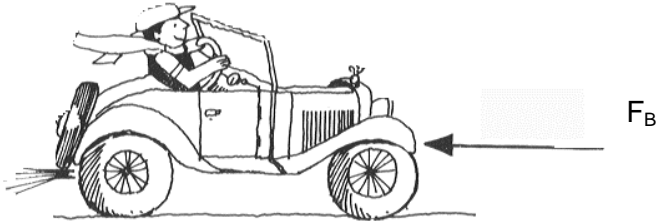




Bremsfibel

1 Was ist Bremsen

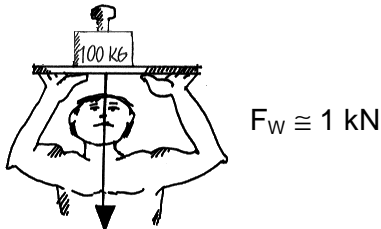
1.1 Die Bremskraft F_B :



Die Bremskraft F_B (F als Zeichen von englisch force: die Kraft) wird benötigt, um Fahrzeuge von höheren zu niedrigeren Geschwindigkeiten abzubremsen; sie wirkt immer der Bewegungsrichtung entgegen.

1.2 Die Maßeinheit der Bremskraft

Man misst Kräfte in der Einheit N (sprich: njuten, nach dem englischen Physiker Isaac Newton benannt).



➤ $F = 1000 \text{ N} = 1 \text{ kN}$

entspricht in etwa der Gewichtskraft F_W von 100 kg, die exakt 0,981 kN beträgt.

Bremsfibel

1.3 Verschiedene Bremsmöglichkeiten

Es gibt viele Arten, Fahrzeuge abzubremsen; die folgenden Abbildungen skizzieren einige davon.

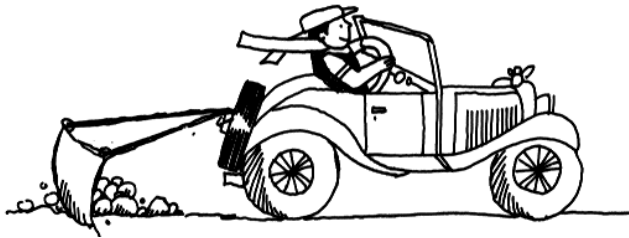
I schmerzhaft und ruinös



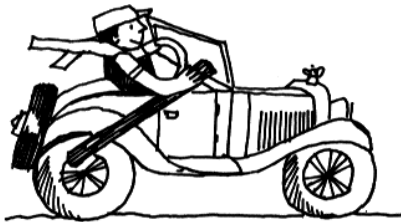
II geringe Bremswirkung



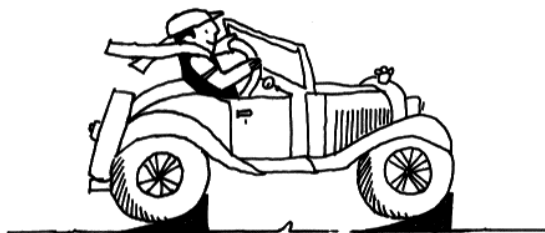
III rabiäte Straßenbehandlung



IV



V



Die Fälle IV und V weisen den richtigen Weg:
Abbremsen der Räder.

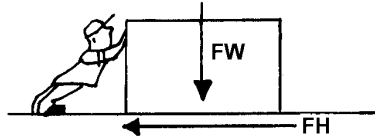
2 Wie wird gebremst?

2.1 Physik

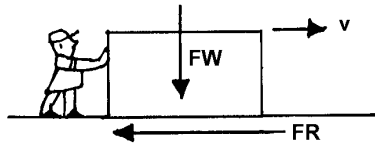
Einige grundlegende physikalische Beobachtungen:

I Die Haft(-reibungs)kraft F_H (Haften)

Geschwindigkeit
 $v = 0$



II Die Reibungskraft F_R (Rutschen)



