

M. PETER METTENLEITER
HELMUT J.M. ROTTLER

MECHANIK 2

ARBEITSHEFT

3., verbesserte Auflage

Verfasser: M. Peter Mettenleiter
85276 Pfaffenhofen
und
Helmut J.M. Rottler
86633 Neuburg

Zeichnungen: Marco Jurešić

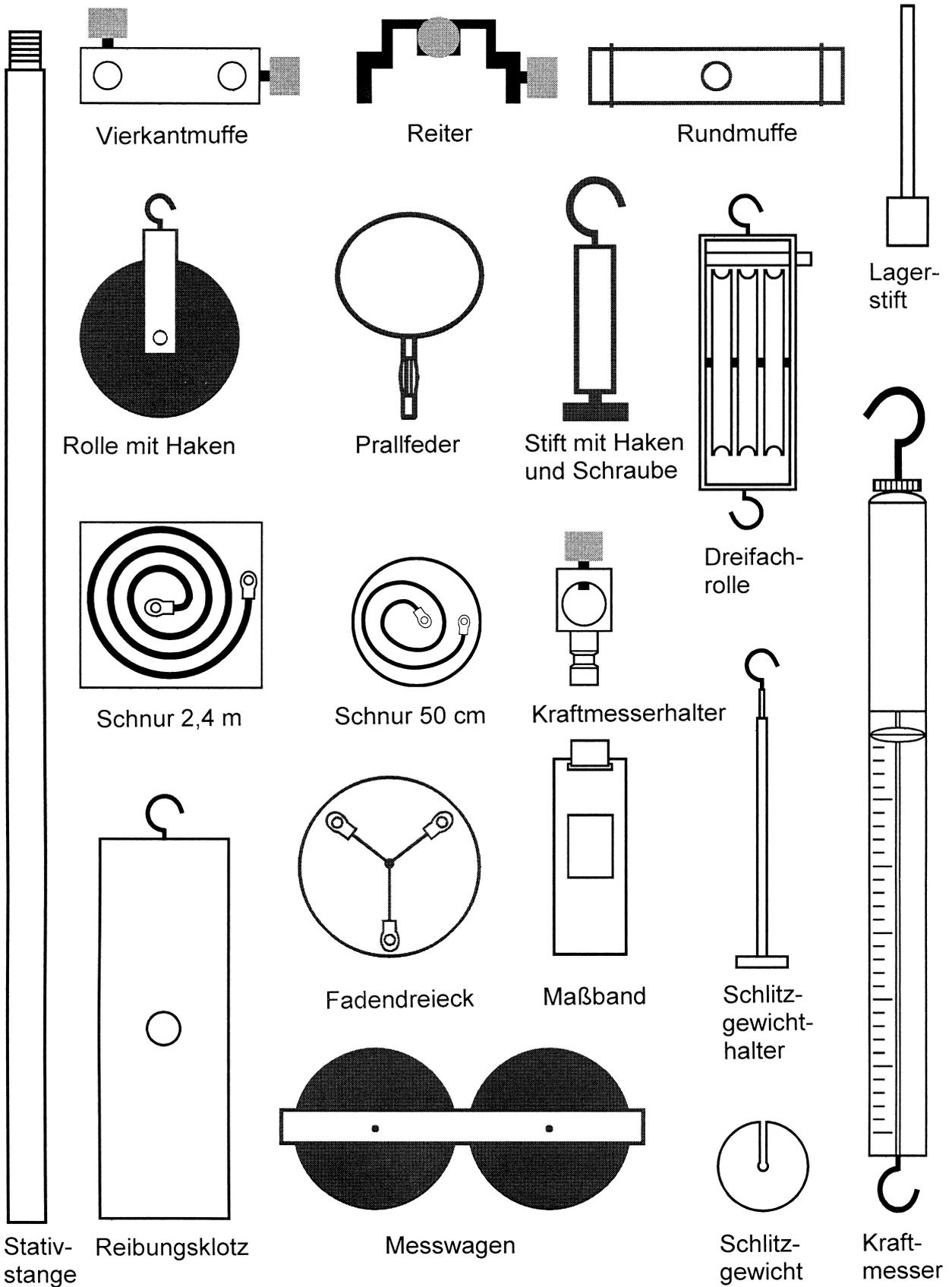
Gestaltung und Satz: MEKRUPHY GMBH
Schäfflerstraße 9
85276 Pfaffenhofen
Tel.: 08441 / 50420-0
Fax: 08441 / 50420-29
E-Mail: info@mekruphy.com
Internet: www.mekruphy.com
© 2008 MEKRUPHY GMBH

Druck: MDV Maristen Druck & Verlag GmbH
Landshuter Straße 2
84095 Furth

Dieses Arbeitsheft und alle darin enthaltenen Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede gesetzlich nicht zugelassene Nutzung (z. B. Verwertung durch Vervielfältigung oder Verbreitung) ist ohne vorherige schriftliche Zustimmung der MEKRUPHY GMBH unzulässig. Dies gilt insbesondere auch für die öffentliche Zugänglichmachung im Sinne des § 52a UrhG. Schulen haben hiervon abweichend das Recht zur Vervielfältigung durch Fotokopieren, jedoch ausschließlich in einem für den jeweiligen Unterrichtsgebrauch erforderlichen Umfang.

Die im vorliegenden Arbeitsheft enthaltenen Experimentieranleitungen wurden mit größter Sorgfalt für die Arbeit mit den entsprechenden Experimentiersätzen der MEKRUPHY GMBH entwickelt. Abweichungen von den Anleitungen können sowohl zur Beschädigung oder Zerstörung der Experimentiergeräte oder anderer Gegenstände als auch zu Personenschäden führen. Die MEKRUPHY GMBH haftet daher nicht für durch Abweichung von der Experimentieranleitung entstandene Schäden. Beim Experimentieren sind stets die jeweils geltenden Richtlinien zur Sicherheit im naturwissenschaftlichen Unterricht einzuhalten.

