



Experiment Seilreibung

Markus Meier und Barbara Roos, Physik-Olympiade, broos@gmx.ch

Sie suchen nach einem guten Experiment zu den Themen Reibung und Mechanik? Et voilà: Die Physik-Olympiade bietet Ihnen hierzu das Experiment "Seilreibung". Danach wird Ihren Schülerinnen und Schülern klar sein, warum Seile ganze Schiffe befestigen können. Oder verrostete Bremszüge eher mühsam sind.

Ideal für Klassen, die in zwei Jahren die Matura schreiben. Die Schülerinnen und Schüler sollten die Exponentialfunktion kennen. Das Phänomen an sich können aber auch jüngere Schülerinnen und Schüler erkunden.

Das Experiment dauert ungefähr 150 Minuten. Wer die vollständige Lösung finden will, braucht etwas länger.

1 Beschrieb

1.1 Wie ist das Experiment aufgebaut?

Ihre Schüler analysieren die Reibung zwischen einem Seil und einer Stange. Das Experiment hat drei Aufgaben:

- Bestimmung der Kräfte bei maximaler Haftreibung und des Haftreibungskoeffizienten
- Bestimmung der Kräfte bei Gleitreibung und des Gleitreibungskoeffizienten
- Bestimmung der Kräfte bei Gleitreibung als Funktion des Umschlingungswinkels sowie des Gleitreibungskoeffizienten

1.2 Was lernen die Schüler?

Sie lernen das Gesetz von Euler-Eytelwein kennen und verstehen es. Sie können erklären, warum wenige Umschlingungen um einen Poller reichen, um ein schweres Schiff festzumachen. Sie lernen, ein Physik-Experiment zu bauen, auszuführen und auszuwerten.

1.3 Benötigtes Material

- Schnur
- 2 Federkraft-Messer (Bereich 0 – 3 N, 0 – 10 N)
Achtung: Die Skala von Federkraftmessern muss je nach Verwendungslage (senkrecht nach oben, senkrecht nach unten, waagrecht) mit Hilfe der Verstellerschraube auf 0 gestellt werden.
- Stativmaterial: Tischklammer, Stativstange, Muffe, Stativstange für Reibungsmessung
- Diagrammpapier
- Kessel, Wassergefäß (mit Wasser), Waage
- Gewichtssatz
- Papiertücher

1.4 Ursprung und Lösungen

Die Idee des Experiments ist von der Asiatischen Physik-Olympiade 2012 übernommen. Ausgearbeitet wurde das Experiment von Markus Meier und Barbara Roos. Den Beschrieb und Lösungen des Experimentes finden Sie auch unter <https://science.olympiad.ch/de/lehrpersonen/>.

2 Experiment Seilreibung

2.1 Hinweise

- Alle Messungen und Berechnungen müssen nachvollziehbar dokumentiert werden. Das heisst, alle gemessenen Grössen müssen in übersichtlichen Tabellen notiert werden, alle in die Rechnungen eingehenden Werte müssen ersichtlich sein, Rechnungen müssen nachvollziehbar sein. Signifikante Stellen sind zu beachten.
- Alle Grössen müssen mit den richtigen SI-Einheiten versehen sein.
- Grafiken müssen vollständig und korrekt beschriftet werden.
- Zur Verfügung steht neben dem karierten Papierbogen auch Millimeterpapier für Diagramme und Plots.
- Bei Umschlingungswinkeln von mehr als 2π ist darauf zu achten, dass die Schnurwindungen nebeneinanderliegen und sich weder berühren noch überlappen.
- Die Stange, welche für die Messung der Reibungskräfte verwendet wird, soll im Bereich, in dem sie von der Schnur umschlungen wird, nicht mit den Fingern angefasst werden (Verschmutzung mit Hautfett, dies verändert die Reibungskoeffizienten). Die Stangen sind vorgängig gereinigt worden. Ebenfalls soll die Schnur nur an den Enden angefasst werden.
- Positioniere die Schnur auf der Stange möglichst immer am gleichen Ort.
- In diesem Dokument wird der Begriff Reibungskoeffizient verwendet, er ist gleichbedeutend mit Reibungszahl.