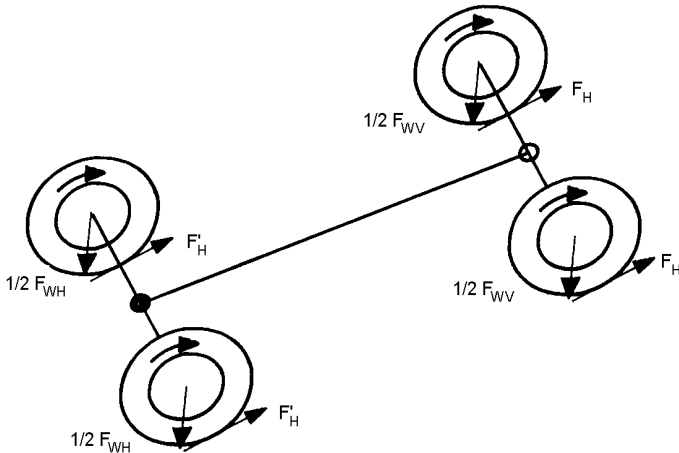
Es ist mehr Kraft nötig, um einen ruhenden Gegenstand in Bewegung zu versetzen, als ihn gleichförmig rutschend in Bewegung zu halten.

Haft- und Reibungskraft sind der Gewichtskraft des Körpers proportional und hängen von der Beschaffenheit der aufeinander haftenden bzw. rutschenden Materialflächen ab (u.a. Unebenheiten).

- $F_H = \mu_H \cdot F_W > F_R = \mu_R \cdot F_W$
(μ_H, μ_R : Haft- bzw. Reibungszahl)

2.2 Auftretende Haft- und Reibungskräfte beim Fahrzeug

Die Skizze gilt für eine nichtgebremste Vorwärtsfahrt, F_{WH} sei die Hinter- und F_{WV} die Vorderachslast.



Die Haft- und Reibungskräfte hängen für jedes Rad ab zum einen von dem jeweiligen auf dieses Rad wirkenden Anteil der Gewichtskraft des Fahrzeugs (im einfachsten Falle ist dies das Achsgewicht geteilt durch die Anzahl der sich auf der betreffenden Achse befindlichen Räder) und zum anderen von den jeweiligen Haft- bzw. Reibzahlen zwischen Rad und Unterlage.

Unterschiedliche Achslasten und unterschiedliche Rad-Unterlagenverhältnisse bewirken unterschiedliche Haft- und Reibungskräfte.

2.3 Fahren und Bremsen

Gut angetrieben und gebremst wird dann, wenn die im Fahrzeug erzeugten Antriebs- und Bremskräfte optimal auf die Unterlage - zumeist die Straße - übertragen werden.

Dies ist idealer Weise dann der Fall, wenn das Rad auf der Unterlage fest haftend abrollt und nicht auf der Unterlage rutscht. (Schlupf).

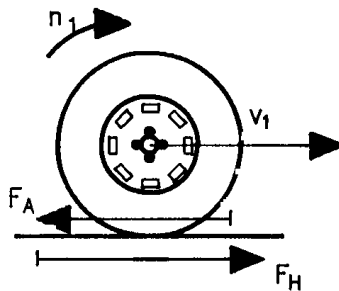
Rutschen bzw. Schlüpfen eines Rades tritt immer dann auf, wenn die Antriebs- bzw. Bremskraft, die an diesem Rad wirkt, größer als die Haftkraft wird.

Im Antriebsfall erfolgt ein Durchdrehen der Räder - der Kavaliertstart; im Bremsfall beginnt das Rad mehr oder weniger auf der Unterlage zu rutschen - es dreht sich weniger, als es dem zurückgelegten Bremsweg entspricht. Blockiert gar das Rad.

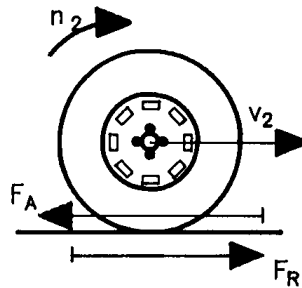
So wirkt nun nur noch die kleinere Reibungskraft und das kräftigere Greifen der Fahrzeugbremsen im Rad ist ohne Wirkung; zudem wird das Fahrverhalten unkontrollierbar.