Impressum	2
Geräteübersicht	4
Vorwort	5
M2 - 1: Der Trägheitssatz	6
M2 - 2: Anwendungen des Trägheitssatzes	8
M2 - 3: Kraft und Gegenkraft	10
M2 - 4: Die Reibungskraft	12
M2 - 5: Die Kraft am Seil	15
M2 - 6: Kräfte an der festen Rolle	16
M2 - 7: Kräfte an der losen Rolle.....	18
M2 - 8: Kräfte am Flaschenzug	20
M2 - 9: Kräftezerlegung	23
M2 - 10: Kräfte an der schiefen Ebene 1	26
M2 - 11: Kräfte an der schiefen Ebene 2	29
M2 - 12: Der Wirkungsgrad	32
M2 - 13: Umformungen mechanischer Energien	35



Liebe Schülerin, lieber Schüler,

der Experimentiersatz MECHANIK 2 ist der Kraft gewidmet. Sie ist neben der Energie eine der wichtigsten und geheimnisvollsten Größen in der Physik. Du wirst hier viel Neues und Unerwartetes entdecken und interessante Experimente durchführen können. Die zugehörigen Geräte sind auf Seite 4 dieses Arbeitsheftes abgebildet und bezeichnet. Manche von ihnen kennst Du schon aus der MECHANIK 1. Neu dagegen ist vielleicht die Universalschiene, die nicht im Experimentiersatz enthalten ist, sondern getrennt aufbewahrt wird, und die Du fast zu jedem Experiment brauchst.

Damit die Experimente nicht nur Dir, sondern auch Deinen Mitschülerinnen und Mitschülern, die nach Dir arbeiten, immer ohne Probleme gelingen, solltest Du die folgenden Hinweise stets genau beachten:

- Lies die betreffenden Experimentieranleitungen in jedem Fall sorgfältig durch.
- Arbeite immer nur mit den Geräten, die für das entsprechende Experiment vorgesehen sind.
- Nimm die Geräte erst aus dem Kasten, wenn Du sie benötigst, und lege sie nach Gebrauch sofort wieder in den Kasten zurück.
- Behandle die Geräte mit größter Sorgfalt. Lass vor allem den Messwagen, dessen Räder sehr reibungsarm gelagert sind, nicht fallen.

Wir wünschen Dir nun viel Freude und Erfolg beim Experimentieren.

An dieser Stelle bedanken wir uns sehr herzlich bei allen Damen und Herren sowie allen Schülerinnen und Schülern, die bei der Erprobung des Experimentiersatzes und der Experimente mitgewirkt haben.

M. Peter Mettenleiter
Helmut J.H. Rottler

Einführung:

Um einen ruhenden Körper in Bewegung zu versetzen, benötigt man eine Kraft. Über diese Kraft schreibt der griechische Philosoph ARISTOTELES (384 – 322 v. Chr.) in seinem Werk „MECHANIK“: *Ein in Bewegung befindlicher Körper kommt zum Stillstand, sobald die Kraft, die ihn vorantreibt, nicht mehr in der für den Antrieb erforderlichen Weise wirken kann.* Dieser Satz klingt sehr einleuchtend, und dennoch wird es sich als notwendig herausstellen, ihm auf den Grund zu gehen. Dies kannst Du im folgenden Experiment tun und etwas Überraschendes entdecken.

Geräte:

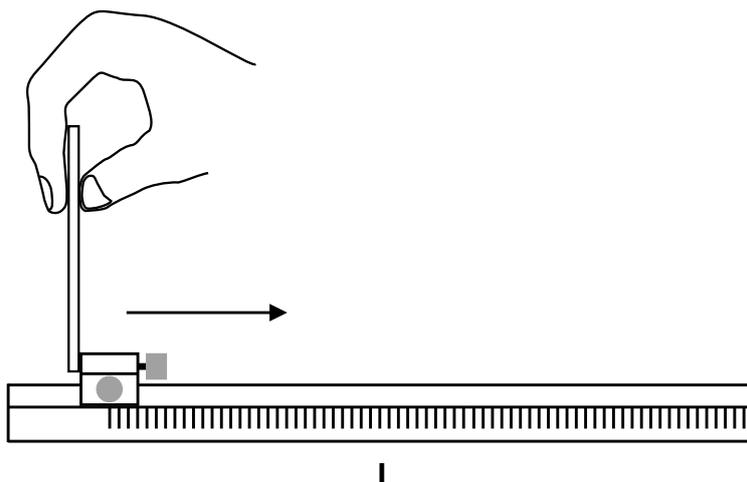
Messwagen

2 Reiter

zusätzlich:

Universalschiene

Bleistift

Aufbau und Durchführung:

- ↪ Montiere an beiden Enden der Schiene je einen Reiter. Schraube jedoch den linken nicht fest.
- ↪ Schiebe mit Hilfe eines Bleistifts den linken Reiter mit konstanter Geschwindigkeit bis etwa zur Marke „30“.
- ↪ Wiederhole den Versuch und überprüfe dabei, ob Aristoteles mit seiner Aussage Recht hat. Kreuze dann die entsprechende Antwort an. (*Scheue Dich nicht, dies mit Tinte zu tun, auch wenn Du Dir nicht ganz sicher bist. Die großen Erkenntnisse in der Physik sind oft auf dem Umweg von Irrtümern gewonnen worden.*)
 - Aristoteles hat Recht
 - Aristoteles hat nicht Recht

II

- ↪ Nimm den linken Reiter von der Schiene und ersetze ihn durch den Messwagen.
- ↪ Schiebe den Wagen mit Hilfe des Bleistifts mit konstanter Geschwindigkeit nach rechts, bis er die Marke „30“ erreicht.
- ↪ Wiederhole diesen Schritt und beobachte genau das Verhalten des Wagens, nachdem er die Marke „30“ erreicht hat. Schreibe Deine Beobachtungen kurz nieder:

Auswertung:

Der Teil II zeigt, dass sich der Messwagen noch weiter bewegt, obwohl keine antreibende Kraft mehr wirkt. Aristoteles hat hier offensichtlich nicht Recht.

