

Vorlesung

Bremstechnik des Hochgeschwindigkeitsverkehr

Pkt 5 Scheibenbremse (Kompendium von Pkt 5.5-5.6)
Teil 2

Dr. Dieter Jaenichen

Dresden, Dezember 2020

5. Scheibenbremse

Teil 1

5.1 Vor- und Nachteile der Scheibenbremse gegenüber Klotzbremsen

5.2 Konstruktiver Aufbau der Scheibenbremse

5.3 Gesamtsystem mit den Anforderungen

5.4 Bremsscheiben-Bauarten

Teil 2

5.5 Betätigungseinrichtungen

5.6 Bremsbeläge und ihre Reibwerte

Teil 3

5.7 Dimensionierung der Scheibenbremse

5.8 Bremsbelag-Verschleiß

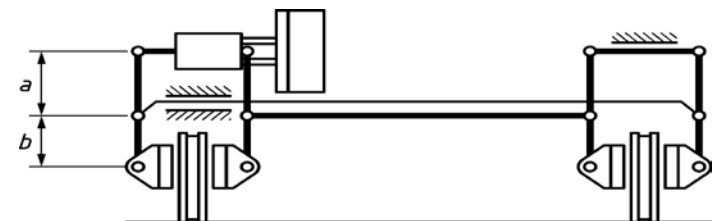
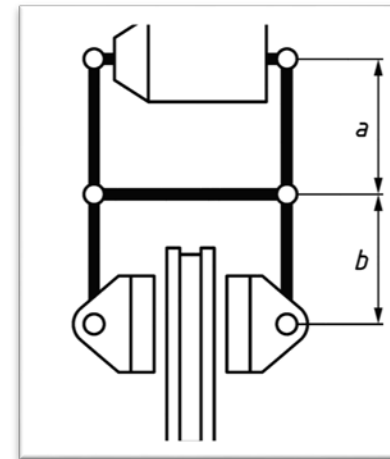
5.5 Betätigungseinrichtungen

Aufgaben des Bremsgestänges

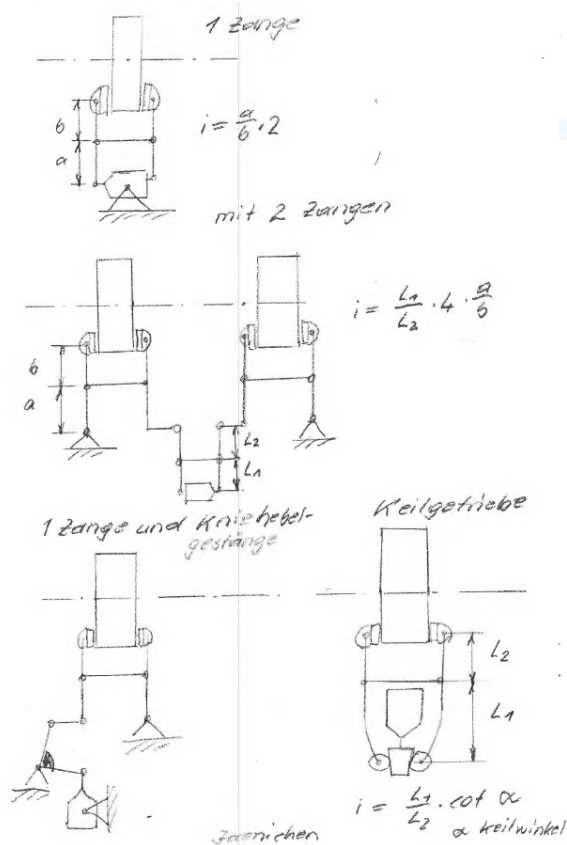
- Bremszylinderkraft durch Hebelgestänge zu verstärken
- gleichmäßig auf die Bremsbeläge zu übertragen

Ausführungsformen des Bremsgestänges

- 1 Bremszylinder und 1 Zange
für 1 Bremsscheibe (Kompaktzangeneinheiten)
- 1 Bremszylinder und 2 Zangen
und Mittenbremsgestänge für 2 Bremsscheiben
- 1 Bremszylinder und Zangen-
und Kniehebel-Winkelhebelgestänge
- 1 Bremszylinder
und 1 Zange mit einem Keilgetriebe