I Antrieb (Antriebskraft F_A)

Rollen:



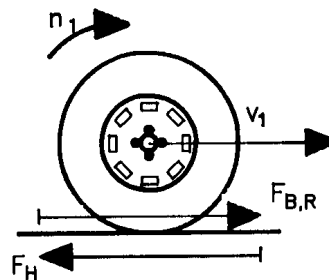
Schlupf (teilweise rutschen):



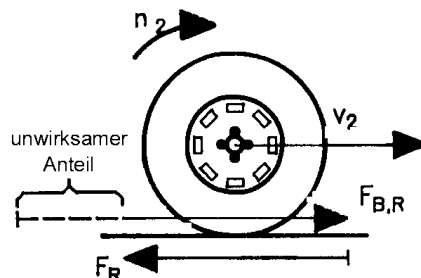
➤ n_1 kleiner als n_2 und v_1 größer als v_2 .

II Bremsen (Radbremskraft $F_{B,R}$)

Rollen:



Schlupf (teilweise rutschen):



Merke: Die Bremskraft $F_{B,R}$ an einem Rad kann nie größer als die Haftkraft zwischen Rad und Unterlage werden.

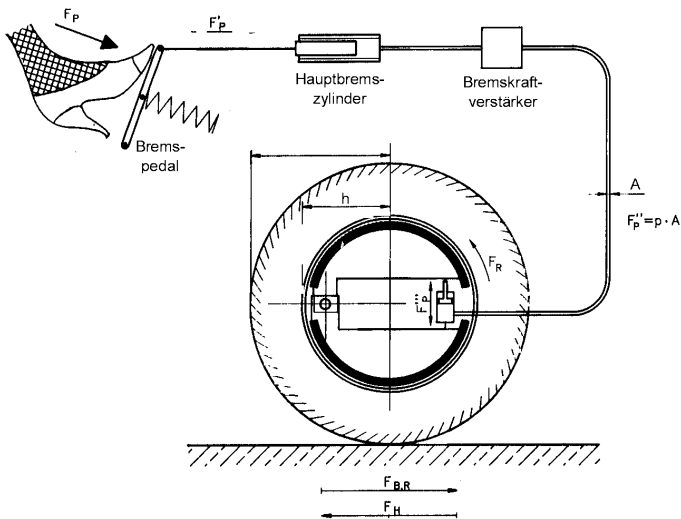
2.4 Aufbringen der Bremskraft

Die Bremskraft $F_{B,R}$ an der Radauflagefläche wird ausgelöst durch die am Bremspedal erzeugte Pedalkraft F_P , die mittels Hebeln und Hydraulik verstärkt als Druckkräfte F'_P an den Brems-scheiben (oder Bremstrommeln) ankommt, wo eine Reibungskraft F_R (an dieser Stelle darf kein Haften sein, da sonst das Rad blockiert) entsteht.

Das hierdurch bewirkte Drehmoment bezüglich der Radachse ($M = F_R \cdot h$) ist für das rollende, nicht schlüpfende Rad gleich dem Drehmoment $M = F_{B,R} \cdot r$ (r = Radius des Rades).

Es gilt

$$\rightarrow F_{B,R} = F_R \cdot \frac{h}{r} = f \cdot F_P \text{ mit } f = \text{Übertragungsfaktor.}$$