- (1) Gib zwei unterschiedliche Möglichkeiten an, wie man die Strecke, die der Wagen allein weiterfährt, vergrößern könnte:

- (2) Durch die von Dir in Aufgabe (1) genannten Maßnahmen wird nichts anderes erreicht, als die bremsenden Einflüsse auf den Wagen (Reibungskräfte) zu verringern. Könnte man diese vollkommen ausschließen, so müsste sich der Wagen bei genügend langer Schiene mit konstanter Geschwindigkeit immer weiter bewegen.

Der englische Physiker Isaac NEWTON (1642 – 1727) hat diese Erkenntnis in seinem *Trägheitssatz* wie folgt formuliert, ergänze die fehlenden Wörter:

Jeder _____ verharrt im Ruhezustand oder im Zustande der geradlinig gleichförmigen Bewegung so lange, bis er durch Kräfte _____
_____ wird, diesen Zustand zu ändern.

Einführung:

Auch wenn Du im Experiment M2 – 1 den Trägheitssatz von Newton nicht allein durch das Experiment, sondern durch anschließende Überlegungen gefunden hast, ist dieser Satz nicht nur reine Theorie: Du kannst seiner Gültigkeit im Alltag und in der Technik oft begegnen. Die beiden folgenden Experimente können Dir dies zeigen.

Geräte:

2 Reiter

Messwagen

1 Vierkantmuffe

zusätzlich:

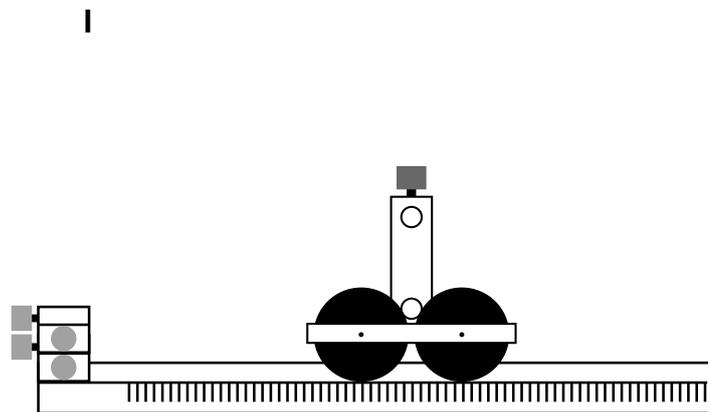
Universalschiene

Aufbau und Durchführung:

☞ Montiere die beiden Reiter wie abgebildet an das linke Ende der Schiene.

☞ Stelle die Vierkantmuffe aufrecht auf den Wagen und halte diesen am rechten Ende der Schiene fest.

☞ Setze den Wagen mit der Hand
a) sehr schnell
b) sehr langsam



in Bewegung und beobachte dabei jeweils die Vierkantmuffe. Versuche anschließend, das unterschiedliche Verhalten der Muffe beim Anfahren des Wagens zu erklären:

II

- ↪ Setze den Wagen mit der aufrecht stehenden Muffe nicht zu langsam, aber so in Bewegung, dass sich die Muffe weder beim Anfahren des Wagens noch während der Fahrt verschiebt.
- ↪ Lass das Gefährt gegen die beiden Reiter rollen.
- ↪ Beobachte das Verhalten der Muffe und erkläre anschließend, warum sie sich beim Auftreffen auf die Reiter bewegt. Berücksichtige bei Deiner Erklärung auch die Bewegungsrichtung.

- ↪ Nenne zwei Beispiele aus Deiner Erfahrungswelt, die sich in ähnlicher Weise erklären lassen:

Einführung:

Du weißt, dass eine Kraft einen Körper beschleunigen oder abbremsen, aber auch deformieren kann. Mit dem folgenden Experiment kannst Du herausfinden, was generell passiert, wenn ein Körper auf einen zweiten eine Kraft ausübt.

Geräte:

2 Reiter
2 Vierkantmuffen
2 Kraftmesserhalter

2 Stativstangen
2 Kraftmesser

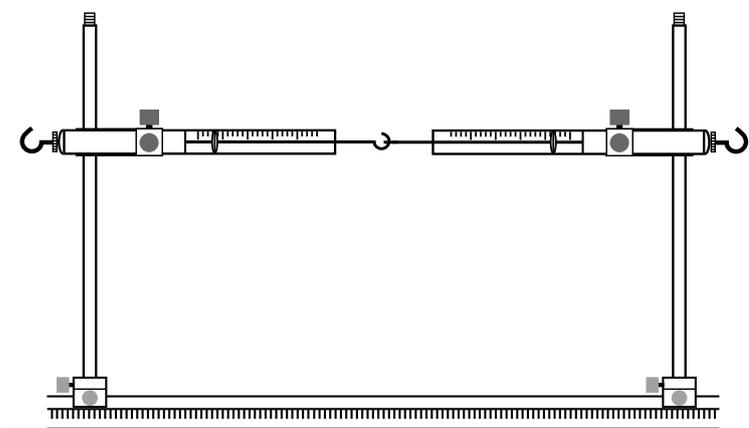
zusätzlich:

Universalschiene

Aufbau:

↪ Montiere den einen Reiter etwa bei der Marke „20“, den anderen etwa bei der Marke „65“ auf die Schiene.

↪ Befestige in jedem Reiter eine Stativstange und montiere an deren oberen Enden jeweils eine Vierkantmuffe und darin je einen Kraftmesserhalter.



