

# NORMAL-, REIBKRAFT UND REIBWERT AM BEISPIEL BREMSE

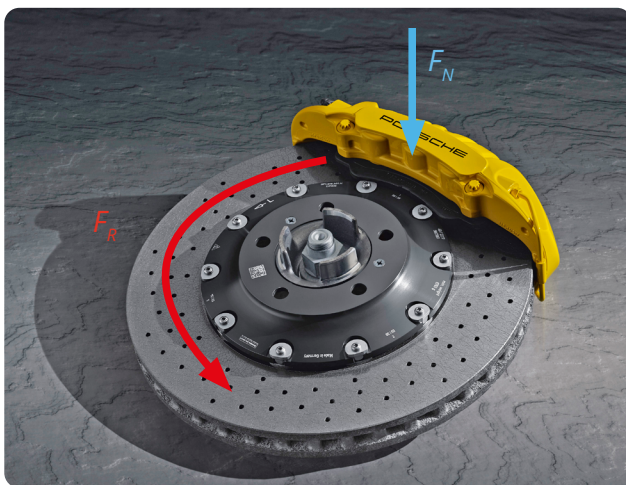


Beim Bremsvorgang wirken enorm hohe Kräfte und wandeln die Bewegungsenergie des Fahrzeuges in Wärmeenergie um. Ermöglicht wird dies durch das Anpressen der Bremsbeläge an die Bremsscheibe und der daraus resultierenden Reibkraft. Dadurch entsteht ein Bremsmoment.

Wenn ein Supersportwagen aus der Höchstgeschwindigkeit maximal brems, wird sehr viel Bewegungsenergie an den Radbremsen in Wärmeenergie umgewandelt. Dabei werden mittlere Bremsleistungen von bis zu 800 kW realisiert. Um solch hohe Bremsleistungen zu beherrschen, muss die Bremse optimal gekühlt werden und die Werkstoffe für die hohen Temperaturen von über 700 °C ausgelegt sein. Carbon-Keramik-Bremsscheiben gehören zu den thermisch sehr hoch beanspruchbaren Bremsen. Sie können kurzzeitig über 1000 °C aushalten. In der Formel 1 sind Temperaturen kurzzeitig von über 1200 °C möglich.

## Durch Reibung entsteht Wärme

Die hohe Energieumwandlung zwischen dem Bremsbelag und dem Reibpartner Bremsscheibe oder Trommel garantiert also kurze Bremswege. Das Anpressen der Beläge an eine Bremsscheibe erfolgt durch Umwandlung des Bremsdruckes  $p$  in bar in den Leitungen (bis zu 200 bar) am Bremskolben in eine Kraft  $F$  in N. Diese Anpresskraft wird in der Physik als Normalkraft bezeichnet und mit dem Formelzeichen  $F_N$  definiert. Je mehr Kolbenfläche an den Bremsätteln zur Verfügung steht, desto mehr Normalkraft kann erzeugt werden. Deshalb werden entweder grosse Kolben verbaut (wenn der Platz vorhanden ist) oder viele kleinere Kolben im Bremsattel eingesetzt. Die Umwandlung des Druckes in die Normalkraft wird durch die Formel  $F_N = p \times A$  beschrieben. Je höher der Hydraulikdruck in der Bremsflüssigkeit und je mehr Bremsattelkolbenfläche zur Verfügung steht, desto

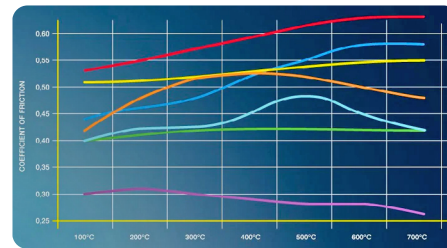


Beim Bremsvorgang wird die Normalkraft  $F_N$  durch Reibung zwischen Bremsbelag und Bremsscheibe in eine Reibkraft umgewandelt. Je höher der Reibwert, desto mehr Umwandlung der Normalkraft in die Reibkraft ist, desto mehr Bremskraft kann erzeugt werden.

höher ist die Normalkraft. Die ist der Grund, warum bei Sportwagen Festsattelbremsanlagen mit bis zu 10 Bremskolben (5 pro Seite) verbaut werden.