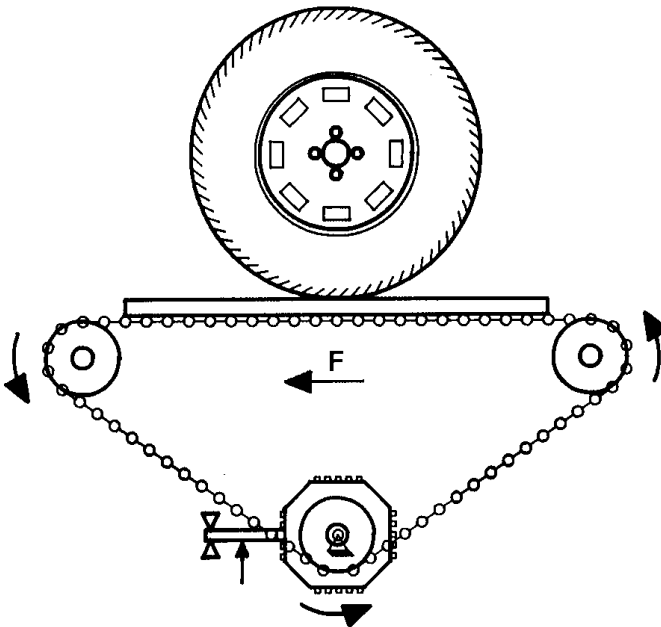


3 Wie werden Bremskräfte gemessen?

Es ist wichtig, dass die jeweiligen Bremskräfte der Räder derselben Achse gleich groß sind, um Schleudern zu vermeiden. Daher wird auf einem Bremsenprüfstand jedes Rad für sich allein gemessen.

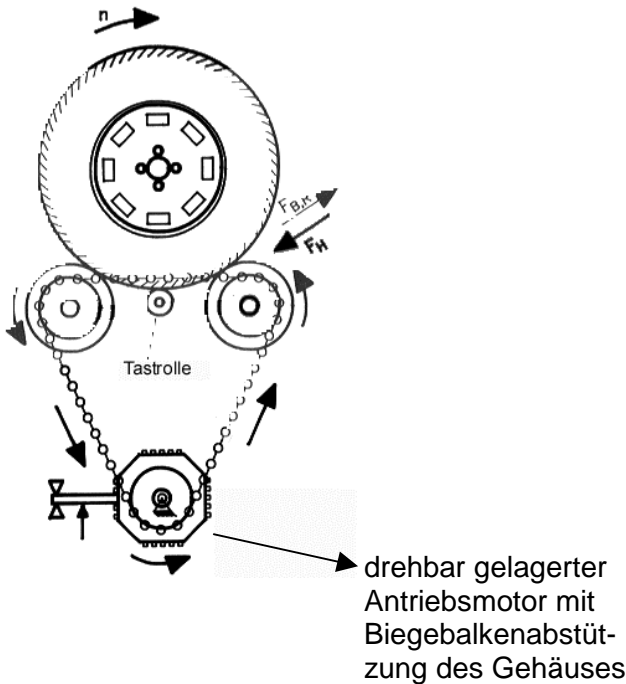
Hierzu stehen eine statische und eine dynamische Methode zu Verfügung.

3.1 Statische Prüfmethode



Bei der statischen Methode wird bei angezogener Bremse die Kraft bestimmt, die nötig ist, das auf einer Platte stehende Rad zu drehen.

3.2 Dynamische Prüfmethode

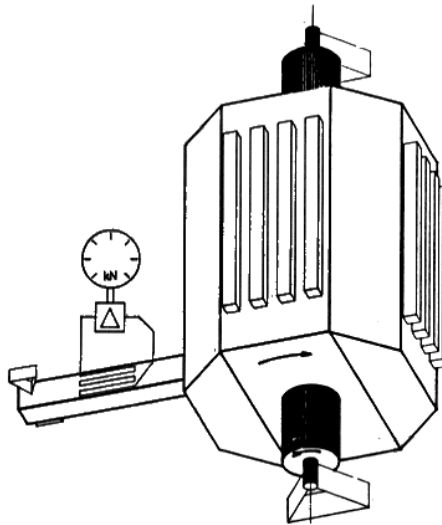


Bei der dynamischen Methode wird - praxisbezogener - das Rad durch motorgetriebene Rollen auf eine vorgebbare Drehzahl gebracht und dann abgebremst.

Eine Tastrolle misst direkt die Raddrehzahl. Aus dem Vergleich von Antriebs- mit Tastrollendrehzahl kann die Größe des Schlupfes bestimmt werden.

Ab einem Schlupf von etwa 30 % ergeben die Bremskraftmessungen keinen Sinn mehr. Außerdem wäre dann der Reifenverschleiß zu groß. Der Bremsversuch wird dann abgebrochen.

