

Die Haftkraft

Ist die Haftreibung eine Reibung oder eine Kraft?

**Ein Versuchsteil aus einem
Schul-Physik-Praktikum**

**Nils Malescha
Marcel Poesselt
Thomas Stenzel**

Theorie zum Versuch

Haftreibungskoeffizient / Haftkraftkoeffizient

Wenn man unter Reibung die relative Bewegung zweier Körper gegeneinander versteht, die mit einer gewissen Kraft aneinander gedrückt werden, müsste man bei der Haftreibung von Haftkraft sprechen. Beim Haftreibungskoeffizienten dürfen sich die Körper per Definition nicht gegeneinander bewegen, da es sich sonst um Gleitreibung handeln würde, ist dieses Phänomen treffender weise als **Haftkraft** zu bezeichnen. Für die Messung des Haftkraftkoeffizienten muss man also die maximale Haftkraft zweier Oberflächen ermitteln.

Ein weiteres Anzeichen für eine Kraft (anstatt einer Reibung) ist, dass im Bereich der Haftkraft keine Energie umgewandelt wird (z.B. in Wärme).

Haftkraftkoeffizient

Der Haftkraftkoeffizient wird gebildet aus der Kraft die benötigt wird, um einen Gegenstand in Bewegung zu versetzen und der Anpresskraft des Gegenstandes auf den Untergrund (dabei ist die Größe der Fläche nicht von Bedeutung)

Bestimmung des Haftkraftkoeffizienten mit der Schiefen-Ebene

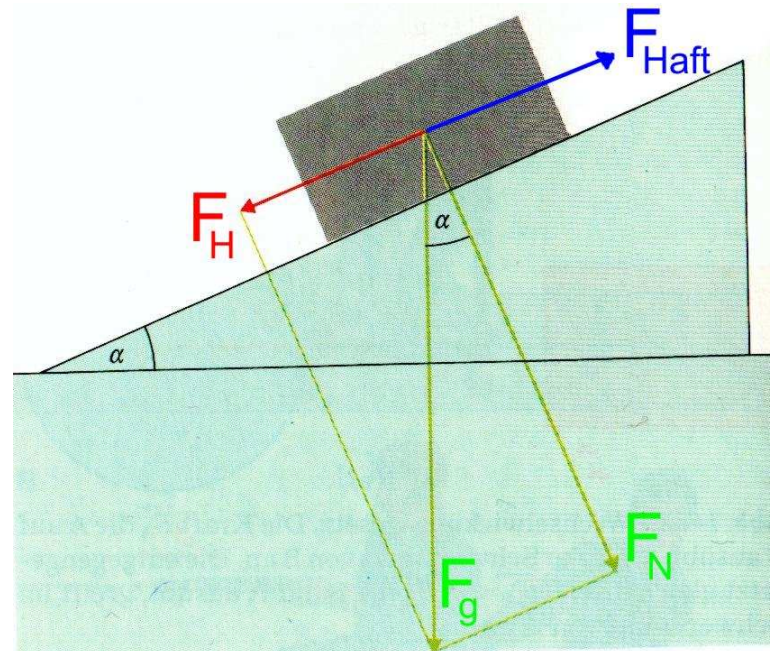
Wenn der Testkörper anfängt zu rutschen ist die Hangabtriebskraft genau so groß wie die maximale Haftkraft. F_H/F_N entspricht somit dem Haftkraftkoeffizienten.

$$F_g = m * g$$

$$F_H = m * g * \sin \alpha$$

$$F_N = m * g * \cos \alpha$$

$$\frac{F_H}{F_N} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha \Rightarrow f_H = \tan \alpha$$



Der Haftkraftkoeffizient lässt sich an der Schiefen-Ebene mit dem $\tan \alpha$ berechnen. Beim Winkel α wird die Haftkraft überwunden und der Testkörper beginnt zu rutschen.