Ausführungsformen des Bremsgestänges



Forderung des Betriebs

konstantes Spiel zwischen Belag und Bremsscheibe

Nachstellen des Bremsgestänges

durch Spielraumsteller einfachwirkend

verringern ein zu großes Spiel auf 1-2 mm

Verminderung einer Eisschichtbildung

Kompensation des Reibungsverschleißes Belag und Scheibe

häufig im Bremszylinder integriert (kompakte Bauweise)

Gestängedehnung beim Bremsvorgang hat keinen Einfluss auf das Belagspiel

5.5 Betätigungseinrichtungen



**Bild Wabtec, Typ PBE
Bremszylinder mit Nachstelleinrichtung**

Bremszylinder-Anlegehub H

$H = \text{Belagspiel} * \text{Übersetzung des Gestänges}$

Nachstelllänge N

ist zu berechnen (Berechnung der notwendigen Verschleißlänge)

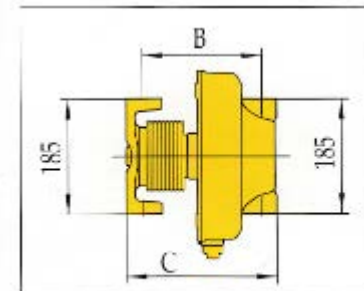
$N =$

$(\text{max. Verschleiß der Reibpartner} + 2 * \text{Spiel}) * \text{Übersetzung des Gestänges}$

Beispiel Wabtec

Zylinder Ø	Kolben- hub	Nachstell- kapazität	H	7,5
205	20	120	190	245
		160	222	280
254	20	120	195	245
		160	222	280

Einheit in mm



Skizze für PBEC/PBECFP/PBECM

DIN EN 15328 Bremsbeläge (Oktober 2020)

Belagformen

- Kreisringsektor, UIC-Form Reibfläche 400 -500 cm²
- Kreisringsegment, Reibfläche 300 cm²
KRS Beläge von KNORR (kein Scheibenhohllauf, verringerte Rißbildung, geräuscharm, geringerer Verschleiß)

Forderung

- Belagform muss sich den Reibringen anpassen und wird mit Nuten versehen
- Belagstärke in der Regel 35 mm oder 24 mm
- Beläge müssen ein gutes Tragbild besitzen

Prüfeinrichtungen

- Universalprüfmaschinen zur Bestimmung von mechanischen Eigenschaften
- Thermografie
- Risstiefenprüfung
- Rauigkeitsprüfung

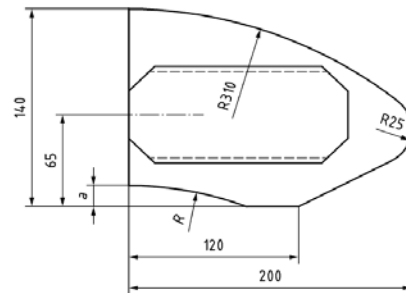
Kreis-Ring-Sektor
Bremsbelag



Organische Produkte der Firma Bremserl in Deutschland

Ausführungsformen

F.2 Bevorzugte Hüllkurve für SBP 200 cm²



Legende

	<i>a</i>	<i>R</i>
Option 1	7,5	232,5
Option 2	15,0	240,0

Bevorzugte Hüllkurve für SBP 175 cm²

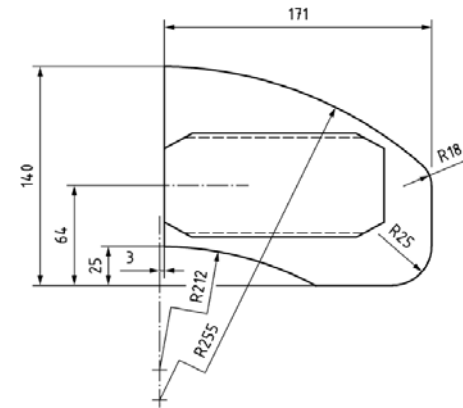
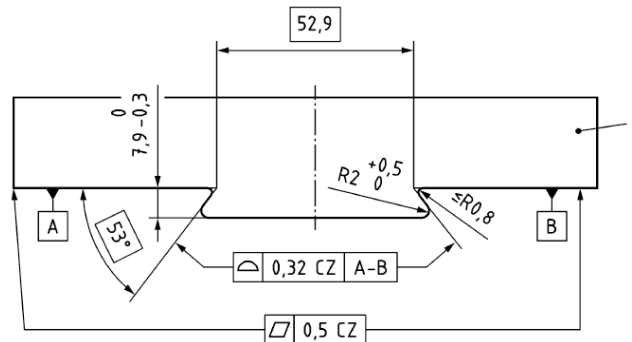


