

Prüfung Herbst 2009, Thema Nr. 1

Reibungsphänomene

Aufgaben:

1. Reibungsphänomene sind im Alltag allgegenwärtig. Es gibt Situationen, in denen sie unerwünscht, und solche, in denen sie erwünscht, ja notwendig sind. Belegen Sie dies mit je zwei typischen Beispielen und begründen Sie, warum diese im Physikunterricht Ihrer Schulart behandelt werden sollten!
2. Beschreiben Sie geeignete Experimente, die die Einführung der Begriffe "Haftreibungskraft", "Gleitreibungskraft" und "Rollreibungskraft" unterstützen und einen qualitativen Vergleich der Beträge dieser Kräfte zulassen!
3. Konzipieren Sie eine Unterrichtseinheit, in der folgende Fragestellungen behandelt werden sollen: "Wovon hängt die (maximale) Haftreibungskraft auf einen Körper ab? Nach welcher Gesetzmäßigkeit lässt sie sich (näherungsweise) berechnen?" Geben Sie die notwendigen Lernvoraussetzungen und geeignete Lernziele an! Planen Sie Phasen der Selbsttätigkeit der Schülerinnen und Schüler ein! Beschreiben Sie die Arbeitsaufträge für die Schülerinnen und Schüler, die geplanten Experimente und die Sicherung der Ergebnisse!
4. Ein Fallschirmspringer springt in einer Höhe von 3000 m aus dem Flugzeug und erreicht etwa 10 s nach dem Absprung eine Gleitgeschwindigkeit von ca. 50 m/s. Knapp 60 s nach dem Absprung zieht er in einer Höhe von 1000 m die Reißleine und gleitet nach einer Bremsphase mit einer Geschwindigkeit von ca. 5 m/s auf die Erde zu, die er nach einer Gesamtzeit von ca. vier Minuten erreicht. Skizzieren Sie die Zeit-Geschwindigkeits- und die Zeit-Beschleunigungskurve für die gesamte Bewegung! Begründen Sie den zeitlichen Verlauf der Bewegung mit Hilfe der am Fallschirmspringer angreifenden Kräfte!

Lösungsvorschlag Teilaufgabe 1:

Bei der Erarbeitung grundlegender Gesetze der Mechanik versucht man, Reibungskräfte möglichst auszuschalten, vor allem weil sie meist mit der Erzeugung von Wärme verbunden sind. Aber Reibungskräfte sind manchmal nicht unerwünscht, sie sind manchmal auch sehr wichtig für Bewegungsabläufe.

Situationen, in denen Reibung unerwünscht ist:

Bei der Lagerung drehender Teile wirkt unerwünschte Reibung. So z.B. auch beim Auto oder vielen Maschinen, hier werden deshalb oft Kugellager statt Gleitlager eingesetzt und die drehenden Teile geölt und/oder gefettet um die Reibung zu verringern. Viele Hauptschüler erlernen nach ihrem Schulabschluss einen technischen Beruf. Hier kann das Wissen über das Vorhandensein einer Kraft, die Bewegungen hemmt bzw. verhindert, den Schüler lästige Aufgaben wie Schneid- und Getriebeölwechsel als notwendig erkennen lassen. Mit dem nötigen Hintergrundwissen erklären sich viele Vorgehensweisen (Bohrergrößen, Kühlung, Schneidöl usw.) speziell in der Metallbearbeitung oder auch im Zusammenhang mit Motoren (Erhöhte Energieaufnahme beim Anlauf => Anlaufschaltungen z.B. Stern-Dreieck-Schaltung).

Auch im Wintersport ist Reibung oft unerwünscht. Beim Ski- Bob- oder Schlittschuhfahren mindert Reibung die Geschwindigkeit. Man verringert sie durch Schleifen und Heizen der Kufen. Das ist ein sehr anschauliches Beispiel und es dürfte für jeden Schüler klar sein, dass an den Berührungsflächen zwischen Sportgerät und Schnee/Eis unerwünschte Reibungskräfte auftreten. Das Interesse an der Physik wird gefördert, wenn die Schüler erkennen, welche Bedeutung die Erkenntnisse der Physik auch in Bereichen erlangt haben, die sie selbst interessieren oder in denen sie selbst aktiv sind.