Verwendete Materialien:

Eine Schiefe Ebene (mit Winkelmesser)
Mehrere gleiche Quader
Aluminium Schuhe für die Quader
Federkraftmesser
Waage

Das Versuchprotokoll:

Zuerst wurde zur „besseren“ Messung bzw. besseren didaktischen Darstellung die Messskala der Schiefen-Ebene (Winkelmessung) so umgebaut, dass das Führungsholz der Schiefen-Ebene nicht mehr vor dem „Experiment“ stand. Die Schüler sollten so einen „freien“ Blick auf die Messskala und das Experiment haben. Des Weiteren haben wir die Aufhängung der Schiefen-Ebene so geändert, dass die Ebene über einen Seilzug angehoben werden kann. Dies birgt die Vorteile des möglichst erschütterungsfreien Anhebens der Ebene und des schnellen Fixierens bei der Messung (der Zeitpunkt an dem die Haftkraft überwunden wurde). Die Oberfläche der Schiefen-Ebene (Lackiertes Holz) wurde trocken gereinigt (auch nach jedem Versuch).

Es wurden zwei Messungen durchgeführt:

Messung der Haftkraft mit Hilfe der Schiefen-Ebene.
eines Federkraftmessers.

An der Schiefen-Ebene sollte die Ermittlung des Haftkraftkoeffizienten gezeigt werden.

Die Messungen mit dem Federkraftmesser sollen die Unabhängigkeit von Fläche und Gewicht in Bezug auf den Haftkraftkoeffizienten zeigen.

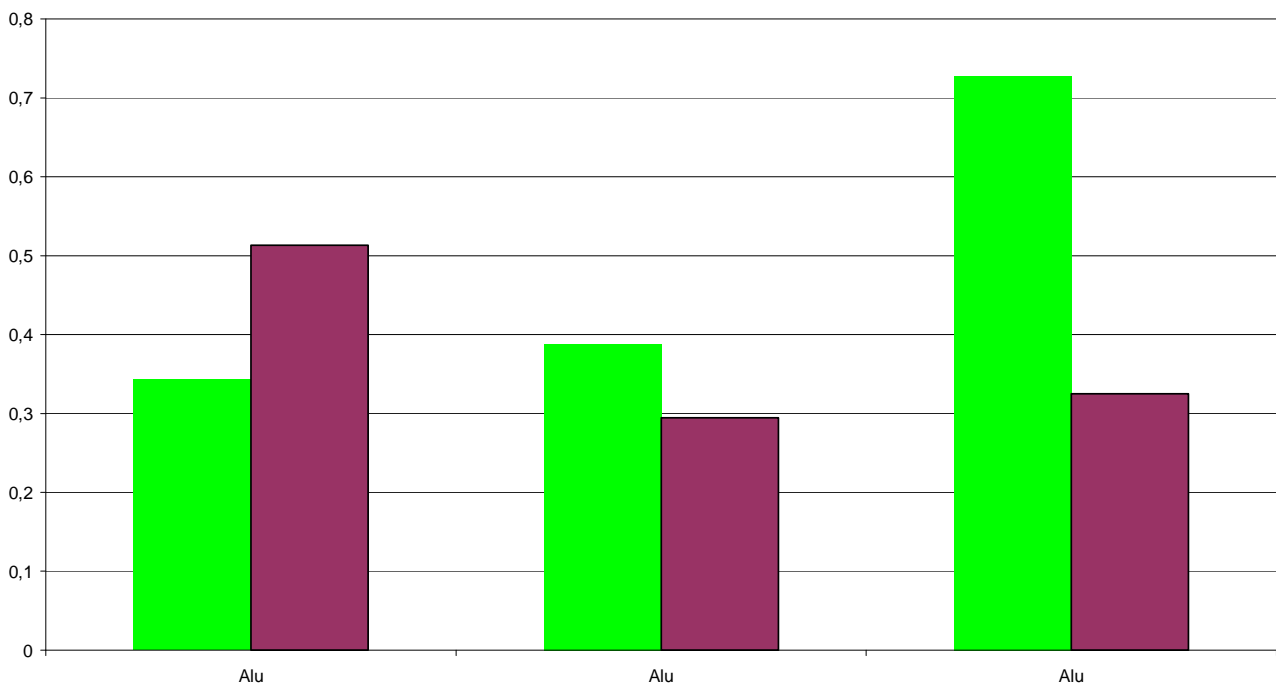
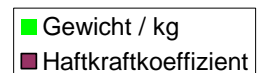
Schiefe-Ebene