↪ Korrigiere bei beiden Kraftmessern die Nullstellung in waagrechter Lage, montiere sie in je einem Kraftmesserhalter und hake sie zusammen.

↪ Verändere die Anordnung so lange, bis die beiden Kraftmesser eine horizontale Linie bilden, die weder nach oben oder unten noch seitlich einen „Knick“ hat. Die Kraftmesser sollten außerdem zu Beginn des Experiments den Wert „0“ anzeigen.

Durchführung:

I

↪ Überlege Dir, *bevor* Du experimentierst, was passieren wird, wenn Du den rechten Reiter mitsamt der Stativstange und dem Kraftmesser um 10 cm nach rechts verschiebst. Welcher der beiden Kraftmesser wird dann eine von null verschiedene Anzeige aufweisen? Kreuze erst an und führe dann das Experiment aus.

der rechte Kraftmesser

der linke Kraftmesser

beide Kraftmesser

- ↪ Schreibe kurz nieder, was tatsächlich passiert:

II

- ↪ Bringe den rechten Reiter wieder in seine Ausgangslage zurück und wiederhole das Experiment für den linken Reiter. Überlege wieder *vor* der Durchführung, welcher Kraftmesser einen von null verschiedenen Wert anzeigt.

der rechte Kraftmesser der linke Kraftmesser beide Kraftmesser

- ↪ Schreibe kurz nieder, was tatsächlich passiert, und gib auch den angezeigten Kraftbetrag an:

III

- ↪ Bringe den linken Reiter wieder in seine Ausgangslage zurück. Im folgenden Experiment sollen *beide* Reiter um je 5 cm nach außen verschoben werden. Gib zunächst an, bevor Du experimentierst, welchen ungefähren Wert die einzelnen Kraftmesser anzeigen werden.

Rechter Kraftmesser: _____ N Linker Kraftmesser: _____ N

- ↪ Führe das Experiment durch und schreibe kurz nieder, was tatsächlich passiert:

Auswertung:

Die Ergebnisse Deiner drei Experimente lassen sich in einem Satz zusammenfassen. Ergänze die fehlenden Wörter:

Übt ein _____ A auf einen Körper B eine Kraft aus, so übt B eine _____ große, aber _____ gerichtete Kraft auf A aus.

Einführung:

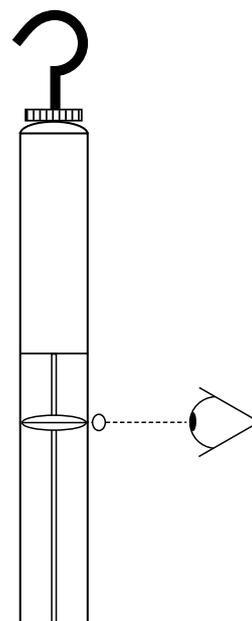
Im Experiment M2 – 1 wurden der Reiter und der Messwagen bei ihrer Bewegung durch Reibungskräfte unterschiedlich stark abgebremst. Dies liegt zunächst daran, dass hier zwei verschiedene Reibungsarten auftraten: die *Gleitreibung* (Reiter) und die *Rollreibung* (Messwagen). Aber auch die unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit von Reiter und Rädern dürfte dabei eine Rolle spielen. Im folgenden Experiment kannst Du herausfinden, ob die Gleitreibungskraft auch von der Gewichtskraft und der Auflagefläche des gleitenden Körpers abhängt und gegebenenfalls wie sich diese Abhängigkeit mathematisch beschreiben lässt. Dabei wirst Du eine dritte Art von Reibungskraft entdecken.

Geräte:

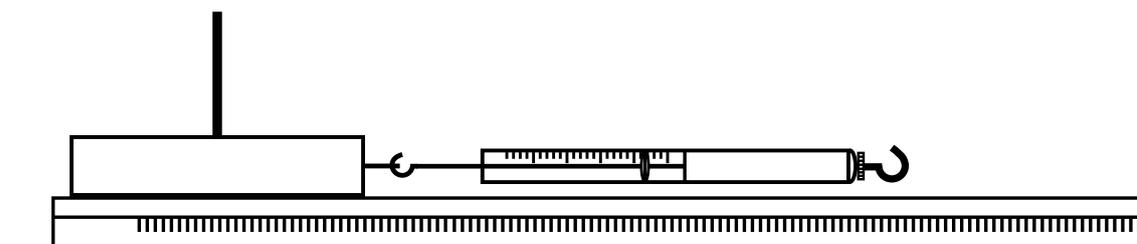
Reibungsklotz	1 Kraftmesser
Lagerstift	4 Schlitzgewichte 50 g
zusätzlich:	Universalschiene

Durchführung:

- I
- ↪ Halte den Kraftmesser *senkrecht* in Augenhöhe und überprüfe seine Nullstellung. Korrigiere sie gegebenenfalls.
 - ↪ Stecke den Lagerstift in die Bohrung der breiteren Fläche des Reibungsklotzes und bestimme die gemeinsame Gewichtskraft G von Klotz und Stift. Trage Deinen Messwert jeweils in die erste Spalte der Tabellen 1 und 2 ein.
 - ↪ Halte anschließend den Kraftmesser waagrecht und stelle für diese Lage die Nullmarke ein.
 - ↪ Setze den Reibungsklotz am linken Schienenende auf die Universalschiene und hänge den Kraftmesser an seinem Haken ein.
 - ↪ Wenn Du nachher den Klotz mit Hilfe des Kraftmessers über die Schiene ziehst, solltest Du folgende Punkte beachten:
 - (1) Der Kraftmesser muss vollkommen waagrecht bleiben und sich etwa einen halben Zentimeter über der Schiene befinden.
 - (2) Ziehe den Klotz immer mit der gleichen konstanten Geschwindigkeit über die Schiene, auch in Teil II.



