

# Webseite von Johannes Strommer

Rechner >> Basics Mechanik >> [Haftreibungszahlen](#)

## Haftreibungszahlen für Schiene & Straße

Diese Seite beschäftigt sich mit den Haftreibungszahlen für ein Stahlrad auf einer Stahlschiene (Eisenbahn) sowie für einen Gummireifen auf Asphalt (Straßenfahrzeuge) bei verschiedenen Bedingungen. Zudem findet man Informationen, wie sich der Reibungskoeffizient mit zunehmender Geschwindigkeit bzw. bei einer Kurvenfahrt ändert. Am Anfang wird auch kurz auf technische Einrichtungen in Fahrzeugen wie ABS und ASR eingegangen.

### Inhaltsverzeichnis

- Gleitreibungs- und Haftreibungsbeiwerte: [Einführung](#)
  - [Recht weit verbreitete Irrtümer](#)
- Haftreibungszahlen für die **Eisenbahn**: [Rad auf Eisenbahnschiene](#) (Haftreibung Stahl - Stahl)
  - [Geschwindigkeitsabhängiger Haftreibungsbeiwert](#) nach Curtius-Kniffler
  - Beispiele für [Haftreibungskoeffizienten beim Anfahren](#)
  - Beispiele für [Haftreibungszahlen beim Befahren von Rampen](#)
- Haftreibungszahlen für die **Straße**: [KFZ-Reifen auf fester Fahrbahn](#)
  - Zur Verfügung stehende [Haftreibungszahl in Kurven beim Bremsen](#) - Kammscher Kreis

## Haft- und Gleitreibungszahlen - Einführung

Bei den in den Tabellen angegebenen Werten handelt es sich immer nur um Richtwerte, da die Haftreibungszahl  $\mu_H$  und die Gleitreibungszahl  $\mu_G$  neben der Materialpaarung auch von

der Geschwindigkeit, der Werkstoffoberfläche, der Normalkraft, der Aufstandsfläche, der Luftfeuchte und der Temperatur abhängen.

Es gilt immer, dass die ***Gleitreibungszahl etwas kleiner als die Haftreibungszahl*** ist. Deshalb gibt es bei Schienenfahrzeugen den sogenannten *Gleitschutz*. Er bewirkt, dass die Räder beim Bremsen nicht blockieren und dann auf der Schiene entlang gleiten. Mit dem Gleitschutz kann somit der Bremsweg verkürzt werden, außerdem verhindert er sogenannte Flachstellen auf den Rädern. Der Gleitschutz funktioniert ähnlich wie das *ABS (Antiblockiersystem)* beim Auto. Bei Kraftfahrzeugen sorgt das ABS zudem dafür, dass das Fahrzeug beschränkt lenkfähig bleibt.

Weiters sind die meisten Schienenfahrzeuge mit einem *Schleuderschutz* ausgestattet. Als Schleudern bezeichnet man das Durchdrehen der Räder bei zu schnellem Beschleunigen, das heißt, die Antriebskräfte übersteigen die Haftreibungskraft. Beim Auto wird dieses Problem mit Hilfe der sogenannten *Antriebsschlupfregelung (ASR)* gelöst.

Die Haftreibungszahlen spielen bei fast allen meinen Rechnern eine wichtige Rolle:

- [Leistungs- und Zugkraftrechner](#)
- [Anhalte- und Bremswegrechner](#)
- [Rechner für die zulässige Geschwindigkeit in Kurven](#)

## Recht weit verbreitete Irrtümer

- Die Haftreibungszahl ist stets kleiner gleich 1: Zum Beispiel hat Silikonkautschuk, aber auch besonders weiche Gummireifen, einen Haftreibungsbeiwert größer als eins!
- Schwere Fahrzeuge (z. B. LKW) haben einen längeren Bremsweg als leichtere: Die Haftreibungszahl hängt nur relativ wenig von der Radlast ab, daher bestimmt in erster Linie die Leistungsfähigkeit der Bremsen den Anhalteweg. Bei guten Bremsen wird der LKW demnach in etwa denselben Bremsweg haben wie ein PKW. Natürlich hat ein Zug einen wesentlich größeren Bremsweg als ein PKW, aber der Haftreibungsbeiwert zwischen Eisenbahnrad und Schiene ist viel kleiner wie die Haftung zwischen Gummireifen und Asphalt.