Bild F.2 — SBP 175 cm²

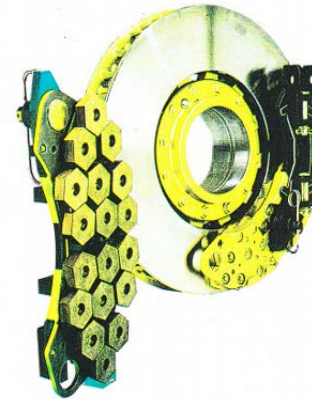


Schwalbenschwanzführung

Werkstoffe der Bremsbeläge

- auf organischer Basis (Polymere, Glasfaser usw.)
- auf Sinterbasis (Eisen, Bronze , Kupfer usw.)

Sinterbelag



Einfluss des Belagwerkstoffes auf die Temperaturverteilung auf der Brems Scheibe

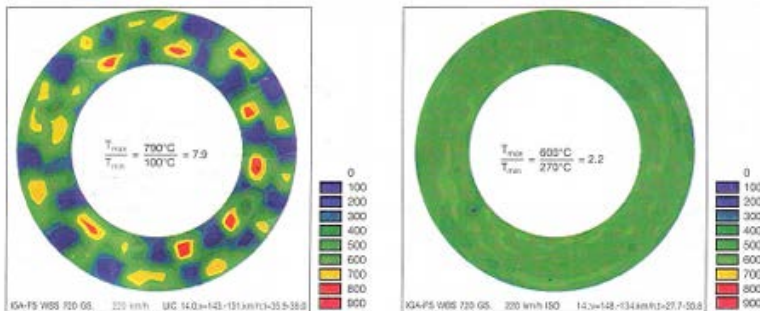
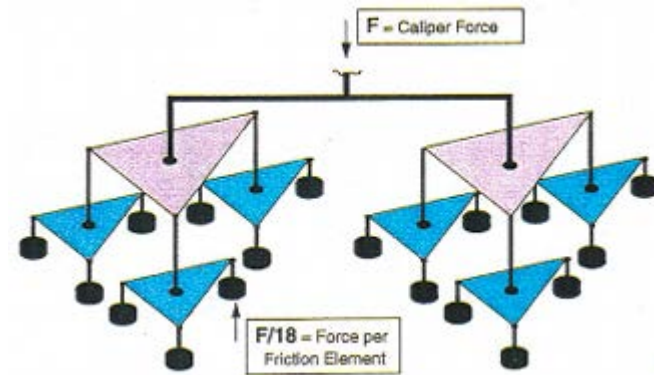


Bild 9: Temperaturverteilung auf einer Lok 101 Brems Scheibe (hohe Flächenpressung)
links: Bremsbelag STANDARD-Sinter, rechts: Bremsbelag Isosari-Sinter



Alle Bilder KNORR-Bremse München

5.6 Bremsbeläge und Reibwerte



ISOBAR-Bremsbeläge

Einsatzgebiete

S- und Radbremsen für Hochgeschwindigkeitszüge und Lokomotiven.

Vorteile

- Beträchtliche Leistungssteigerung der Scheibenbremse
- Geringerer Scheiben- und Belagverschleiß
- Geräuscharmes Bremsen
- Reduzierte Betriebskosten (LCC)
- Belaghalter mit UIC-Typ austauschbar

KNORR-BREMSE
Systeme für Schienenfahrzeuge

ISOBAR-Bremsbelag

ISOBAR-Bremsbeläge mit Sintermetall-Halbleimern wurden speziell für Scheibenbremsen von Hochgeschwindigkeitszügen entwickelt.

Ziel:

- Steigerung der Leistungsfähigkeit von Bremsbelägen
- Verminderung von Bremsgeräuschen
- Reduzierung der Betriebskosten (LCC)

Lösung:

- Eine neuartige Lagerung der Reibelemente in einem speziell entwickelten Halter bewirkt ein wesentlich verbessertes Tragbild zwischen Belag und Brems Scheibe, insbesondere bei hohen Bremsleistungen (ISOBAR = konstanter Druck)

Vorteile:

- Verminderung von "Hotspots" auf Belag und Brems Scheibe
- geringerer Belag- und Scheibenverschleiß
- geräuscharmes Bremsen
- Reibelemente einzeln austauschbar

Belaggröße: ISOBAR-Beläge gibt es in der Standard-Nenngröße 400 mm oder zur Wunschkenngröße

Reibmaterial: Es werden qualitativ renommierte Belagmaterialien verwendet.