Der Testquader wurde mit einem Aluminiumschuh versehen und auf die Schiefe-Ebene gestellt. Diese wurde solange angehoben, bis der Quader mit dem Aluminiumschuh begann die Schiefe-Ebene herab zu rutschen. Der Winkel zwischen Ebene und der Waagerechten wurde abgelesen. Der Versuch wurde fünf Mal wiederholt und über die Winkel (Grad) gemittelt.

Material	Alu	Alu	Alu
Gewicht / kg	0,343	0,388	0,728
Winkel (über 5 Messungen gemittelt)	27,17	16,40	18,00
Haftkoeffizient	0,51	0,29	0,32

Haftkoeffizient

- konstante Fläche
- variables Gewicht



Bei den beiden ersten Messungen wurde das Gewicht fast konstant gehalten und zur dritten Messung fast verdoppelt. Die Fläche war bei allen drei Messungen konstant.

Mit einem anderen Testquader mit vier unterschiedlichen Oberflächen (Zewatuch, Stoff, Schmirgelpapier, Gummi) wurde der Versuch wiederholt. Die Auflagefläche und das Gewicht blieben dabei konstant.

Material	Zewa (weiß)	Stoff (Rot)	Schmiergel	Gummi
<i>Gewicht / kg</i>	0,299	0,299	0,299	0,299
<i>Winkel (über 5 Messungen gemittelt)</i>	25,50	25,67	29,33	55,00
Haftkoeffizient	0,48	0,48	0,56	1,19

Unabhängigkeit des Haftkoeffizienten vom Gewicht und Fläche

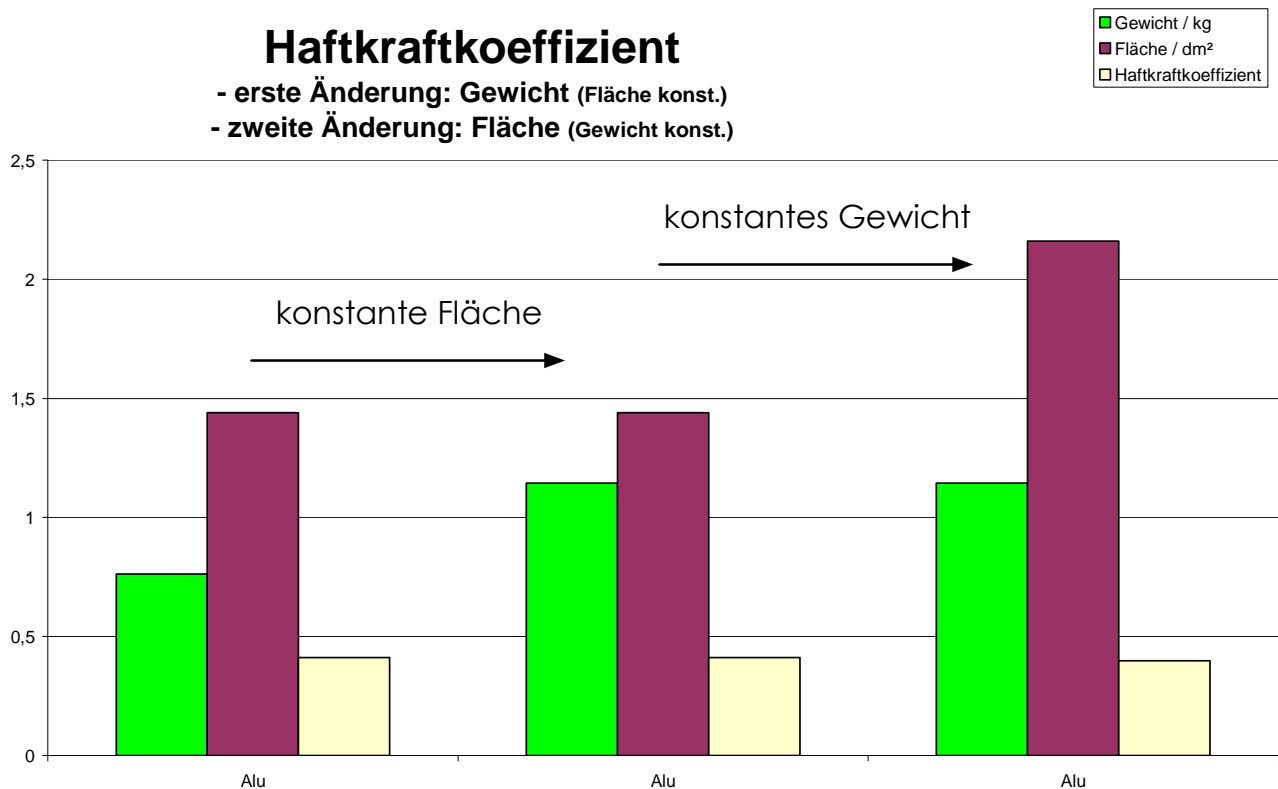
Auf einen oder mehrere Testquader wurde mit einem Federkraftmesser eine Zugkraft ausgeübt, bis diese dem Federkraftmesser folgten. Die maximal gemessene Haftreibungskraft wurde aufgenommen. Auch diese Messungen wurden fünf mal wiederholt und gemittelt.

