstromventil, 8 Absperrventil,
 9 Doppelrückschlagventil, 10 Bremszylinder

Charakterisierung der MG-Bremse

» Wirkprinzip des Elektromagneten

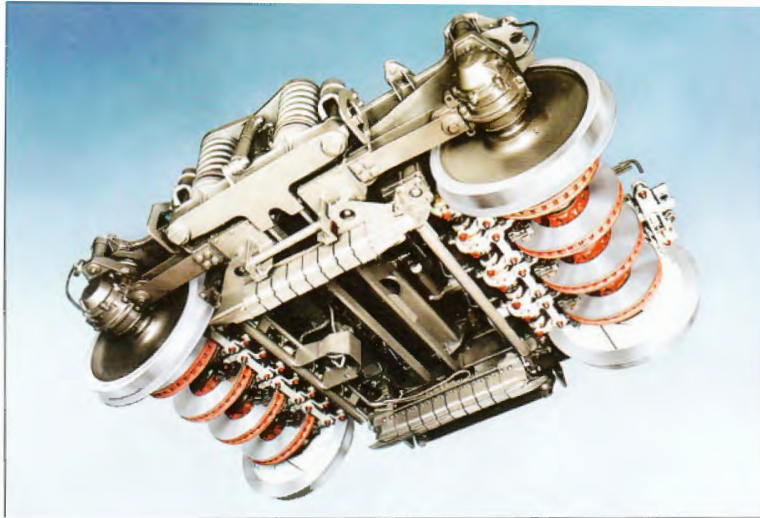
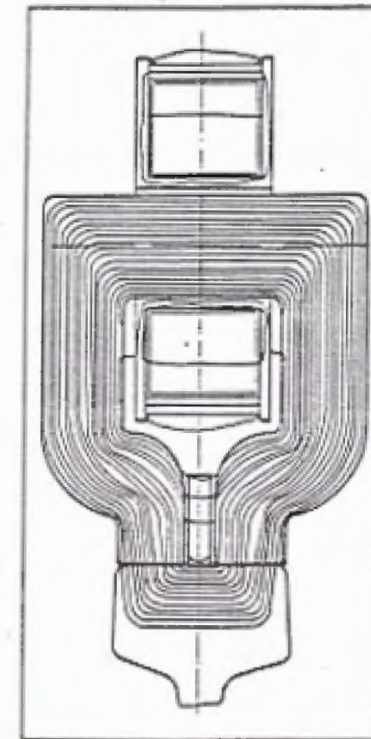