## «Wirkungsgrad» der Kraftumwandlung

Die Reibkraft entsteht also durch Anpressen der Bremsbeläge auf die Scheibe. Doch wie viel Kraft von der Normalkraft in Reibkraft umgewandelt werden kann, hängt von der Materialpaarung, der Oberflächenbeschaffenheit (raue oder glatte Oberfläche) und ob ein Schmiermittel vorhanden ist oder nicht (bei Bremsen sind



Der Reibwert ist temperaturabhängig. Die Hersteller von Bremsen bieten deshalb verschiedene Materialien an, die auf das Einsatzgebiet des Fahrzeuges abgestimmt sind.

dies vorab Verschmutzung, Wasser oder Flugrost auf der Bremsscheibe) ab. Diese wird im Reibwert festgelegt. Der Reibwert ist definiert mit dem griechischen Buchstaben  $\mu$  (ausgesprochen mü, Buchstabe My). Die Formel  $\mu = F_R : F_N$  zeigt auf, dass zwei Kräfte durch Division miteinander ins Verhältnis gesetzt werden. Darum weist der Reibwert  $\mu$  keine Einheit auf. Wenn sich aus der Division die Zahl 1 ergibt, bedeutet dies, dass die komplette Normalkraft  $F_N$  (Anpresskraft der Bremsbeläge) in Reibkraft  $F_R$  (Reibkraft am Umfang des Reibringes der Scheibe) umgewandelt wird. Dies entspräche einem Wirkungsgrad von 1 oder 100%.

Technisch lässt sich dies nicht realisieren. Serien-Bremsbeläge und -scheiben weisen in der Regel Reibwerte von 0,3 bis 0,4 auf. Das bedeutet, dass rund ein Drittel der Anpresskraft auch in Reibkraft und damit Bremskraft umgewandelt wird. Dafür lässt sich die Bremskraft aber auch sanft und stufenlos durch Betätigen des Bremspedals dosieren. Bei Sportbremsen ist der Reibwert höher und liegt zwischen 0,6 und 0,7. Also können zwei Drittel der Anpresskraft der Beläge auf der Scheibe als Reibkraft umgewandelt werden. Sportbremsen sind dadurch aggressiver (rascher Bremskraftaufbau, schwierige Dosierbarkeit) und für den Serieneinsatz auf der Strasse weniger zu empfehlen.

Je höher der Reibwert, desto grösser ist grundsätzlich der Abrieb und damit die Entstehung von Bremsstaub. Nur ein weicher Belag kann viel Reibkraft erzeugen (Beispiel Renn- versus Seriensommerreifen). Dass sich gleichzeitig die Standzeiten verkürzen, liegt auf der Hand. Die Bremsbeläge und -scheiben müssen deshalb beispielsweise bei 24-Stunden-Rennen periodisch in der Box von den Schrauberprofis gewechselt werden.

## Bremsstaub wird ab Euro-7-Norm limitiert

Aktuell sind die Automobilhersteller und -zulieferer in der Entwicklung gefordert: Ab dem Jahr 2026 wird die neue Schadstoffemissionsnorm Euro 7 in Kraft gesetzt. Diese limitiert nicht nur die Emissionen von Verbrennungsmotoren, sondern setzt auch Grenzen beim Reifen- und Bremsabrieb. Durch neuartige Materialpaarungen und sogar Filter- oder Absaugsysteme wird versucht, den Bremsstaub zu minimieren und die Vorgaben einzuhalten.

Eine Reibbremse sorgt bei allen Fahrzeugen für die Umwandlung von Bewegungsenergie (kinetische Energie) in Wärmeenergie. Dabei wird ein Bremsbelag mittels Normalkraft  $F_N$  auf eine Bremsscheibe oder -trommel gepresst, um eine Reibkraft  $F_R$  zu erzeugen. Durch die Reibung wird die Energieumwandlung umgesetzt. Der Reibwert  $\mu$  zwischen den Reibpartner gibt an, wie wirkungsvoll die Umsetzung der Kraft ist.

# NORMAL-, REIBKRAFT UND REIBWERT AM BEISPIEL BREMSE

## Fragen zum MechaniXsheet - Der Check!

- 1. Welche Energieformen werden bei Reibbremsen umgewandelt? Erklären Sie in ein paar Sätzen.**
  
- 2. Fahrzeugbremsen arbeiten mit der physikalischen Formel  $F_R = F_N \times \mu$ . Erklären Sie die Formelzeichen und ergänzen Sie, welche Grösse an welchem Fahrzeugbauteil wirkt**
  
- 3. Nennen Sie drei Einflussgrössen, welche die Höhe des Reibwertes beeinflussen? Welche dieser drei Grössen kann in der Werkstatt direkt beeinflusst werden?**
  
- 4. Warum werden bei Serienfahrzeugen nicht Rennsportbremsen mit doppelt so hohen Reibwerten verbaut?**