Belaghalter: Der ISOBAR-Bremsbelag erfordert eine spezielle Belaghalter. Dies ist prinzipiell lösbar mit der entsprechenden UIC-Ausführung.

KNORR-BREMSE
Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH

Definitionen

- der augenblickliche Reibwert μ_a , der in jedem Augenblick der Bremsung durch das Verhält Gesamtbremskraft F_t (im Reibradius r) zur Gesamtanpresskraft F_b bestimmt ist:

$$\mu_a = \frac{F_t}{F_b}$$

- der mittlere Reibwert μ_m , der vom Erreichen von 95% der Nennanpresskraft F_b des Reib μ_a über den Bremsweg s_2 zu ermitteln ist:

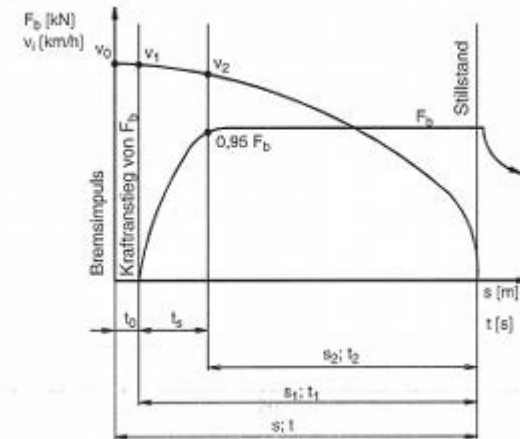
$$\mu_m = \frac{1}{s_2} \times \int_0^{s_2} \mu_a \times ds$$

statischer Reibwert

Reibwert, der vom Reibpaar erreicht wird, bevor eine Relativbewegung zwischen der Reibfläche des Bremsbelags und der Reibfläche der Brems Scheibe beginnt

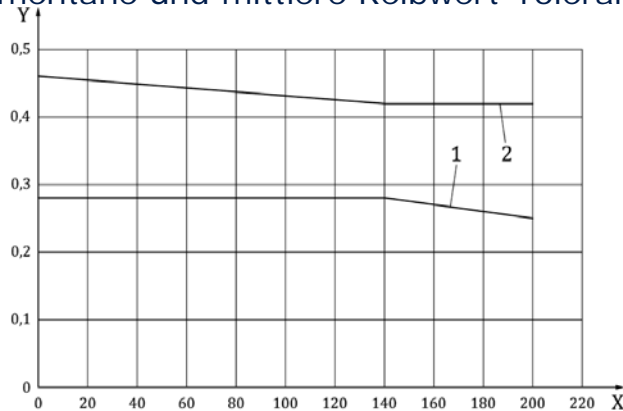
Anforderungen an den Belag-Reibwert

- sollte unabhängig vom Verschleiß (maximale Dicke des Bremsbelags), vom spezifischen Druck, von der Temperatur und von den Umweltbedingungen sein.
- bei Nässe oder Schnee sollte sich der momentane Reibwert nur leicht vom Reibwert bei trockenen Bedingungen unterscheiden.



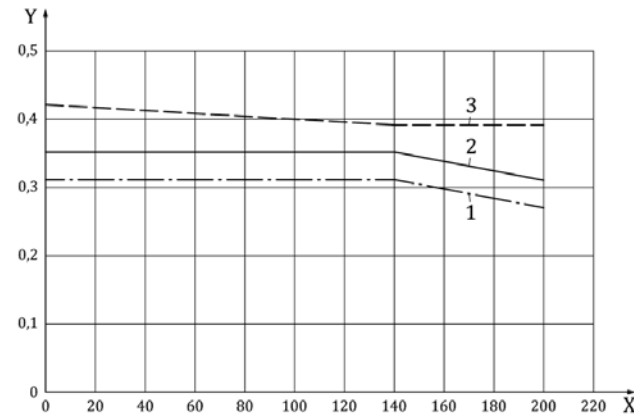
DIN EN 15328 Tabelle E.5 — Allgemeine Prüfprogramme für Hochgeschwindigkeitszüge

Momentane und mittlere Reibwert-Toleranzen bei trockenem Zustand



Legende

- 1 niedrigster Wert
- 2 höchster Wert
- Y momentaner Reibwert μ_a
- X Momentangeschwindigkeit v , in km/h. Die Toleranzen gelten für alle Werte von F_B