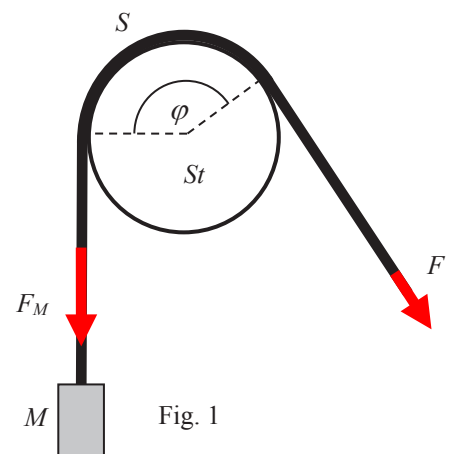
2.2 Beschreibung des Experimentes

Gesetz von Euler-Eytelwein

Ein Seil S umschlingt eine Stange St mit dem Umschlingungswinkel φ (siehe Fig. 1). Um die Masse M im Gleichgewicht zu halten, ist die Zugkraft F am anderen Ende des Seils notwendig. Durch die Reibungskraft zwischen dem Seil S und der Stange St ist die dafür notwendige Zugkraft F kleiner als die Gewichtskraft der Masse M und gegeben durch folgenden Zusammenhang:

$$F = F_M \cdot e^{-\mu\varphi}$$

mit	F_M	Lastkraft
	F	Zugkraft
	φ	Umschlingungswinkel (im Bogenmass)
	μ	Reibungskoeffizient
	e	Eulersche Zahl



2.3 Aufgaben

Aufgabe 1: Bestimmung der Kräfte bei maximaler Haftreibung und des Haftreibungskoeffizienten

Es sollen die Kräfte bei maximaler Haftreibung zwischen der Schnur und der Stativstange für verschiedene Lastmassen bestimmt werden. Der Umschlingungswinkel soll konstant $\varphi = \pi$ betragen. Dabei wird langsam die Zugkraft F erhöht, bis sich die Schnur auf der Stange zu bewegen beginnt. Die Lastmasse wird an einem Ende der Schnur befestigt. Die Zugkraft wird wie folgt erzeugt: Ein Wasserkessel wird am anderen Ende der Schnur befestigt. In den Kessel wird so lange langsam Wasser gegossen, bis sich die Schnur gegen die Stange zu bewegen beginnt, und die Lastmasse gerade beginnt, sich nach oben zu bewegen. Die Masse des Kessels mit Wasser bestimmt die Zugkraft bei Haftreibung: **Achtung:** Damit der Kessel die Lastmasse nicht berührt, muss der Kessel zu Beginn der Messung tiefer sein als die Lastmasse. Die Schnur darf keinesfalls nass werden!

- (a) Führe für einen konstanten Umschlingungswinkel $\varphi = \pi$ die Messung der Zugkraft für 8 verschiedene Lastmassen im Bereich 0 g bis 160 g durch. Für jede Lastmasse ist die Messung mindestens dreimal durchzuführen und der Mittelwert zu bilden.
- (b) Bestimme aus den Messwerten von (a) für jede der 8 Messungen den Haftreibungskoeffizienten μ_{Haft} zwischen Schnur und Stativstange. Bilde daraus den Mittelwert für μ_{Haft} .

