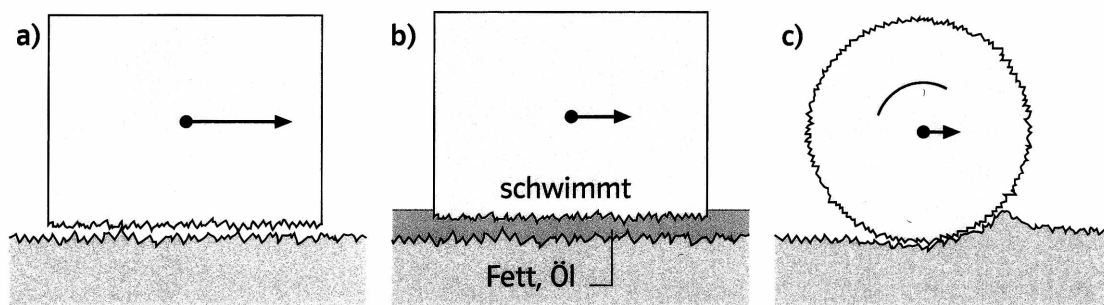


## 17 Reibungskräfte

Bei Glatteis dürfen die Schuhsohlen nicht zu „rutschig“ sein. Beim Verschieben eines schweren Schrankes muß man kräftig zupacken, der Schrank scheint am Boden zu „kleben“. In beiden Fällen wirken Reibungskräfte zwischen den sich berührenden Gegenständen. Sie bremsen oder verhindern eine Bewegung. Wird an einem ruhenden Gegenstand mit einer langsam von null an wachsenden Kraft gezogen, so bleibt er zunächst noch in Ruhe, er haftet an der Unterlage. Der Zugkraft wirkt die Reibungskraft entgegen. Schliesslich überwindet die Zugkraft diese Reibungskraft und der Gegenstand setzt mit einem Ruck in Bewegung.

Doch was ist der physikalische Grund der Reibung? Reiben zwei Körper aneinander, so verhaken sich Unebenheiten der reibenden Flächen (→ Abb. a). Die Reibungskraft steigt, je rauher und härter die Oberfläche der sich berührenden Körper ist. Beim Gleiten werden diese Unebenheiten unelastisch verformt oder teilweise abgerissen und es entstehen neue Stellen, die sich verhaken können. Allmählich schleifen sich so die Oberflächen ab.



Gleitreibung (a); Reibung an Flüssigkeit (b); Rollreibung (c)

Bewegt sich ein Körper auf einer Flüssigkeit, so ist die Reibungskraft sehr klein (→ Abb. b). Die Flüssigkeit ist in Bewegungsrichtung nicht starr und bremst daher die Bewegung nur wenig. Deshalb werden Achslager mit einer Flüssigkeit geschmiert. Diese Flüssigkeit muß zäh genug sein, damit sie nicht davonfließt. Ähnlich leicht gegeneinander beweglich sind zwei Körper, wenn sich zwischen ihnen Rollen oder Kugeln drehen (→ Abb. c). Eine Kugellager macht sich diese Eigenschaften zu nutze.

Reibung ist manchmal erwünscht und manchmal unerwünscht! Ohne Reibung hält kein Nagel in der Wand. Es gäbe keine Knoten und das Stricken eines Pullovers wäre unmöglich. Reibung ist auch zum Gehen nötig – wie man beim Glatteis feststellen kann (fehlende Reibungskräfte!). In den Bremsen von Fahrzeugen wirken große Reibungskräfte. Dazu werden die Bremsbeläge gegen Brems Scheiben oder Bremstrommeln gepresst. Die Räder üben dann auf die Fahrbahn eine Kraft in Fahrtrichtung aus; die Fahrbahn über ihrerseits eine Kraft in entgegengesetzter Richtung aus (3. Newton Axiom!), also bremsend, auf das Fahrzeug aus. Solange sich die berührenden Flächen von Rad und Fahrbahn nicht gegeneinander bewegen, wirkt die Haftreibung. Blockieren die Räder, so wirkt die noch kleinere Gleitreibung. Die Bremswirkung wird dann geringer. Seit längerer Zeit wird daher in Auto das Antiblockiersystem (ABS) eingesetzt. Es verhindert zum einen, daß die Räder nicht zu rutschen beginnen (die Reibungskraft und somit die Bremswirkung wäre beim Rutschen kleiner), und zum anderen, daß das Auto lenkfähig bleibt.