## Haftreibungszahlen für ein Stahlrad auf einer Stahlschiene

Die folgenden beiden Tabellen geben die Haftreibungszahlen  $\mu_H$  - auch Haftreibungskoeffizient oder Haftreibungsbeiwert genannt - für ein Stahlrad auf einer Stahlschiene bei verschiedenen Schienenzuständen an. Aus diesen Tabellen wird ersichtlich, dass die Haftreibungszahlen je nach Schienenzustand **stark streuen**.

Bei nassen Schienen ist der Haftreibungskoeffizient um ca. 30 % kleiner als auf trockenen Gleisen. In diesem Fall kann bei Bedarf gesandet werden. Es gilt zudem, dass der Haftreibungsbeiwert  $\mu_H$

- mit steigender Radlast abnimmt.
- mit größerem Raddurchmesser zunimmt.
- mit steigender Geschwindigkeit abnimmt - siehe dazu auch das folgende Kapitel.

Zusätzlich ist zu beachten, dass vor allem in engen Kurven aufgrund des verstärkt auftretenden Schlupfes die übertragbare Kraft in Längsrichtung kleiner wird.

Schienenzustand	Haftreibungszahl $\mu_H$
Laborbedingungen	bis 0.8 (extrem sauber, Vakuum)
trocken	0.15 - 0.35
nass	0.10 - 0.25
sehr schlechte Bedingungen (z. B. Ölfilm, Laub, Staub, Eis)	0.05 - 0.10
Schienenkopfschmierung mit HeadLub® (Firma Igralub)	0.20
<b>Alle Werte gelten für den Reibungskoeffizienten Stahl auf Stahl!</b>	

Betriebssituation	Haftreibungszahl $\mu_H$
Anfahren - sehr gute Bedingungen (trocken, sauber)	bis 0.45
Anfahren - nass	bis 0.30
Befahren von Rampen (konstante Geschwindigkeit)	0.23
Bremsberechnung	0.1
Bremsen im Nahverkehr	< 0.16
<b>Alle Werte gelten für den Reibungskoeffizienten Stahl auf Stahl!</b>	

**Anmerkung:** Räder aus Gusseisen (zum Beispiel oft bei Spur 5- Dampfloks verwendet) sind unter den meisten Bedingungen ungünstiger als Stahlräder, da man hier die Werte für die Haftreibungskoeffizienten für Stahl auf Stahl ungefähr halbieren muss.

## Geschwindigkeitsabhängige Haftreibungszahl nach Curtius-Kniffler

Wie schon vorhin erwähnt, nimmt der Haftreibungsbeiwert mit steigender Geschwindigkeit ab. Für die **Auslegung von Antrieben** wird daher die folgende Formel verwendet, mit der die Haftreibungszahl in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit berechnet werden kann:

$$\mu_H = \frac{7.5}{V+44} + 0.161$$

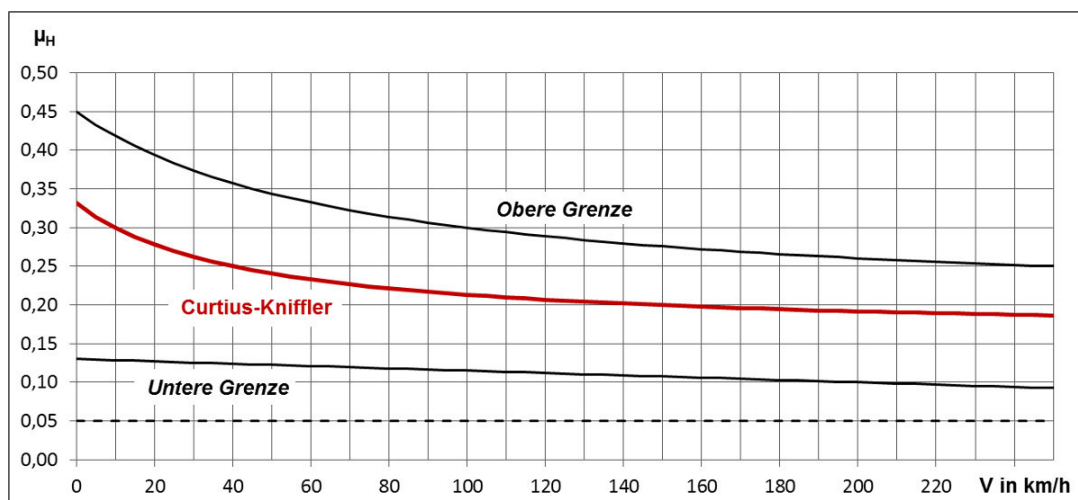
### Curtius-Kniffler Formel

$\mu_H$  Haftreibungskoeffizient

$V$  Geschwindigkeit in km/h

Das folgende Diagramm zeigt den Haftreibungsbeiwert in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, berechnet mit der Formel von Curtius-Kniffler. Zusätzlich sind die obere und die untere Grenze für alle Schienenzustände eingezeichnet. Im Extremfall - wie zum Beispiel bei öligen oder mit nassem Laub bedeckten Schienen - kann  $\mu_H$  jedoch auch Werte bis zu 0.05 annehmen.

Bei modernen Triebfahrzeugen (Einzelachsantrieb, keine Zugkraftsprünge beim Anfahren) liegen die erreichbaren Haftreibungszahlen etwas über der Curtius-Kniffler Kurve.



## Haftreibungszahl $\mu_H$ in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit $V$ in km/h (Curtius-Kniffler Diagramm)

### Beispiele für Haftreibungsbeiwerte beim Anfahren

Den zum Anfahren erforderlichen Haftreibungskoeffizienten berechnet man wie folgt:

$$\mu_H = \text{Anfahrzugkraft} / (g * \text{Lokmasse})$$

Lokomotive (ÖBB)	Anfahrzugkraft	Masse	Erforderliche Haftreibungszahl $\mu_H$
1016 bzw. 1116 (Taurus)	300 kN	86 t	0.36
1044 bzw. 1144	327 kN	84 t	0.40
2016 (Herkules)	235 kN	80 t	0.30
2043	196 kN	68 t	0.29

### Beispiele für Haftreibungszahlen beim Befahren von Rampen

Die in der Tabelle angeführten Haftreibungsbeiwerte  $\mu_H$  gelten für die **Semmeringbahn** unter den folgenden Voraussetzungen:

- Die *Steigung* beträgt 25 ‰.
- Die *Geschwindigkeit* wird mit **konstant** 50 km/h angenommen.
- Die Bögen haben Kurvenradien von nur 190 m, der *Krümmungswiderstand* beträgt hier etwa 2 ‰. Da in den Bögen die Steigung jedoch geringer ist, wird dieser Widerstand nicht berücksichtigt.

Lokomotive (ÖBB)	Maximale Anhängelast laut Belastungstafel	Benötigte Haftreibungszahl $\mu_H$
1116 (Taurus)	650 t	0.23
1144	600 t	0.22

# Haftreibungszahlen für einen KFZ-Reifen auf fester Fahrbahn

In der nächsten Tabelle findet man die Haftreibungszahlen für einen Gummireifen bei verschiedenen Straßenzuständen.

Folgendes ist bei der Auswahl des richtigen Wertes zu beachten:

- Bei einer Reibung zwischen Gummi und Straßenoberfläche tritt immer auch eine **Verzahnung** auf - abhängig vor allem von der Aufstandsfläche, der Normalkraft und der Temperatur - daher handelt es sich hier bei näherer Betrachtung eigentlich um keine Coulombsche Reibung.
- Der Haftreibungskoeffizient hängt neben dem Fahrbahnzustand auch von der verwendeten **Gummimischung** ab. Weiche Reifen haben generell eine bessere Haftung, dafür besitzen sie einen größeren Rollwiderstand und nützen sich schneller ab. Das gilt zum Beispiel auch für Reifen, die im Motorsport verwendet werden: sie erreichen Werte größer 1.5, zudem kann durch verschiedene Maßnahmen der Anpressdruck um ein Vielfaches gesteigert werden.
- Bei **Kopfsteinpflaster** ist die Haftung stets etwas kleiner wie auf Beton bzw. Asphalt, das heißt, man muss in der Tabelle die kleineren Werte verwenden.