Aufgabe 2: Bestimmung der Kräfte bei Gleitreibung und des Gleitreibungskoeffizienten

Benutze ein neues Stück Schnur. Wiederum soll der Umschlingungswinkel $\varphi = \pi$ konstant gelassen werden. Die Kräfte bei der Gleitreibung werden mit zwei Methoden mit den Federkraftmessern gemessen. Bei der ersten Methode wird die Lastmasse hochgezogen, bei der zweiten Methode wird sie heruntergelassen. Bei der ersten Methode, siehe (a), wird mit dem Federkraftmesser die Zugkraft langsam erhöht, bis die Schnur sich gegen die Stange zu bewegen beginnt. Nun wird langsam mit konstanter Geschwindigkeit weitergezogen und die Kraft am Federkraftmesser abgelesen. Bei der zweiten Methode, siehe (b), wird mit dem Federkraftmesser die Zugkraft vermindert, bis sich die Schnur gegenüber der Stange zu bewegen beginnt. Nun wird langsam mit konstanter Geschwindigkeit weiterbewegt und die Kraft am Federkraftmesser abgelesen.

- (a) Führe für einen konstanten Umschlingungswinkel $\varphi = \pi$ die Messung der Zugkraft beim Hochziehen der Masse für 8 verschiedene Lastmassen im Bereich 0 bis 160 g durch. Für jede Lastmasse ist die Messung mindestens dreimal durchzuführen und der Mittelwert zu bilden.
- (b) Führe für einen konstanten Umschlingungswinkel $\varphi = \pi$ die Messung der Zugkraft beim Herunterlassen der Masse für 8 verschiedene Lastmassen (verwende die gleichen Massen wie bei (a)) im Bereich 0 g bis 160 g durch. Für jede Lastmasse ist die Messung mindestens dreimal durchzuführen und der Mittelwert zu bilden.
- (c) Stelle alle gemessenen Kräfte (Mittelwerte) aus (a) und (b) als Funktion der Lastkraft grafisch dar. Alle Werte sind in derselben Grafik als zwei Datenreihen darzustellen.
- (d) Stelle eine Wertetabelle auf, in der für jede Lastkraft das Verhältnis von der Zugkraft zur Lastkraft sowohl beim Hochziehen als auch beim Herunterlassen dargestellt wird. Welcher Zusammenhang besteht zwischen diesen beiden Verhältnissen? Berechne für jede Lastkraft den Gleitreibungskoeffizienten zwischen Schnur und Stativstange μ_{Gleit} unter Verwendung jeweils beider Messwerte (Hochziehen, Herunterlassen). Bilde aus den einzelnen μ_{Gleit} den Mittelwert.

Aufgabe 3: Bestimmung der Kräfte bei Gleitreibung als Funktion des Umschlingungswinkels sowie des Gleitreibungskoeffizienten

In dieser Messung soll die Abhängigkeit der Kräfte (stets nur beim Hochziehen der Lastmasse) vom Umschlingungswinkel untersucht werden. Die Kräfte werden mit den Federkraftmessern bestimmt. Die Lastmasse soll jedoch nun in der ganzen Aufgabe 3 konstant 55 g betragen.

- (a) Bestimme die Zugkräfte für mindestens 6 Umschlingungswinkel im Bereich $\varphi = 0$ bis $\varphi = 8\pi$. Für jeden Winkel soll die Kraft mindestens fünfmal gemessen werden.
- (b) Ermittle für jeden Umschlingungswinkel den Mittelwert sowie die Standardabweichung für die gemessenen Zugkräfte.
- (c) Die Gültigkeit des Euler-Eytelweinschen Gesetzes soll mit einer geeigneten Grafik überprüft werden. Erläutere Deine gewählte Methode!
- (d) Trage für alle in Frage kommenden Größen Fehlerbalken in Deinem Diagramm ein.
- (e) Bestimme den Gleitreibungskoeffizienten zwischen Schnur und Stativstange μ_{Gleit} aus der Grafik in (c). Schätze den Fehler des Gleitreibungskoeffizienten in geeigneter Weise ab. Dokumentiere die Auswertung.
- (f) Vergleiche μ_{Gleit} aus 3 (e) mit μ_{Gleit} aus 2 (d) und berechne die prozentuale Abweichung des Wertes von 2 (d) von demjenigen aus 3 (e).