In der ersten Versuchsreihe wurde die Fläche konstant gehalten und nur das Gewicht erhöht. Dies wurde dadurch erreicht, dass mehrere Quader aufeinander gestapelt worden sind. Es sollte gezeigt werden, dass die Haftkraft zu der Anzahl der Quader proportional ist und der Haftkoeffizient somit konstant ist.

Material	Alu	Alu	Alu	Alu
<i>Gewicht / kg</i>	0,343	0,384	0,757	1,145
<i>Fläche / dm²</i>	0,72	0,72	0,72	0,72
<i>Kraftmittel / N</i>	1,12	1,23	2,58	4,80
Haftreibungskoeffizient	0,33	0,32	0,34	0,42

In einer zweiten Versuchsreihe wurde einmal die Fläche und einmal das Gewicht konstant gehalten.

Material	Alu	Alu	Alu
Gewicht / kg	0,762	1,145	1,145
Fläche / dm ²	1,44	1,44	2,16
Kraftmittel / N	3,14	4,72	4,56
Haftreibungskoeffizient	0,41	0,41	0,40



Zum Schluss wurde der Testquader mit den vier verschiedenen Oberflächen getestet (hierbei wurden nur drei aufgenommen).

Material	Zewa(weiß)	Stoff (rot)	Schmiergel
Gewicht / kg	0,299	0,299	0,299
Fläche / dm ²	0,72	0,72	0,72
Kraftmittel / N	1,18	1,36	1,27
Haftkoeffizient	0,40	0,45	0,42

Fazit

Die Haftkraft lässt sich mittels Schiefer-Ebene leicht messen. Zwar haben wir in den Versuchen Streuung bis zu 37% festgestellt, diese lassen sich aber auf 5% reduzieren, wenn man gleichmäßige Oberflächen verwendet. Das lackierte Holz gehört sicher nicht zu den gleichmäßig verarbeiteten Naturprodukten und ist durch seine Lebensdauer (als Schiefe-Ebene in der Physiksammlung) und der daraus resultierender Benutzung verkratzt. In der Präsentation des Versuches haben wir als Unterlage ein frisches weißes Blattpapier verwendet (dieses wurde auf das Holz der Schiefen-Ebene geklebt) und kamen auf Wiederholungsfehler unter 5%. Da es für die unterschiedlichsten Materialien keine Literaturwerte gibt, muss man den Fehler in der Messung anhand der Wiederholungsgenauigkeit abschätzen.