Legende

- 1 niedrigster Wert
- 2 Nennwert
- 3 höchster Wert
- X Bremsausgangsgeschwindigkeit v_0 , angegeben in km/h. Die Toleranzen gelten für alle Werte von F_B
- Y mittlerer Reibwert μ_m

DIN EN Vorgaben momentaner Reibwert

- Kennlinie sollte zwischen 0,300 und 0,450 liegen.
- Reibwert muss zwischen 0,280 und 0,470 liegen.
- Differenz zwischen dem Höchstwert und dem Mindestwert der Kennlinie muss kleiner oder gleich 0,150 sein.

Informationen im Datenblatt jedes Bremsbelags

- Kennlinie des Reibwerts
- Bereich des spezifischen Drucks
- maximale Gleitgeschwindigkeit entlang des Bremsradius
- maximale dauerhaft ertragbare Temperatur
- maximale kurzfristig ertragbare Temperatur
- Dichte.

Beispiel:

BREMSKERL Scheibenbremsbelag für Schienenfahrzeuge bis 300 km/h

organisch gebundener Scheibenbremsbelag

- sehr gutes Nässeverhalten $v_0=30\text{m/s}$ $T_0=60\text{ C}$
- mittlerer dynamischer Reibwert μ_y (trocken) 0,36
- mittlerer Belagverschleiß 0,42 cm /MJ, Härte DIN EN ISO N/mm Zugfestigkeit DIN EN ISO MPa, Schlagzähigkeit DIN EN ISO KJ/m p spez.=50N/cm $T_0=60\text{ C}$, Dichte DIN EN ISO ,08 g/cm 40 N/cm 85 m/s Maximaltemperatur im Dauerbetrieb 360 C kurzzeitige Temperaturbelastung möglich bis 600 C

BREMSKERL Scheibenbremsbelag für Schienenfahrzeuge bis 350 km/h

Sinterwerkstoff - flexible Segmentierung – asbestfrei

- gute Nassbremseigenschaften mittlerer dynamischer Reibwert μ_y (trocken) 0,36-0,39
- mittlerer Belagverschleiß 0,1 cm /MJ Härte DIN EN ISO N/mm Zugfestigkeit DIN EN ISO MPa Schlagzähigkeit DIN EN ISO kj/m p spez.=50N/cm $T_0=60\text{ C}$ Dichte DIN EN ISO ,5 g/cm 130 N/cm 85 m/s Maximaltemperatur im Dauerbetrieb 520 C kurzzeitige Temperaturbelastung möglich bis 870 C $v_0=30\text{m/s}$ $T_0=60\text{ C} - 700\text{ C}$

Datenblatt der Firma Bremskerl bis 350 km/h Sinterwerkstoff

<https://www.bremskerl.de> 27.11.2020

BREMSKERL 3200

Anwendungsbereich

- Scheibenbremsbelag für Schienenfahrzeuge
- Hochgeschwindigkeitsanwendungen bis 350 km/h
- geeignet für mittlere Achslasten

Materialbeschreibung

- Sinterwerkstoff
- flexible Segmentierung
- asbestfrei

Weitere Eigenschaften

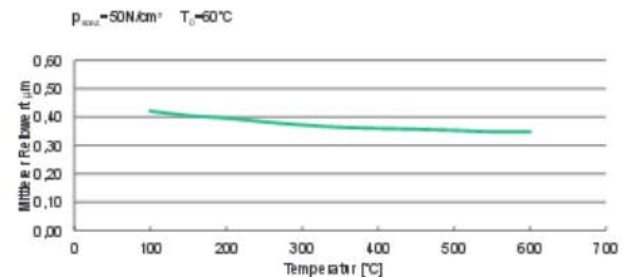
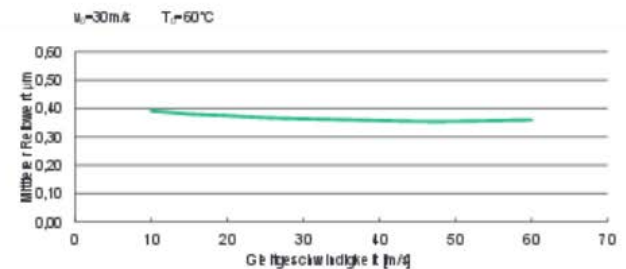
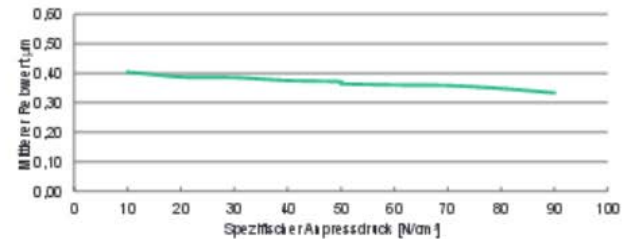
- gute Nassbrems Eigenschaften