- (3) Der Klotz muss die Schiene immer mit seiner gesamten Rechteckfläche berühren. Dies kannst Du mit der Zugrichtung des Kraftmessers regulieren.
- (4) Der Kraftmesser sollte nach einem anfänglich größeren Ausschlag innerhalb eines Telexperiments immer einen konstanten Wert anzeigen.



- ↪ Ziehe auf diese Weise den Klotz über die Schiene, lies den Betrag der Kraft F am Kraftmesser ab und trage ihn in die Tabelle 1 ein.
- ↪ Wiederhole diesen Schritt für verschiedene Gewichtskräfte, indem Du zunehmend Schlitzgewichte von je 50 g Masse auf den Lagerstift setzt. (Verwende bei der Berechnung der Gewichtswerte zur Vereinfachung den Faktor $g = 10 \text{ N/kg}$).

Tabelle 1:

G in N					
F in N					
$F : G$					

II

- ↪ Stecke den Lagerstift in die Bohrung auf der Schmalseite des Reibungsklotzes und wiederhole alle Teile von Experiment I mit der gleichen Zuggeschwindigkeit.
- ↪ Trage Deine Messwerte in die Tabelle 2 ein.

Tabelle 2:

G in N					
F in N					

Auswertung:

- (1) Berechne für jede Spalte der Tabelle 1 den Quotienten $F : G$ auf zwei geltende Ziffern und trage die Ergebnisse in die dritte Zeile der Tabelle ein.
- (2) Deute Dein Ergebnis von Teilaufgabe (1) und formuliere es in einem Satz, der etwa so beginnen könnte:

Bei der Gleitreibung _____

- (3) Vergleiche die Reibungskräfte von Teil II (Tabelle 2) mit den zugehörigen Reibungskräften von Teil I (Tabelle 1) des Experiments. Was fällt Dir auf, wenn Du berücksichtigst, dass die Breitseite des Klotzes eine doppelt so große Auflagefläche hat wie die Schmalseite? Woher rühren Deiner Meinung nach die Abweichungen?

- (4) Bei der Gleitreibung ist offensichtlich die Reibungskraft F proportional zur Gewichtskraft G (genauer: Normalkraft). Die Proportionalitätskonstante hängt nur von den beiden aneinander gleitenden Materialien und deren Oberflächenbeschaffenheit ab und heißt *Reibungszahl*. Bilde von Deinen Ergebnissen in der dritten Zeile von Tabelle 1 den Mittelwert und gib ihn hier an:

Gleitreibungszahl Holz/Aluminium = _____

- (5) Sicher hast Du beim Experimentieren bemerkt, dass der Kraftmesser jeweils zu Beginn der Bewegung einen größeren Wert angezeigt hat als während des Gleitens auf der Schiene. Die Ursache dafür liegt in einer dritten Art von Reibungskraft, der so genannten *Haftreibung*. Bringe unter der Voraussetzung, dass sich die reibenden Materialien und ihre Oberflächenbeschaffenheit nicht ändern, die drei Reibungsarten in einen Größenvergleich:

_____ < _____ < _____

Einführung:

Vorrichtungen, die den Betrag, die Richtung oder den Angriffspunkt einer Kraft verändern, heißen *Kraftwandler*. Der einfachste Kraftwandler ist das Seil. Mit dem folgenden Experiment kannst Du herausfinden, welche Merkmale einer Kraft durch ein Seil verändert werden können.

Geräte:

Schnur 50 cm
Schlitzgewichthalter

1 Kraftmesser
3 Schlitzgewichte 50 g

Durchführung:**I**

- ↪ Halte den Kraftmesser *senkrecht* in Augenhöhe und korrigiere seine Nullstellung.
- ↪ Stecke die drei Schlitzgewichte auf den Schlitzgewichthalter und hänge die Anordnung an den Kraftmesser. Lies den angezeigten Kraftbetrag ab und trage ihn in die erste Zeile der Tabelle ein.

II

- ↪ Lass die bisherige Anordnung unverändert. Hänge eine Öse der Schnur in den oberen Haken des Kraftmessers. Halte das andere Ende der Schnur so hoch, dass Du die Anzeige des Kraftmessers gut ablesen kann. Trage diesen Wert in die zweite Zeile der Tabelle ein.

III

- ↪ Löse den Kraftmesser sowohl vom Schlitzgewichthalter als auch von der Schnur.
- ↪ Hänge den Schlitzgewichthalter mit den Schlitzgewichten an das untere Ende der Schnur, das obere Ende der Schnur an den Kraftmesser. Halte den Kraftmesser wieder in Augenhöhe und trage den angezeigten Wert in die Tabelle ein.

Tabelle:

Kraftbetrag ohne Seil	
Kraftbetrag am unteren Seilende	
Kraftbetrag am oberen Seilende	

Auswertung:

Welche(s) Merkmal(e) einer Kraft wird bzw. werden durch ein Seil verändert?

- der Betrag die Richtung der Angriffspunkt

Einführung:

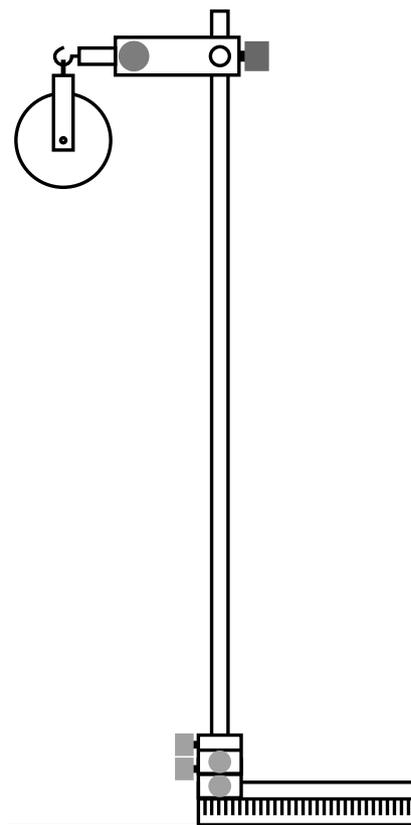
Um Lasten über mehrere Stockwerke eines Hauses zu heben, verwendet man selten nur ein Seil. Oft benützt man eine Rolle, die man an einem Balken des Daches befestigt. Da die Rolle während des Hebevorgangs ihren Platz nicht verändert, nennt man sie *ortsfeste* oder kurz *feste* Rolle.