Situationen, in denen Reibung erwünscht/notwendig ist:

Beim Bremsen im Auto werden die Bremsbeläge auf die Drehscheibe gedrückt, so dass erwünschte Reibung entsteht, die das Auto langsamer werden lässt. Der Bremsvorgang sollte eigentlich jedem Schüler vom Auto oder zumindest vom Fahrradfahren bekannt sein und stellt daher einen Gegenstand aus dem Alltag der Schüler da. So wird den Schülern bewusst, dass einfache Vorgänge in ihrer Umwelt ohne Berücksichtigung der Reibung nicht erklärt werden können. Qualitative Versuche zur Abhängigkeit der Bremswirkung von der Kraft, die auf die Bremsbeläge wirkt oder von dem Zustand der Bremsbeläge (trocken, nass, verölt) sind darüber hinaus als Vertiefung im Unterricht oder als Hausaufgabe mit Hilfe des Fahrrades möglich.

Befestigungen mit Schrauben oder Nägeln halten nur, weil die Schrauben und Nägel durch Haftreibung an Ort und Stelle bleiben. Dieses Beispiel ist nicht so naheliegend, denn die wenigsten Schüler werden sich Gedanken darüber machen, warum ein Nagel oder eine Schraube in der Wand hält. So wird den Schülern die Reibung als allgegenwärtiger Effekt ins Bewusstsein gerufen und ihnen wird klar, dass die Reibung auch bei statischen Situationen eine zentrale Rolle spielt. Außerdem motivieren Beispiele aus der Erfahrungswelt und fördern das Bewusstsein für die Bedeutung des Fachs Physik.

Lösungsvorschlag Teilaufgabe 2

In der Physik wird zwischen drei Arten von Reibung unterschieden:

Die Haftreibung, welche überwunden werden muss, um einen Körper in Bewegung zu bringen.

Die Gleitreibung, die auftritt, wenn ein Körper in Bewegung ist.

Die Rollreibung, ist die bremsende Kraft, die auftritt, wenn sich ein Körper auf Rollen bewegt.

Die Haftreibung ist größer oder gleich der Gleitreibung und diese größer als die Rollreibung.

Experimente zur Unterstützung der Einführung der Haft-, Gleit- und Rollreibungskraft:

Der Lehrer stellt eine große Kiste im Klassenzimmer auf. Die Kiste muss so schwer sein, dass sie ein Schüler alleine nicht in Bewegung setzen kann.

Ein Schüler soll im Unterricht versuchen die Kiste zu bewegen. Alleine wird er es nicht schaffen.

Die Kiste haftet auf dem Boden. Die durch den Schüler angreifende Kraft ist kleiner als die Haftreibungskraft.

Die Schüler sollen sich überlegen, warum sich die Kiste nicht bewegen lässt. Was bzw. welche Kraft hält die Kiste auf ihrem Platz?

Ein eigentlich besseres Experiment zur Einführung der Haftreibung wäre meiner Meinung nach folgendes:

Mit Hilfe eines stabilen Brettes wird eine große schiefe Ebene aufgebaut. Ein Schüler wird aufgefordert, sich auf das Brett zu stellen. Davor soll eine Hypothese formuliert werden

(„Schüler rutscht ab“). Der Versuch zeigt einen Widerspruch zur Vermutung auf. Aber warum rutscht der Schüler nicht ab?

Bei dieser Einführung wäre allerdings ein qualitativer Vergleich mit der Gleit- und Rollreibungskraft schwer zu realisieren.

Nun soll ein zweiter Schüler Helfen die Kiste zu bewegen. Gemeinsam können sie die Kiste in Bewegung setzen. Sobald die Kiste in Bewegung ist wird der zweite Schüler aufgefordert mit dem Schieben aufzuhören. Jetzt kann auch ein Schüler alleine die Kiste in Bewegung halten.