Problematisch erwies sich auch, dass geringste Erschütterungen die Messungen verfälschen (besonders bei der Schiefen-Ebene).

Möglichkeiten des Versuches im Unterricht

Der Versuch eignet sich hervorragend als Schülerversuch, da hier die Kräfte erlebt werden können – von jedem Schüler. Im einfachsten Fall werden Holzquader oder andere Gegenstände mit gleichmäßiger Oberfläche, z.B. Verpackungsmaterial (Rocher), und gut zu vermessenden Fläche verwendet. Sind genügend Kraftmesser vorhanden, so steht einer größeren Versuchreihe nichts im Wege und man kann einen Wettbewerb ausschreiben, indem die Schüler mit Hilfe des Kraftmessers die Haftkraft von einem Gegenstand auf einem Untergrund ermitteln müssen. Die Problematik an dem Kraftmesser ist, dass wenn die Haftkraft überwunden wurde, die maximale Kraft im Nachhinein nicht abgelesen werden kann. Die Schüler müssen also ein ruhiges Händchen, sowie eine absolute auf das Experiment gerichtete Aufmerksamkeit aufweisen (zumindest in der Zeit des Experimentes). Die Ergebnisse werden dann später an der Schiefen-Ebene kontrolliert. Die Schülergruppe gewinnt, deren Wert am geringsten von der vorhergesagten Gradzahl abweicht (wann der Gegenstand anfängt zu rutschen). Natürlich muss der Fairness halber auf die Wiederholungsgenauigkeit des Versuches hingewiesen werden, die nicht be-rauschend ist.

Bezug zu den Lehrplänen und Wissensvoraussetzungen der Schüler

Auf dem Gymnasium in Klasse 7 kann der Versuch präsentiert werden und danach als Schülerversuch für die gesamte Klasse durchgeführt werden. Sind die Winkel-funktionen nicht bekannt, so kann man sie als gottgegeben hinstellen und das Er-gebnis mit dem Kraftmesser Versuch vergleichen.

Verbesserungen

Problematisch ist bei der Auswertung die Wahl des richtigen Diagramms (und ob überhaupt ein Diagramm von Nöten ist). X-Y Diagramme sind nicht das Allheilmittel der Darstellung, da man hierbei (wie bei dem Diagramm auf Seite 6) mehrere Wer-te einander zuordnen muss und mit anderen „Datenpaketen“ vergleichen muss. Die Herabsetzung der Informationsdichte in einem Diagramm ist sicherlich von gro-ßer Wichtigkeit für das schnelle Verständnis des dargestellten Inhaltes.

Ich habe die Balkendiagramm (hier im Bericht nur noch zwei kleine) verwendet um eine je-desto Aussage zu verdeutlichen. Zwar sind die Aussagen aus den Messwer-ten des Schiefen-Ebenen Versuches nicht gerade einheitlich. Aber gerade hierbei kann der Fehler des nicht genormten Untergrundes besprochen werden. Die bes-seren Ergebnisse beim Kraftmesser sind nicht systematisch, sondern im Versuch rein zufällig. Beim Schiefe-Ebenen Versuch wurde der Quader immer wieder neu auf-gesetzt – hingegen beim Kraftmesser wurde der Quader nachdem er wieder zu Ruhe gekommen ist von dieser Position aus neu vermessen. Dies hat offenbar ein gleichmäßiges Mittel über die Gesamtheit des lackierten Holzes geliefert. Womit die Aussage im zweiten Diagramm (die Koeffizienten sind beinahe identisch) ex-trem deutlich wird.

Der Versuch wird sicherlich sehr gut gelingen, wenn man frische „genormte“ Un-tergründe / Flächen verwendet.

Am Ende der Versuchreihe kann man die Literaturwerte vergleichen, z.B. für nassen Asphalt, auf dem ein Gummireifen steht. Der Haftkoeffizient schwankt dabei von 0,1 bis 0,8. Wäre die Straße trocken so ist laut Literatur eine geringere Schwan-kung zu erwarten – 0,7 bis 0,9.