Technische Daten

Mittlerer dynamischer Reibwert μ_m (trocken)	0,36 - 0,39	
Mittlerer Belagverschleiß	0,1 cm ³ /MJ	
Härte	DIN EN ISO 2039-1	135 N/mm ²
Zugfestigkeit	DIN EN ISO 527	5 MPa
Schlagzähigkeit	DIN EN ISO 179-1	520 kJ/m ²
Dichte	DIN EN ISO 1183	5,5 g/cm ³

Belastbarkeit

max. Flächenpressung	130 N/cm ²
max. Gleitgeschwindigkeit	85 m/s
Maximaltemperatur im Dauerbetrieb	520 °C
kurzzeitige Temperaturbelastung möglich bis	870 °C



Datenblatt der Firma Bremskerl bis 300 km/h (organischer Werkstoff) <https://www.bremskerl.de> 27.11.2020

BREMSKERL 3000

Anwendungsbereich

- Scheibenbremsbelag für Schienenfahrzeuge bis 300 km/h
- Hohe Geschwindigkeitseinsatz bis 300 km/h möglich
- ICE 1; ICE 2
- Reisezugwagen

Materialbeschreibung

- organisch gebundener Scheibenbremsbelag
- enthält Metallfasern
- asbest- und schwermetallfrei

Weitere Eigenschaften


- sehr gutes Nassverhalten
- UIC zugelassen

Technische Daten

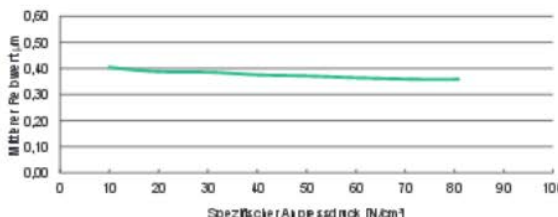
Mittlerer dynamischer Reibwert μ_m (trocken)	0,36
Mittlerer Belagverschleiß (aus UIC541-3; Prog.1)	0,42 cm ³ /MJ
Härte	DIN EN ISO 2039-1 35 N/mm ²
Zugfestigkeit	DIN EN ISO 527 4 MPa
Schlagzähigkeit	DIN EN ISO 179-1 5 kJ/m ²
Dichte	DIN EN ISO 1183 2,08 g/cm ³

Belastbarkeit

max. Flächenpressung	40 N/cm ²
max. Gleitgeschwindigkeit	85 m/s
Maximaltemperatur im Dauerbetrieb	360 °C
kurzzeitige Temperaturbelastung möglich bis	600 °C

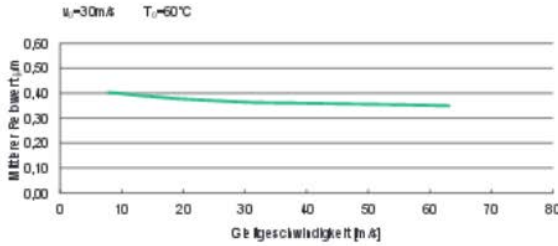


Mittlerer Reibwert μ_m vs. Spezifischer Axialdruck [N/mm²]



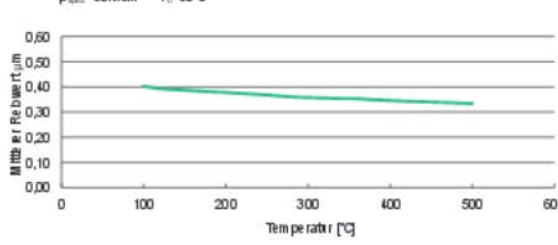
Mittlerer Reibwert μ_m vs. Gleitgeschwindigkeit [m/s]

$\mu_m = 30 \text{ m/s}$ $T_c = 60^\circ\text{C}$



Mittlerer Reibwert μ_m vs. Temperatur [°C]