Straßenzustand	Haftreibungszahl $\mu_H$
trocken	0.7 - 1 (Im Motorsport sind Werte über 1.5 möglich, zudem wird durch diverse Maßnahmen ein höherer Anpressdruck erreicht)
nass, aber kein Aquaplaning	0.4 - 0.6
nasses Laub, Schnee	0.2 - 0.3
bei Eis	~ 0.1

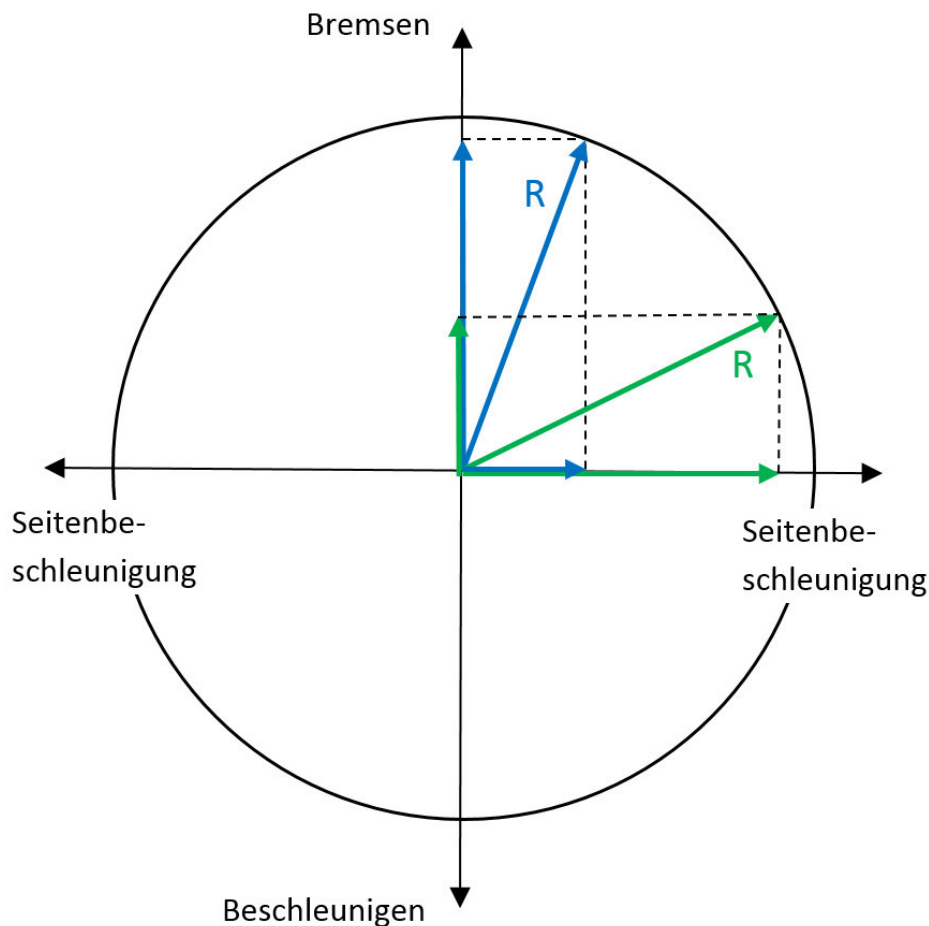
Wie aus der oberen Tabelle ersichtlich ist, wird der Haftreibungsbeiwert auf einer nassen Straße um rund 40 % kleiner. Bei einer Eisfahrbahn beträgt die Haftung nur mehr rund ein Zehntel des Wertes wie auf einer trockenen Fahrbahn!

Ob Aquaplaning auftritt, hängt hauptsächlich von der Fahrgeschwindigkeit, der Profiltiefe des Reifens und der Wassertiefe auf der Fahrbahn ab.

## Zur Verfügung stehender Haftreibungskoeffizient in Kurven beim Bremsen - Kammscher Kreis

Wenn man mit einem Fahrzeug in eine Kurve fährt, kann man weniger stark Bremsen bzw. Beschleunigen als in einem geraden Straßenabschnitt. Dieser Umstand wird anhand des nächsten Bildes ersichtlich, das den sogenannten **Kammschen Kreis** zeigt.

Zu beachten ist jedoch, dass der Kammsche Kreis nur ein idealisiertes Modell des vorliegenden Problems darstellt: Ein Reifen kann beispielsweise in Längsrichtung größere Kräfte wie in Querrichtung übertragen.



### Haftreibungszahl in Kurven beim Bremsen bzw. Beschleunigen (Kammscher Kreis)

In der Skizze sind zwei Beispiele eingezeichnet:

- Variante 1 (blau): Geringe Seitenbeschleunigung aufgrund einer weiten Kurve oder einer langsamen Geschwindigkeit - es steht folglich viel Kraft für das Bremsen bzw. Beschleunigen zur Verfügung.