Foto KNORR-Bremse



Steuerung der MG-Bremse

- **Pneumatisch** über den Druckabfall in der HLL bei Schnellbremsung

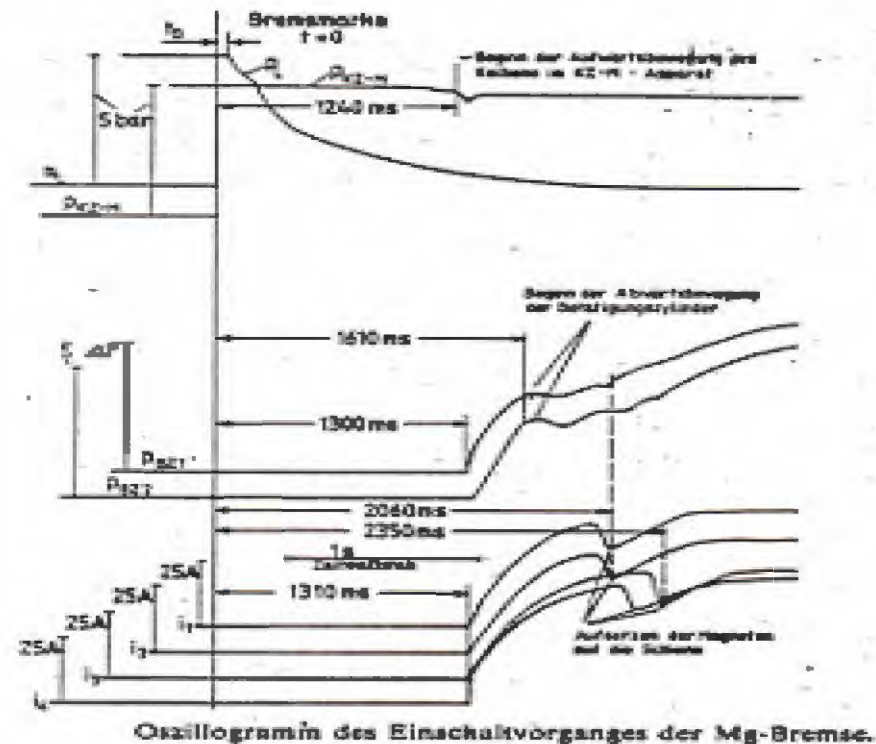
Wirkprinzipien

- Druckgradient

in HLL

- Schaltpunkt bei 3 bar

in HLL



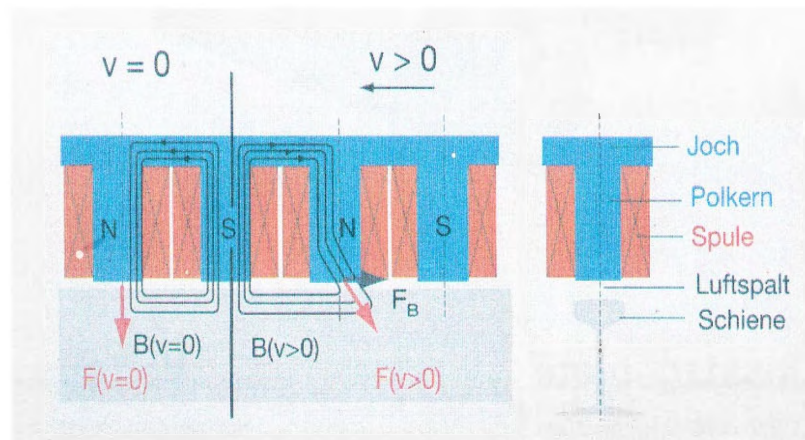
Wirbelstrombremse EWB 154 R



- Französischer Physiker (1819-1867) entwickelte das Wirkprinzip
- 1970 Beginn der Entwicklung bei der KNORR-Bremse
- Ab 1985 Versuche mit dem Triebzug ICE-V
- Gemeinsam mit der SNCF wurde 1996 und 1999 die Wirbelstrombremse erprobt
- Einsatz beim ICE3 seit 2010

Charakterisierung der linearen Wirbelstrombremse Vor- und Nachteile

Wirkprinzip der linearen EWB



Schema der Bremswirkung KNORR-Bremse

Fragen

- Welche Anforderungen muss ein Brems scheibenwerkstoff erfüllen?
- Begründen Sie die Einsatzgebiete der Wellen, Rad- und Motorwellenbremsscheibe
- Was versteht man nuter „Bremszange“ und wie wird von dieser die Übersetzung berechnet.
- Warum werden in der Praxis unterschiedliche Brems scheibenwerkstoffe angeboten?
- Wie wird die Bremskraft einer Scheibenbremse berechnet.
- Begründen Sie die unterschiedliche Luftkanlaführung bei Wellenbremsschieben?
- Welche Arten von Brems scheibenrisse treten auf?

Fragen

- Charakterisieren die drei Arten der Aufhängung von Magneten.
- Wie wird die Bremskraft berechnet und nennen Sie elektrische Größen für die Erzeugung der Anpresskraft.
- Was sind Aufschieferungen bei Stahlpolschuhen und welchen Einfluss hat das auf die Bremskraft?
- Was ist bei der Ansteuerung der MG-Bremse zu beachten?
- Welchen Einfluss hat der Werkstoff auf die normierte Bremskraft?
- Erläutern Sie den Wirkmechanismus der MG-Bremse?
- Weshalb befindet sich zwischen den Polschuhenden ein Dielektrikum?
- Weshalb wird die MG-Bremse vor dem Stillstand des Fahrzeugs abgeregelt?
- Welche Anforderungen werden an die Batterie im Winter für MG-Br. gestellt?
- Welcher Unterschied besteht im Wirkprinzip zwischen MG- und WB- Bremse?

Fragen

- Erläutern Sie das Wirkprinzip der WB- Bremse.
- Erläutern Sie den konstruktiven Aufbau einer WB-Bremse
- Erklären Sie die Wirkfaktoren für die Erzeugung der Bremskraft.
- Welche zwei Steuermechanismen werden zur Regelung der ED-Bremskraft verwendet?
- Welche Bedeutung hat der Luftspalt für die Bremskraft-Stärke?
- Weshalb werden verschleißlose Rotor-WB nicht im Bahnbetrieb eingesetzt?
- Erläutern Sie die Fakten, warum die WB-Bremse nicht umfassend im Bahnbetrieb eingesetzt wird.
- Welche Bedeutung hat die Gleistemperatur für den Bremsbetrieb?
- Unter welchen Voraussetzungen wird ein Einsatz der WB-Bremse sinnvoll für den Bremsbetrieb sein?

Dieter Jaenichen

- Email : dieter.jaenichen@tu-dresden.de



»Wissen schafft Brücken.«