3.3 Das Messprinzip

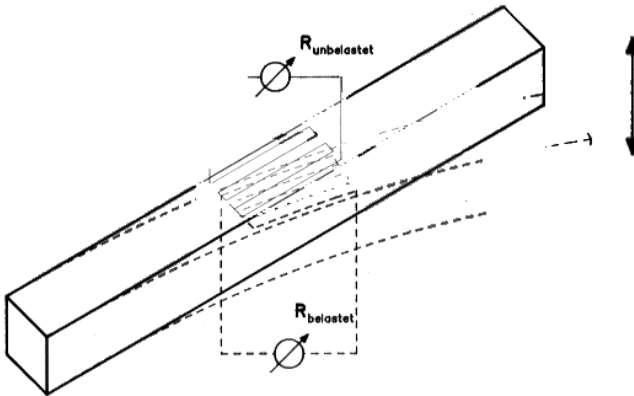


Das Messprinzip ist für beide Prüfmethode gleich. Der Antriebsmotor ist drehbar gelagert. Ohne weitere Lagerung würden sich nun bei Belastung die Antriebswelle und das Gehäuse je nach Kräfteverteilung gegensinnig drehen.

Diese weitere Lagerung besteht aus einem Balken, auf den sich das Gehäuse abstützt. Der stählerne Balken verbiegt sich nun entsprechend dem, vom Motor aufzubringenden Drehmoment, dem der Balken widerstehen muss.

Das Drehmoment ist zu Beginn der Bremsprüfung bei der statischen Methode Null und bei der dynamischen Methode gerade so groß wie nötig, um Antriebsrollen und Rad bei gelösten Bremsen zu bewegen.

3.4 Die Messsonde



Auf dem Biegebalken ist ein Dehnungsmessstreifen (DMS) aufgebracht, dessen stark längenabhängiger elektrischer Widerstand gemessen wird.

Dies ist ein sehr empfindliches Maß für die Biegung des Balkens und somit auch für das in jeder Phase des Bremsversuchs aufgebrachte Drehmoment, das sich leicht elektronisch in die Bremskraft zwischen Rad und Unterlage umwandeln und anzeigen lässt.

4 Messergebnisse und Auswertungen eines Bremsprüfstandes

4.1 Verzögerung allgemein

Die Verzögerung ist ein Maß dafür, wie schnell die Geschwindigkeit eines Fahrzeuges reduziert wird, also in welcher Zeit sich die Geschwindigkeit wie stark reduziert. In Formelzeichen kann dies so formuliert werden :

$$\triangleright a = \frac{v}{t} \text{ in m/s}^2$$

wobei v die Geschwindigkeitsänderung und t die verbrauchte Zeit darstellen.

Beispiel:

Ein Fahrzeug wird in 5 Sekunden von 20 m/s (= 72 km/h) zum Stillstand gebracht. Es ergibt sich eine Verzögerung von 4 m/s².

4.2 Verzögerungsermittlung auf Rollenbremsprüfständen

In vielen Ländern müssen Fahrzeuge, je nach Kategorie, ein Mindestmaß an Verzögerung erreichen. Da eine Verzögerungsmessung auf der Straße zu aufwendig ist, werden dafür meist Rollenbremsprüfstände verwendet.

Wird diese Mindestabbremsung nicht erreicht, so darf das Fahrzeug nicht mehr im Straßenverkehr eingesetzt werden.

Auf dem Rollenbremsprüfstand kann man die Bremskraft und (bei vorhandener Wiegemöglichkeit) auch das Gewicht der Räder/Achse messen.

Bremsfibel

Nimmt man die maximal erreichte Bremskraft in Bezug auf das Gewicht, so erhält man ebenfalls die Verzögerung des Fahrzeuges. Die Formel dafür sieht folgendermaßen aus :

$$\text{➤ } a = \frac{FB}{G} \text{ in m/s}^2$$

Beispiel:

Die vier Räder eines PKW erreichen bei der Bremsprüfung insgesamt 8000 Newton Bremskraft, das Fahrzeuggewicht beträgt 1600 kg. Es ergibt sich eine Verzögerung von 5 m/s².

Oftmals wird die Verzögerung auch als prozentualer Wert der Erdbeschleunigung von 9,81 m/s² dargestellt. Für obiges Beispiel ergibt sich dann 50,97 % prozentuale Verzögerung.