## 17.1 Gleitreibung

In den folgenden 5 min geht es darum, daß du experimentell versuchst herauszufinden, von welchen Faktoren die Gleitreibungskraft abhängt. Halte auch Faktoren fest, welche die Gleitreibungskraft nicht (oder fast nicht) beeinflussen.

Die Gleitreibungskraft ist abhängig von: •

•

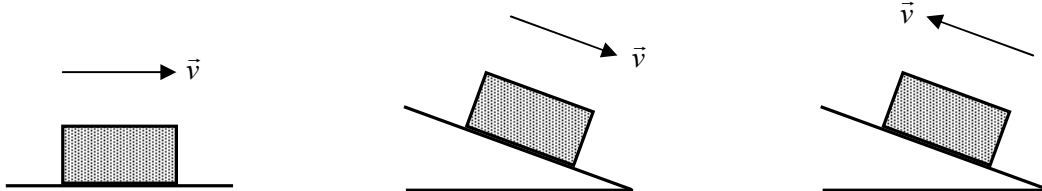
Die Gleitreibungskraft ist nicht abhängig von: •

•

Die Gleitreibungskraft berechnet sich daher nach folgender Formel:

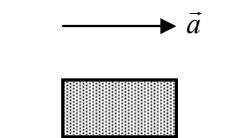
Die Gleitreibungskraft wirkt immer der Bewegungsrichtung entgegen!

Bsp.: Zeichne die wirkenden Kräfte ein

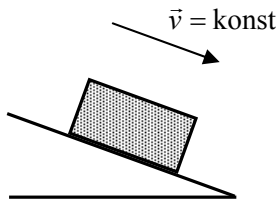


### Aufgaben

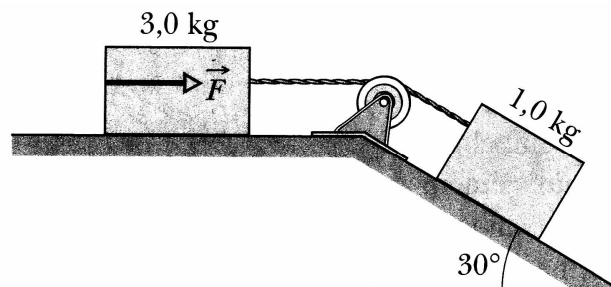
1. Eine Schlittschuhläuferin ( $m = 52 \text{ kg}$ ) bewegt sich auf Eis ( $\mu_G = 0.20$ ). Wie groß ist die bewegungshemmende Gleitreibungskraft?
2. Stefan möchte eine Kiste ( $m = 30 \text{ kg}$ ) über eine horizontale Ebene ziehen ( $\mu_G = 0.30$ ). Damit die Kiste in Bewegung kommt, beschleunigt er sie mit einer Zugkraft von  $F = 150 \text{ N}$ . Welche Beschleunigung erfährt die Kiste?



3. Eine Kiste ( $m = 150 \text{ kg}$ ) gleitet mit konstanter Geschwindigkeit eine schiefe Ebene ( $\alpha = 25^\circ$ ) herunter. Wie groß ist die Gleitreibungskraft? Welchen Wert hat der Gleitreibungskoeffizient?



4. Zwei Kisten sind durch ein Seil miteinander verbunden. Der rechte Klotz ( $m_2 = 1.0 \text{ kg}$ ) rutscht den Hang herunter und zieht dadurch den anderen ( $m_1 = 3.0 \text{ kg}$ ) mit. Der Gleitreibungskoeffizient zwischen den beiden Klötzen und der Fläche beträgt  $\mu_G = 0.050$ .
- Zeichne alle wirkenden Kräfte sauber ein.
  - Wie groß ist die Beschleunigung beider Klötze?
  - Mit welcher Kraft wird das Seil während dem Rutschen beansprucht?