$p_{\text{max}} = 50 \text{ N/cm}^2$ $T_c = 60^\circ\text{C}$



* Reibwertverhalten basierend auf internen Prüfstandsuntersuchungen

Energieaufnahmefähigkeit (Leistungsfähigkeit) der Reibpaarungen

Organische Reibstoffe

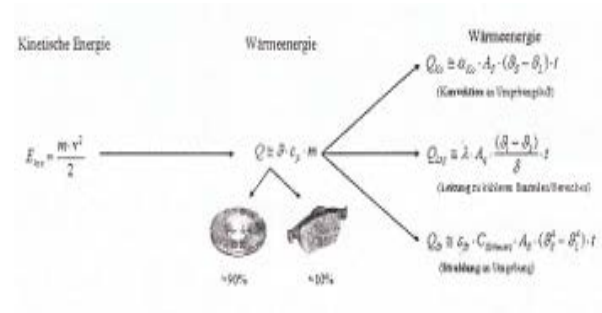
11MJ/Scheibe (bedeutet für eine Höchstgeschwindigkeit von 270 km/h und eine abzubremsende Masse von 4t), max. Temperatur etwa 375°C, in Grauguss-Bremsscheiben starke Wärmespannungen)

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

Beispiel für die Energiezunahme TGV1 14 MJ, TGV 2 18 MJ, TGV 3 22 MJ je Scheibe

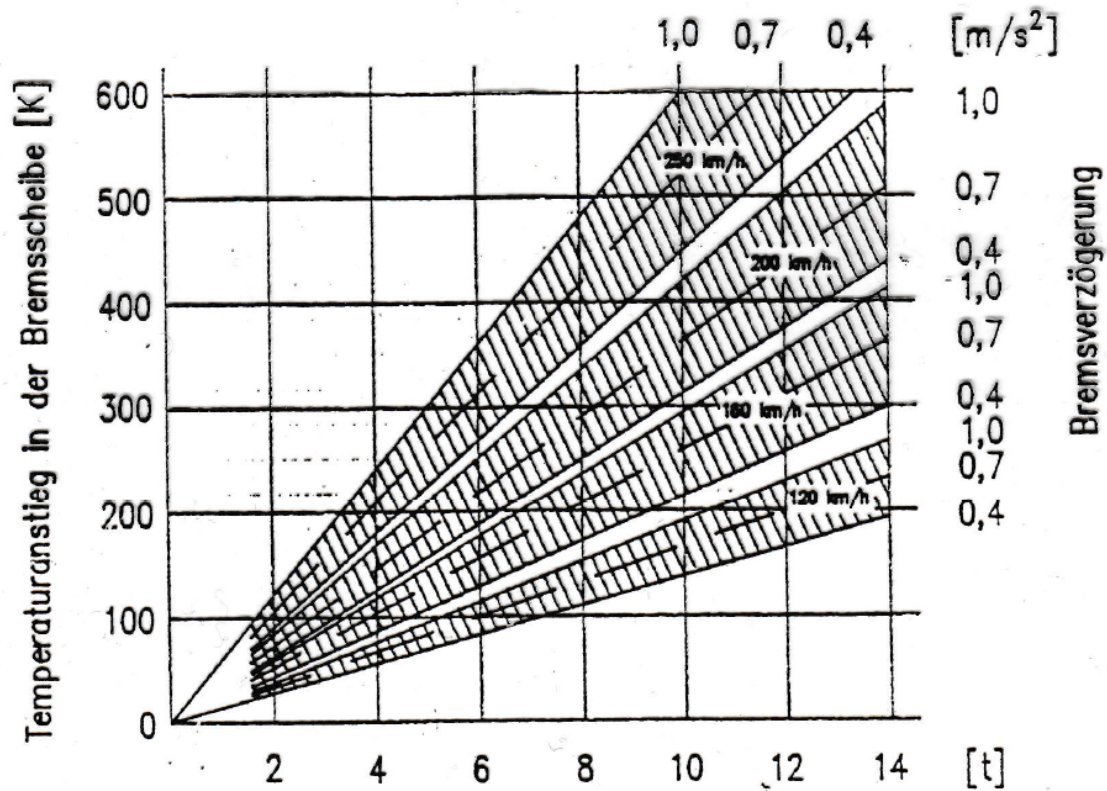
Thermische Gesichtspunkte der Leistungsgrenze der Beläge und Scheiben