4.3 Reibbeiwert

Die maximal erreichbare Bremskraft hängt direkt vom Reibbeiwert μ zwischen Reifen und Untergrund sowie der Kraft mit der das Rad auf den Boden gedrückt wird (Normalkraft) ab. Dabei gilt folgende Formel :

$$\text{➤ } FB = \mu \cdot FN$$

In der Natur ergeben sich z.B. folgende Reibbeiwerte zu durchschnittlichen Reifengummimischungen :

- Beton trocken: ~0,7
- Asphalt trocken: ~0,6
- Schnee: ~0,2
- Glatteis nass: ~0,01 - 0,1

Rollenbremsprüfstände haben i.d.R. Oberflächenstrukturen, die Beton- oder Asphaltreibwerte nachbilden, also bei ca. 0,7 liegen.

4.4 Bremskraftdifferenz

Wenn eine der beiden Bremsen einer Achse weniger Wirkung hat als die andere, entsteht eine einseitige Bremswirkung, die als Bremskraftdifferenz oder -ungleichheit bezeichnet wird.

Wenn die Differenz zu hoch wird, neigt das Fahrzeug dazu in die Richtung der stärker bremsenden Seite auszubrechen. Daher wird ein Fahrzeug verkehrsunsicher, sobald ein Grenzwert überschritten wird.

In vielen Ländern wird die Differenz als Prozentwert des gemessenen Bremskraftunterschiedes bezogen auf die höhere der beiden Bremskräfte ausgewiesen. Dieser wird meist so berechnet:

$$\text{➤ Differenz (\%)} = \frac{\text{FB (höher)} - \text{FB (niedriger)}}{\text{FB (höher)}}$$

Beispiel:

Das linke Rad hat eine Bremskraft von 2 kN. Am rechten Rad werden im gleichen Moment 3 kN gemessen. Die Differenz ergibt sich zu 33 %.

Da die Differenz immer von den aktuell geltenden Bremskräften ermittelt wird, kann es zu starken Schwankungen des Wertes dann kommen, wenn z.B. die Bremstrommeln (Scheiben) eine starke Unrundheit (Ovalität) aufweisen.

Schwankt z.B. die gemessene Bremskraft eines Rades bei konstanter Bremspedalstellung aufgrund einer Unrundheit zwischen 2 kN und 3 kN während das andere Rad eine konstante Bremskraft von 2 kN erreicht, so schwankt die Differenz zwischen 0 % und 33 %. Dieser Einfluss ist beim Messen von Bremskraftdifferenzen auf jeden Fall zu beachten, da es u.U. zu unterschiedlichen Ergebnissen bei wiederholten Messungen führen kann.

4.5 Unrundheit (Ovalität)

Wie unter 4.4 beschrieben, können Bremsen unrund wirken. Zur Messung der Unrundheit wird das Pedal bei gewünschtem Messpunkt ruhig gehalten. Eigentlich sollten dann auch die Anzeigewerte des Prüfstandes einen konstanten Bremswert anzeigen. Bei unrunder Bremsen ist jedoch eine schwankende Anzeige festzustellen.

Die Unrundheit kann nun aus der Differenz des höchsten aufgetretenen Bremswertes und des niedrigsten aufgetretenen Bremswertes während der Unrundheitsermittlung ermittelt werden.

Beispiel:

Der Messwert einer Radbremse schwankt bei konstanter Bremspedalstellung zwischen 1,9 kN und 2,2 kN. Die Unrundheit ergibt sich zu 0,3 kN.

Zur Ermittlung eines prozentualen Unrundheitswertes wird oft die Unrundheit auf den maximalen Bremskraftwert bezogen.

Beispiel:

Obige Bremse erreicht einen maximalen Bremskraftwert von 3 kN. Die prozentuale Unrundheit beträgt in diesem Fall 10 %.

Je nach Gesetzgebung werden Fahrzeuge oftmals ab einem bestimmten Unrundheitswert nicht mehr zum Verkehr zugelassen.



MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG.

D-87490 Haldenwang (Allgäu) · Hoyen 20

Fon +49 (0) 8374 / 585-0 · Fax +49 (0) 8374 / 585-499

Internet www.maha.de · E-Mail maha@maha.de