## 17.2 Haftreibung

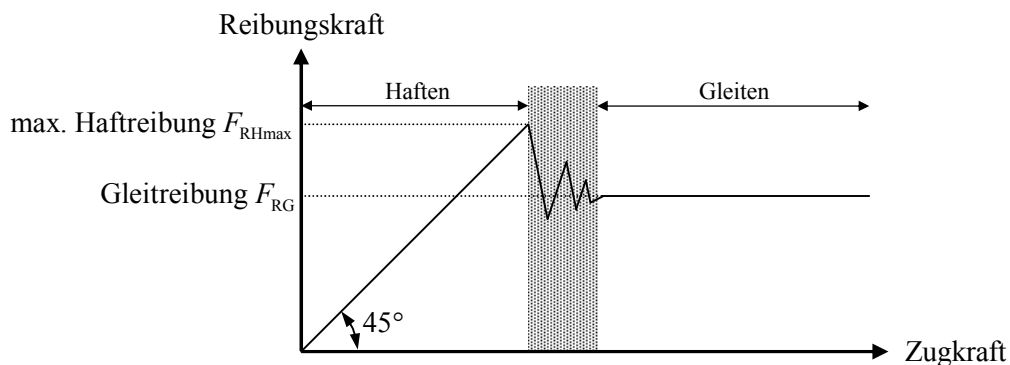
Wir ziehen vorsichtig mit einem Kraftmesser an einem Klotz. Der Klotz bewegt sich nicht. Die an ihm – und damit am Tisch – angreifende Kraft wird größer, aber in gleichem Masse wächst auch die Haftreibungskraft  $F_{RH}$  zwischen Klotz und Tischplatte, welche den Klotz zurückhält. Sie erreicht bald ihren grösst möglichen Wert, wir nennen sie dann die maximale Haftreibungskraft  $F_{RHmax}$ . Ziehen wir noch etwas stärker, so beginnt der Klotz zu gleiten. Dabei wird die Reibungskraft kleiner und geht von der Haftreibung in die Gleitreibung über.

Die Haftreibungskraft  $F_{RH}$  kann jeden Wert zwischen 0 und einem maximalen Wert  $F_{RHmax}$  annehmen:

Die maximale Haftreibung ist direkt berechenbar:

Durch das langsame Anheben einer schiefen Ebene kann die maximale Haftreibung, resp. der Haftreibungskoeffizient einfach bestimmt werden. Dazu müssen wir den maximalen Neigungswinkel der Ebene bestimmen, bei welcher der platzierte Klotz gerade noch knapp haftet. In dieser Situation erreicht nämlich die Haftreibung gerade ihr Maximum  $F_{RHmax}$ .

Der Kräfteverlauf beim Anschieben einer Kiste sieht ungefähr so aus (Achsen gleich skaliert):



Materialien	$\mu_H$	$\mu_G$
Stahl auf Stahl	0.15	0.1
Blech auf Stahl	0.5	0.4
Kupfer auf Gusseisen	1.1	0.3
Glas auf Glas	0.9	0.4
Teflon auf Teflon	0.04	0.04
Teflon auf Stahl	0.04	0.02
Gummi auf Beton (trocken)	1.0	0.8
Gummi auf Beton (nass)	0.3	0.25
Gewachster Ski auf Schnee (0°C)	0.1	0.05

## Aufgaben

1. Du möchtest in deinem Zimmer einen Kleiderschrank ( $m = 50 \text{ kg}$ ) verschieben. Die Haftreibungszahl zwischen dem Schrank und dem Boden beträgt  $\mu_H = 0.50$ , die Gleitreibungszahl ist  $\mu_G = 0.30$ .
  - a) Welche Kraft mußt du zu Beginn mindestens aufwenden?
  - b) Mit welcher Kraft mußt du danach schieben, damit sich der Schrank mit konstanter Geschwindigkeit bewegt?
  
2. Ein PKW ( $m = 1500 \text{ kg}$ ) fährt mit  $v = 90 \text{ km/h}$  auf einer horizontalen trockenen Asphaltstrasse ( $\mu_H = 0.60$ ,  $\mu_G = 0.30$ ). Der Fahrer muß plötzlich bremsen.
  - a) Wie groß ist die maximale Bremskraft?
  - b) Wie groß ist die maximale Bremsbeschleunigung?
  - c) Nach welcher (minimalen) Zeit seit Bremsbeginn kommt der PKW zum Stehen?
  - d) Wie groß ist die Bremsbeschleunigung, falls die Räder blockiert sind?
  
3. Eine schwere Kiste ( $m = 300 \text{ kg}$ ) befindet sich auf einer schiefen Ebene ( $\alpha = 35^\circ$ ).
  - a) Wie groß müßte der Haftreibungskoeffizient minimal sein, damit die Kiste in Ruhe bleibt?
  - b) Die Kiste gleitet nun ( $\mu_G = 0.30$ ). Welche Beschleunigung erfährt sie?