- Entscheidendes Kriterium ist die Temperatur, die durch die zugeführte Wärmemenge charakterisiert wird.
- Rechenansatz eindimensionale Wärmeleitungsgleichung für eine Wärmeplatte, damit kann die Oberflächentemperatur unter vereinfachten Annahmen (glatte Oberflächen, Reibkörper ist unendlich dick, Vernachlässigung der Konvektion während der Bremsung, Wärmefluss nur senkrecht zur Reibfläche) für eine Stopp-Bremsung berechnet werden. Dabei Beachtung der Aufteilung der Wärmemengen auf Scheibe und Belag.
- Aus den Temperaturen können die Wärmespannungen in den Bremsringen berechnet werden und Aussagen zur Rissbildung auf den Scheiben gemacht werden.

5.6 Bremsbeläge und Reibwerte

Temperaturanstieg bei Haltbremsungen in einer
Wellenbremsscheibe 610 mm ϕ



Bremsproblem ist bei Reibungsbremsen ein Wärmeproblem

Entscheidendes Kriterium ist die Temperatur, die durch die zugeführte Wärmemenge charakterisiert wird

$$Q = \delta \cdot c_p \cdot m$$

Kompliziertes Rechenmodell, vereinfachter Lösungsansatz:

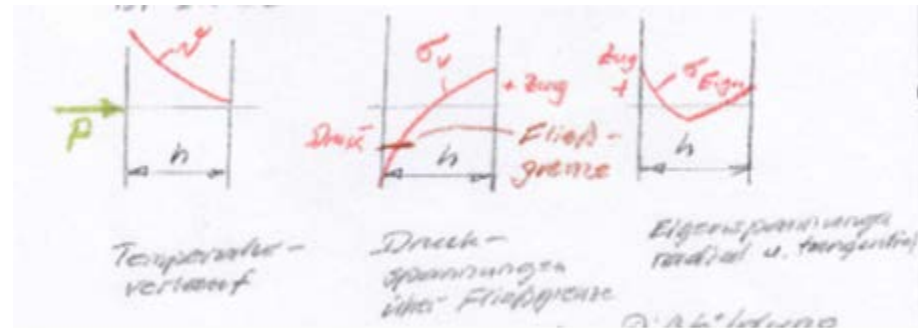
Platte auf der Grundlage eines ebenen Formänderungszustandes

- Reibkörper unendlich dick
- Glatte Auflagefläche
- Wärmefluss nur senkrecht zur Reibfläche
- Stopp-Bremung mit konstanter Verzögerung
- Vernachlässigung der Konvektion während der Bremszeit t_B

5.6 Bremsbeläge und Reibwerte

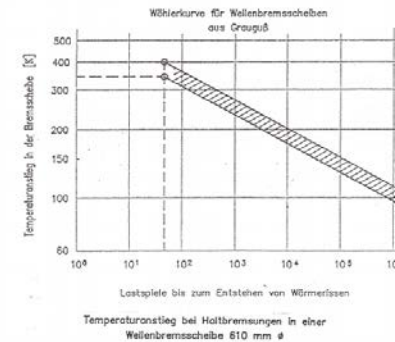
Wärmerisse

- Wärmespannungen entstehen durch große Temperaturunterschiede zwischen Reibfläche und den hinteren Bereichen des Reibringes
- An Reibfläche entstehen bei Stoppbremsungen hohe Druckspannungen Druckspannungen überschreiten die Fließgrenze des Werkstoffs
- Nach Erkalten entstehen Zugspannungen, die zur Rissbildung führen
- Besonders Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffes ist zu beachten



Vereinfachtes Modell der Rißbildung

- Bei ständiger Wiederholung der Stoppbremsungen tritt Materialermüdung ein (beachte Bremslastkollektiv
- Zusätzlich wirken Zentrifugal- und Reibungs- und Zugspannungen, die in der Umfangsrichtung wirken
- Risse breiten sich vorwiegend in radialer Richtung aus



Abschätzung Lebensdauer Bremsringe

- Betriebsfestigkeitsnachweis mit Wöhlerlinien notwendig (Ermüdungskurven)
- Leistungsgrenze der Bremsringe ist vom verwendeten Werkstoff und dem Einsatzspiegel der Schienenfahrzeuge abhängig

Dieter Jaenichen

- Tel.: +49 (0)351 463 36583
- Email : dieter.jaenichen@tu-dresden.de



»Wissen schafft Brücken.«