Geräte:

3 Stativstangen	2 Reiter
1 Vierkantmuffe	Stift mit Haken
Rolle mit Haken	2 Kraftmesser
Schlitzgewichthalter	Schnur 50 cm
1 Schlitzgewicht 50 g	1 Schlitzgewicht 10 g
zusätzlich:	Universalschiene

Aufbau und Durchführung:

- ↪ Schraube die drei Stativstangen zusammen und montiere diese Kombination in den beiden Reitern an ein Ende der Schiene.
- ↪ Befestige oben die Vierkantmuffe und darin den Stift mit Haken, wie es die Abbildung zeigt. Hänge die Rolle an den Haken.
- ↪ Halte einen Kraftmesser (wir nennen ihn im Folgenden „Kraftmesser 1“) *senkrecht* in Augenhöhe und überprüfe seine Nullstellung. Korrigiere sie im Bedarfsfall.
- ↪ Hänge den Schlitzgewichthalter mit den beiden Schlitzgewichten an den Kraftmesser 1, lies den angezeigten Wert ab und trage ihn in die erste Zeile der Tabelle ein.
- ↪ Nimm den anderen Kraftmesser (Kraftmesser 2), stelle ihn auf den Kopf und reguliere die Nullstellung ein. *Sollte Dir dies nicht ganz gelingen, schätze die verbleibende Differenz in N ab und notiere sie neben der Tabelle. Du benötigst sie zur Korrektur Deiner späteren Ablesung.*
- ↪ Führe die Schnur über die Rolle, hänge an die eine Öse den Schlitzgewichthalter mit den Schlitzgewichten und bringe an der anderen den Kraftmesser 2 an. Lies den angezeigten Kraftbetrag ab, rechne gegebenenfalls die Differenz zur Nullstellung dazu und trage den Wert in die zweite Zeile der Tabelle ein.



- ↪ Während des Experiments musste der Stift mit Haken eine gewisse Kraft F aushalten. Schätze den Betrag dieser Kraft ab:

$$F = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}$$

- ↪ Hänge den Kraftmesser 1 zwischen Rolle und Haken. Wiederhole das Experiment mit den Schlitzgewichten und dem Kraftmesser 2 und lies ab, welchen Wert der Kraftmesser 1 anzeigt. Trage ihn in die dritte Zeile der Tabelle ein.

Tabelle:

Kraft ohne Rolle	
Kraft mit Rolle	
Kraft am Haken	

Differenz zur Nullstellung: $\underline{\hspace{2cm}}$ N**Auswertung:**

- (1) Welche(s) Merkmal(e) einer Kraft wird bzw. werden durch eine feste Rolle verändert?

 der Betrag die Richtung der Angriffspunkt

- (2) Warum fällt es uns Deiner Meinung nach leichter, eine schwere Last mit einer festen Rolle zu heben als nur mit einem Seil?

- (3) Gib an, aus welchen Teilkräften sich die Kraft am Haken zusammensetzt:

Einführung:

Befestigt man eine Rolle nicht an einem festen Haken, sondern an dem zu hebenden Körper, so bezeichnet man sie als *lose Rolle*. Du wirst sehen, dass eine lose Rolle ganz anders wirkt als eine feste.

Geräte:

2 Stativstangen

Stift mit Haken

Schnur 50 cm

Schlitzgewichthalter

1 Vierkantmuffe

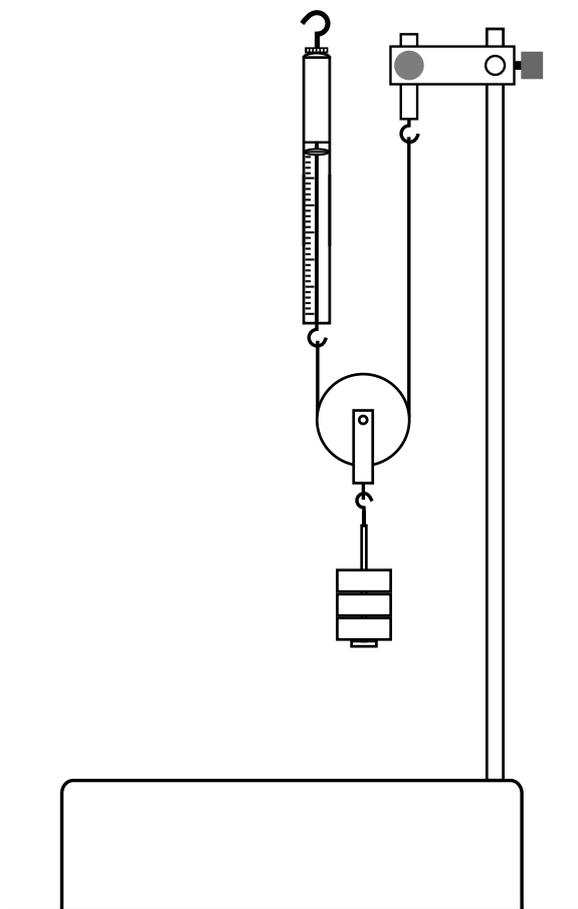
Rolle mit Haken

2 Kraftmesser

3 Schlitzgewichte 50 g

Aufbau und Durchführung:

- ↪ Fasse den Einsatz des Experimentierkastens an den beiden Griffen und hebe ihn mitsamt den Geräten heraus.
- ↪ Drehe den Kasten um. Schraube die beiden Stativstangen zusammen und schraube sie anschließend in die Buchse des Kastenbodens.
- ↪ Befestige oben die Vierkantmuffe so, dass sie sich über dem Kasten befindet, und montiere den Stift mit Haken wie in der Abbildung.
- ↪ Überprüfe bei beiden Kraftmessern die Nullstellung in senkrechter Stellung und korrigiere sie gegebenenfalls.
- ↪ Stecke die Schlitzgewichte auf den Schlitzgewichthalter und bestimme die Gewichtskraft dieser gesamten „Last“. Trage den Wert in die Tabelle ein.
- ↪ Bestimme das Gewicht der Rolle und schreibe auch diesen Wert in die Tabelle ein.
- ↪ Führe die Schnur wie abgebildet vom Haken über die Rolle zum Kraftmesser und hänge den Schlitzgewichthalter mit den Schlitzgewichten an die Rolle.
- ↪ Lies den angezeigten Kraftbetrag ab und trage ihn in die Tabelle ein.



- ↪ Schätze den Betrag der Kraft ab, die während des Experiments am Haken wirkt:

$$F = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}$$

- ↪ Füge den zweiten Kraftmesser zwischen Haken und Schnur ein. Lies den angezeigten Kraftbetrag ab und trage ihn in die Tabelle ein.

Tabelle:

Gewicht der Last G_L	
Gewicht der Rolle G_R	
Zugkraft F_{Zug}	
Kraft am Haken F_{Haken}	

Auswertung:

- (1) Welche(s) Merkmal(e) einer Kraft wird bzw. werden durch eine feste Rolle verändert?

der Betrag

die Richtung

der Angriffspunkt

- (2) Fasse Deine Beobachtungen in Worte:

- (3) Versuche, einen mathematischen Zusammenhang zwischen dem Betrag der Zugkraft und der übrigen Kraftbeträge herzustellen:

$$F_{Zug} =$$

Einführung:

Kombiniert man lose und feste Rollen, so entsteht ein *Flaschenzug*. Er hat seinen Namen von der Form des Gehäuses, in dem man früher die Rollen untergebracht hat, um das Seil am Abrutschen zu hindern. Es hatte starke Ähnlichkeit mit den damals gebräuchlichen Reise- oder Feldflaschen. Im folgenden Experiment kannst Du herausfinden, nach welcher Gesetzmäßigkeit der Betrag der Kraft am Flaschenzug von der Anzahl der Rollen abhängt.

Geräte:

2 Stativstangen

2 Reiter

Stift mit Haken

Schnur 2,4 m

Schlitzgewichthalter

2 Schlitzgewichte 10 g

zusätzlich:

1 Vierkantmuffe

Maßband

2 Dreifachrollen

1 Kraftmesser

3 Schlitzgewichte 50 g

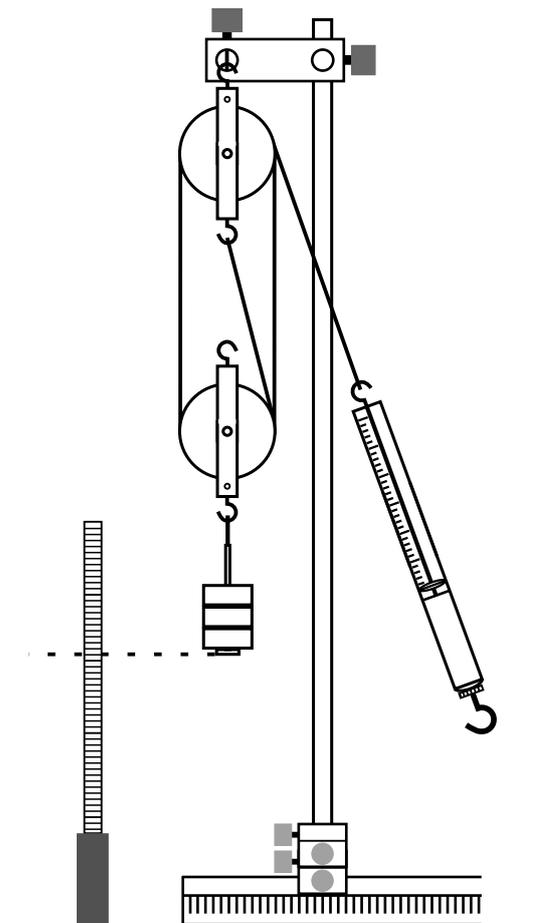
Universalschiene

Aufbau:

- ↪ Schraube die beiden Stativstangen zusammen und befestige sie mit Hilfe der Reiter auf der Schiene.
- ↪ Montiere am oberen Ende des Stativaufbaus die Vierkantmuffe und darin den Stift mit Haken.
- ↪ Hänge eine der Dreifachrollen so an den Haken, dass der Gewindestift oben ist.
- ↪ Ziehe das Maßband etwa 20 cm aus dem Gehäuse heraus.

Durchführung:

- ↪ Halte den Kraftmesser senkrecht in Augenhöhe und kontrolliere die Nullstellung.
- ↪ Stecke die Schlitzgewichte auf den Schlitzgewichthalter und bestimme die Gewichtskraft dieser „Last“. Trage den Wert in die Tabelle ein.