Die Schüler sollen sich überlegen, warum nun auch ein Schüler ausreicht um die Kiste in Bewegung zu halten. Welche Kräfte wirken jetzt auf die Kiste?

Das die nun auftretende Gleitreibungskraft, welche der Bewegung entgegenwirkt kleiner ist als die Haftreibungskraft wird hier sehr deutlich.

Die Schüler sollen sich Möglichkeiten überlegen, wie man die Kiste noch leichter (mit noch weniger Kraft) in Bewegung setzen könnte.

Sobald die Kiste dann mit Rollen, Rädern oder ähnlichem ausgestattet ist soll noch einmal der selbe Schüler versuchen die Kiste zu bewegen und seiner Klasse berichten wie groß jetzt seine ausgeübte Kraft zum Kompensieren der Rollreibungskraft im Vergleich zur Kompensierung der Haft- und Rollreibung war.

Lösungsvorschlag Teilaufgabe 3:

Das Thema Reibung wird in der Hauptschule nur recht knapp behandelt. In den meisten PCB-Büchern der Hauptschule, selbst für den M-Zug, werden Reibungsphänomene nur in ein paar kurzen Sätzen erwähnt. Im Grunde könnte man aber auf das Thema in der 7. Klasse im Themenbereich „Grundlagen der Mechanik“ oder noch besser in der 9. Klasse im Zusammenhang „Kraft und Bewegung“ eingehen. Hier wurde das Zweite gewählt.

Lernvoraussetzungen:

- Die Schüler kennen den Begriff Normalkraft
- Die Schüler kennen den Begriff Proportionalität und können ihn übertragen
- Die Schüler haben grundlegende Kenntnisse über die Reibungskräfte, wissen, was man unter der Haftreibungskraft versteht und wie man sie misst.
- Die Schüler sind geübt im Umgang mit Kraftmessern (Newtonmeter)
- Die Schüler sollten Erfahrung im eigenständigen Durchführen von Versuchen in Gruppenarbeit haben

Lernziele:

Grobziele:

- Schüler sollen die Abhängigkeiten der Haftreibungskraft kennenlernen
- Die Schüler sollen die Haftreibungskraft berechnen können.

Feinziele:

- Den Schülern soll der Begriff Haftreibung und deren Messverfahren wieder geläufig werden
- Die Schüler sollen üben Hypothesen aufzustellen

- Die Schüler sollen praktische Fähigkeiten, wie Aufbauen eines Versuches, Messwerte aufnehmen und deuten üben
- Die Schüler sollen erkennen, dass die Haftreibungskraft von der Normalkraft eines Körpers abhängt
- Die Schüler sollen erkennen, dass die Haftreibungskraft nicht von der Auflagefläche abhängt
- Die Schüler sollen erkennen, dass die Haftreibungskraft von der Oberflächenbeschaffenheit der Reibungspartner abhängt
- Die Schüler sollen die Proportionalität zwischen Haftreibungskraft und Normalkraft erkennen
- Die Schüler sollen den Begriff Haftreibungszahl kennenlernen und verstehen
- Die Schüler sollen mit Hilfe der Haftreibungszahl die Haftreibungskraft berechnen können

Ablauf der Unterrichtseinheit:

Zu Beginn der Stunde wird der Begriff Haftreibung wiederholt. So wird den Schülern wieder ins Gedächtnis gerufen, dass die Zugkraft größer als die Haftreibungskraft sein muss, wenn ein Körper auf einer Unterlage in Bewegung gesetzt werden soll.

Ein Schüler soll nun der Klasse noch einmal demonstrieren, wie man die Haftreibungskraft messen kann (Mitschüler und Lehrer können helfen, Tipps geben...). So gibt es später bei der Gruppenarbeit weniger Probleme und Messfehler.

Jetzt sollen die Schüler Vermutungen aufstellen wovon die Haftreibungskraft auf einen Körper abhängt. Wenn nötig sollen die Schüler auf die Hypothesen Normalkraft, Auflagefläche, Oberflächenbeschaffenheit gebracht werden.