- Variante 2 (grün): Hohe [Seitenbeschleunigung](#) wegen einer engen Kurve oder einer großen Geschwindigkeit - für ein Verzögern bzw. Beschleunigen bleibt nur mehr wenig Kraft übrig.

Im Extremfall kann eine der beiden Komponenten auch Null werden: Das bedeutet, dass man nur mehr geradeaus fahren bzw. überhaupt nicht mehr bremsen kann.

Der Radius des Kreises hängt vom Straßenzustand und von der Gummimischung des Autoreifens ab; bei einer trockenen Fahrbahn ist der Radius zum Beispiel viel größer wie auf einer Schneefahrbahn.

Größer als  $\mu_H$  mal Radaufstandskraft - diese Kraft entspricht genau dem Radius des Kammschen Kreises - kann die resultierende Kraft  $R$ , die zwischen Pneuereifen und Straße übertragen werden muss, niemals werden. Wird die Kraft überschritten, kommt es zu folgenden Erscheinungen:

- Schieben oder Schleudern des Fahrzeuges in Kurven.
- Durchdrehen der Antriebsräder bei zu schnellem Beschleunigen.



Aufgrund des Lehrsatz des Pythagoras ergibt sich der folgende Zusammenhang:

$$(\mu_H \cdot \text{Radaufstandskraft})^2 = R^2 = (F_{\text{Seitenbeschleunigung}})^2 + (F_{\text{Bremsen}})^2$$

Anders angeschrieben:  $\mu_H^2 = \mu_q^2 + \mu_a^2$

$\mu_H$  Von den Fahrbahnbedingungen abhängige Haftreibungszahl zwischen Rad und Straße

$\mu_q$  Haftreibungszahl, die für die Kurvenfahrt aufgrund der Seitenbeschleunigung benötigt

$\mu_a$  Haftreibungszahl, die für das Bremsen bzw. Beschleunigen gebraucht wird.

Durch Umformen erhält man somit:

$$\mu_q = \sqrt{\mu_H^2 - \mu_a^2} \quad \mu_a = \sqrt{\mu_H^2 - \mu_q^2}$$



## Zur Verfügung stehende Haftreibungszahlen

Den Haftreibungskoeffizienten  $\mu_H$  entnimmt man der [oberen Tabelle](#). Mit dem [Bremswegrechner](#) wird  $\mu_a$  ermittelt,  $\mu_q$  bekommt man mit Hilfe des [Rechners zur Bestimmung der Geschwindigkeit in Kurven](#).

### Beispiel:

Es seien  $\mu_H$  0.8 und  $\mu_q$  0.6. Somit bleibt für das Bremsen nur mehr ein  $\mu_a$  von 0.53 übrig!

[Zurück](#)

[Zugkraft und Leistung](#)

[Geschwindigkeit in Kurven](#)

[Bremsweg. Beschleunigung. Geschwindigkeit](#)



**Tipp:** Nutzen Sie auch die  
Tastenkombination "Strg + F"!

- 
- >> [Kontaktformular](#)
  - >> [Gästebuch](#)
  - >> [Umfrage zur Homepage](#)
  - >> [Video: Beheben der Kurvengeräusche](#)

(HeadLub®)

---

## Neuigkeiten

23.09.2016

Dropdown-Menü angepasst.

22.09.2016

Neue Bilder ergänzt: [Güterwagen in 5 Zoll](#), [Schienenflanken-Schmieranlage](#) und mein [Hund](#).

16.09.2016

Seite zur [U4 Modernisierung](#) fertiggestellt.

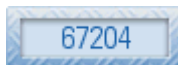
24.08.2016

Strecken in der [Karte von \(ehemaligen\) Straßenbahnlinien](#) in Wien ergänzt.

Ältere Einträge siehe [Historie](#)



Besucher seit Nov. 2013:



[Diagramme mit Besuchern/Tag](#)

*Max. Besucher pro Tag:*

208 (Mo., 17.10.2016)

*Homepage online seit:*

Ende Oktober 2013

---

[Impressum](#) | [Datenschutz](#) | [Sitemap](#)

© Dipl.-Ing. Strommer Johannes 2013-2016