(Es wird im Folgenden von einer waagrecht Ebene ausgegangen daher könnte man den Begriff Gewichtskraft statt Normalkraft verwenden. Ich denke der Begriff Gewichtskraft wäre für die Schüler zugänglicher.)

In drei verschiedenen Gruppen (bzw. zwei mal drei versch. Gruppen je nach Anzahl der Schüler und zur Verfügung stehendem Experimentiermaterial) soll jede Gruppe eine Vermutung experimentell überprüfen. Die benötigten Materialien und Messgeräte für die jeweiligen Experimente legt der Lehrer für jede Gruppe vorher zurecht.

Das Vorgehen sollen sich die Gruppen selbst überlegen. Der Lehrer steht beratend zur Seite.

Gruppenarbeiten:

a.) Abhängigkeit der Haftreibungskraft von der Normalkraft (Gewichtskraft):

Ein Reibungsklotz wird über den Tisch gezogen. Die Kraft, die erforderlich ist, um den Reibungsklotz in Bewegung zu setzen, also die Haftreibung zu überwinden, lässt sich mit einem Kraftmesser messen. Durch Auflegen von Massestücken wird die Normalkraft des Reibungsklotzes vergrößert und überprüft, ob sich die Haftreibungskraft ändert.

b.) Abhängigkeit der Haftreibungskraft von der Auflagefläche:

Reibungsklotz (Quader) wird mit verschiedenen Seiten (verschieden große Fläche aber gleiches Gewicht) über den Tisch gezogen und die jeweilige Haftreibungskraft wie bei Gruppenarbeit a.) ermittelt.

c.) Abhängigkeit der Haftreibungskraft von der Oberflächenbeschaffenheit der Reibungspartner:

Auf unterschiedlichen Oberflächen werden verschiedene Reibungsklotze gezogen und jeweils die Haftreibungskraft gemessen.

Die Ergebnisse aus den Gruppenexperimenten stellt jeweils eine Gruppe vor. Die zweite Gruppe, welche die selbe Hypothese überprüft hat, ergänzt und bestätigt die Ergebnisse.

Ergebnisse werden notiert:

„Die Haftreibungskraft hängt von der Normalkraft, mit der ein Körper senkrecht auf eine Unterlage drückt und der Oberfläche des Körpers und der Unterlage ab, nicht aber von der Größe der Auflagefläche.“

Jetzt fragt der Lehrer, welche der drei Größen man messen kann.

Normalkraft und Haftreibungskraft lassen sich leicht mit einem Kraftmesser messen.

Der Lehrer schlägt vor eine Messreihe durchzuführen, in der zunächst nur die Normalkraft verändert und die Haftreibungskraft gemessen wird. Das Material bleibt gleich (Reibungsklotz aus Holz auf Holzplatte). Der Lehrer führt die Messreihe am Lehrerpult mit Hilfe von Schülern durch und übernimmt die Messwerte auf die Tafel.

Er fragt, was den Schülern an den Messwerten auffällt und evtl. was bei doppelter, dreifacher Normalkraft festzustellen ist. Nach dem die Schüler das Merkmal der Proportionalität von Haftreibung zu Normalkraft erkannt haben, wird notiert: „Die Haftreibungskraft und die Normalkraft sind proportional zueinander $F_{\text{Haft}} \sim F_N$ “. Dann fragt der Lehrer, was immer gleich bleibt. Das Verhältnis von Haftreibungskraft zur Normalkraft ist immer gleich (Proportionalität). Alle Schüler berechnen aus selbstgewählten Messwerten aus der Messreihe einen Quotienten aus Haftreibungskraft und Normalkraft. Dieser sollte bei jedem ungefähr gleich sein (Proportionalitätskonstante). Der Lehrer führt den Begriff Haftreibungszahl (μ_{Haft}) als das Verhältnis, also den Quotient aus den beiden Kräften ein und zeigt den Schülern, wo sie in der Formelsammlung Haftreibungszahlen für die unterschiedlichen Materialien finden.

Hefteintrag: Die Haftreibungszahl ist ein Maß für die Rauheit der Kontaktflächen. Je glatter die Oberflächen sind, desto kleiner ist die Haftreibungszahl z.B. Autoreifen auf trockenem Asphalt

$\mu_{\text{Haft}} = 1,0$ / Autoreifen auf Eis $\mu_{\text{Haft}} = 0,2$

$$\text{Haftreibungszahl} = \frac{\text{Haftreibungskraft}}{\text{Normalkraft}} \quad \text{kurz:} \quad \mu_{\text{Haft}} = \frac{F_{\text{Haft}}}{F_N}$$

Nun können die Schüler durch Umstellen der Formel die Haftreibungskraft berechnen.

$$\text{Haftreibungskraft} = \text{Haftreibungszahl} \cdot \text{Normalkraft} \quad \text{kurz:} \quad F_{\text{Haft}} = \mu_{\text{Haft}} \cdot F_N$$

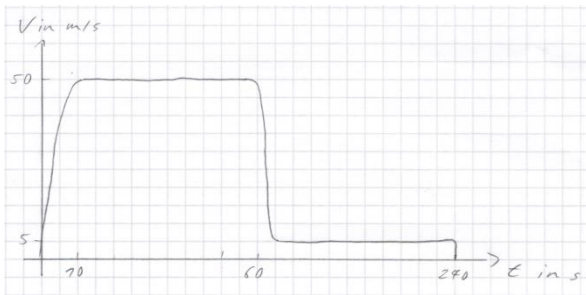
Am Ende werden noch mehrere Beispiele für die Haftreibungskraft berechnet.

Zur Vertiefung kann noch die Geleitreibungskraft und Geleitreibungszahl behandelt werden.

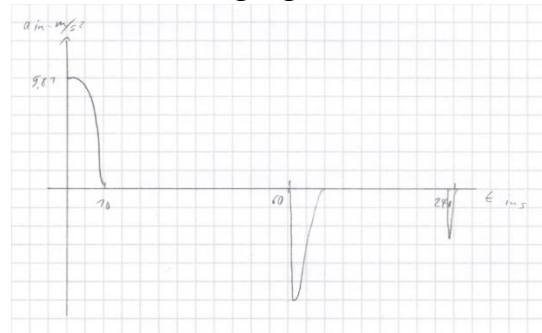
Lösungsvorschlag Teilaufgabe 4:

Skizzen für die die positive Koordinatenrichtung nach unten gewählt wurde:

Zeit-Geschwindigkeitskurve



Zeit-Beschleunigungskurve



Zu Beginn bewegt sich der Fallschirmspringer noch langsam, deshalb ist auch die Luftreibung gering und die Gewichtskraft beschleunigt ihn stark ($9,81 \text{ m/s}^2$ Erdschwerebeschleunigung) so vergrößert er schnell seine Geschwindigkeit.

Die zunehmende Geschwindigkeit führt zu einem Ansteigen der Luftreibungskraft die der Gewichtskraft gegenwirkt deshalb nimmt die Geschwindigkeit immer weniger zu (Beschleunigung wird kleiner).

Nach 10 s hat der Springer die Gleitgeschwindigkeit von ca. 50 m/s erreicht. Gewichtskraft und Reibungskraft sind gegengleich und der Springer wird nicht mehr beschleunigt.

Er bewegt sich jetzt mit konstanter Geschwindigkeit abwärts.

Nach 60 s zieht er die Reißleine, der Fallschirm öffnet sich und die Reibungskraft erhöht sich drastisch. Sie ist jetzt viel größer als die Gewichtskraft und der Fallschirmspringer bremst (negative Beschleunigung) auf ca. 5 m/s ab. Bei dieser Geschwindigkeit stellt sich wieder ein Kräftegleichgewicht ein (Gewichtskraft und Luftreibungskraft wieder gleich groß).

Mit dieser Sinkgeschwindigkeit bewegt sich der Springer bis zur Landung nach unten.

Nach 240 s kommt der Fallschirmspringer am Boden an. Er wird abrupt abgebremst (negative Beschleunigung), die Geschwindigkeit und Luftreibungskraft sinken auf Null.