- ↪ Miss die Gewichtskraft der zweiten Dreifachrolle und trage auch diesen Wert in die Tabelle ein.
- ↪ Stelle den Kraftmesser auf den Kopf und reguliere die Nullstellung ein. *Sollte Dir dies nicht ganz gelingen, schätze die verbleibende Differenz in N ab und notiere sie neben der Tabelle. Du benötigst sie zur Korrektur Deiner späteren Ablesung.*
- ↪ Löse die Gewindestifte von den Halterungen der Dreifachrollen und versuche, die Schnur über alle Rollen zu führen. Beginne dabei am unteren Haken der angehängten Dreifachrolle.
- ↪ Hänge den Schlitzgewichthalter mit den Schlitzgewichten an die untere Dreifachrolle und sichere anschließend die Schnur mit den Gewindestiften.
- ↪ Schätze, *bevor* Du den Kraftmesser an das Ende der Schnur hängst, welchen Wert er anzeigen wird, und lies erst dann den Kraftbetrag ab. Berücksichtige gegebenenfalls die Ablesedifferenz und trage den korrigierten Wert in die Tabelle ein.
- ↪ Nimm den Kraftmesser ab und ziehe das Ende der Schnur so weit nach unten, dass es gerade die Schiene berührt.
- ↪ Stelle fest, an welcher Marke des Maßbandes sich das untere Ende des Schlitzgewichthalters befindet.
- ↪ Ziehe nun die Schnur so weit nach unten, dass sich dabei der Schlitzgewichthalter um genau 10 cm hebt.
- ↪ Halte das „Seil“ fest und miss, wie weit das Ende der Schnur über die Schiene hinaus gezogen wurde. Trage diesen Wert als „Seilweg“ in die Tabelle ein.
- ↪ Vergiss nicht, beim Aufräumen die Gewindestifte wieder in die Rollenhalterungen einzudrehen.

Tabelle:

Gewicht der Last G_{Last}	
Gewicht der Dreifachrolle $G_{3-Rollen}$	
Zugkraft F_{Zug}	
Seilweg s	

Differenz zur Nullstellung: _____ N

Auswertung:

- (1) Von welchen Größen hängt Deiner Meinung nach der Betrag der Zugkraft am Flaschenzug ab?

- (2) Suche einen mathematischen Zusammenhang zwischen dem Betrag der Zugkraft und den in Teilaufgabe (1) gefundenen Größen:

$$F_{\text{Zug}} =$$

- (3) Um welchen Faktor ist der Seilweg s länger als die Hubhöhe h der Last?

$$s = \underline{\hspace{2cm}} \cdot h$$

- (4) Welchen Betrag hat Deiner Meinung nach die Kraft, die während Deines Experiments am Haken in der Vierkantmuffe wirkt?

$$F = \underline{\hspace{2cm}}$$

Einführung:

Angenommen, zwei Personen müssen zusammen eine schwere Tasche tragen. Geht dies am besten, wenn sie so nahe wie möglich nebeneinander gehen, oder ist es leichter für sie, wenn sie die Arme möglichst weit seitlich wegstrecken? Mit dem folgenden Experiment kannst Du die Lösung finden.

Geräte:

4 Stativstangen
2 Reiter
2 Kraftmesserhalter
Schlitzgewichthalter

zusätzlich:

2 Vierkantmuffen
2 Kraftmesser
Fadendreieck
3 Schlitzgewichte 50 g
Universalschiene
Geodreieck (Winkelmesser)

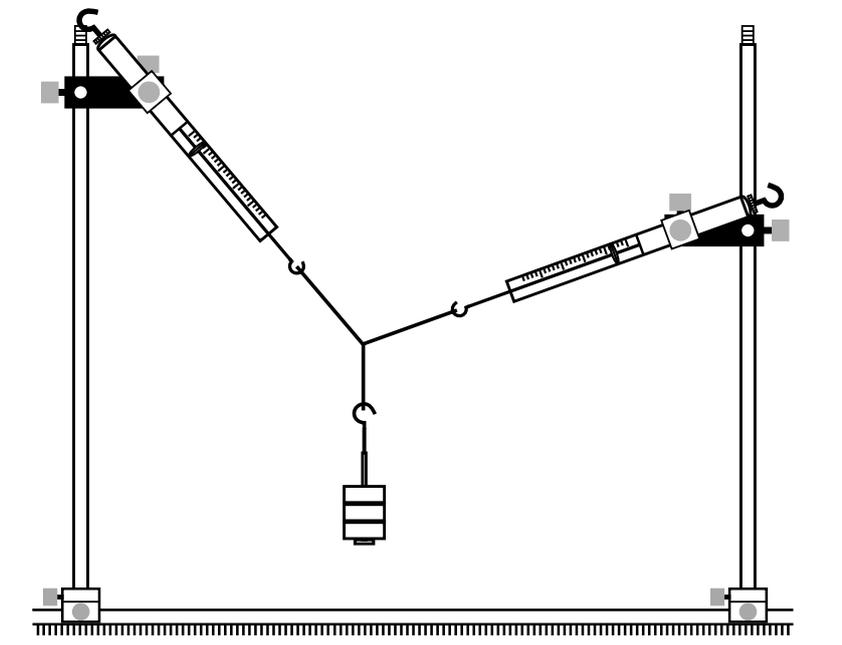
Aufbau:

↪ Schraube je zwei Stativstangen zusammen und montiere sie in den Reitern auf die Schiene.

↪ Befestige jeweils an der oberen Stange eine Vierkantmuffe und darin einen Kraftmesserhalter. Achte dabei darauf, dass die Schraube der Vierkantmuffe genau in die Nut des Kraftmesserhalters ragt, drehe sie aber nicht ganz fest: Der Halter muss sich frei drehen lassen.

↪ Montiere je einen Kraftmesser in die Kraftmesserhalter.

↪ Stecke die Schlitzgewichte auf den Schlitzgewichthalter.



Durchführung:

- ↪ Hänge die Haken der beiden Kraftmesser und des Schlitzgewichthalters je in eine Öse des Fadendreiecks und achte nochmals darauf, dass sich die Kraftmesser frei drehen können.
- ↪ Schraube die Kraftmesser in der Stellung fest, in der die Mittelachse jedes Kraftmessers und das entsprechende Teilstück des Fadendreiecks eine Gerade bilden.
- ↪ Miss die Winkel, die die Arme des Fadendreiecks im Knotenpunkt miteinander bilden, und trage sie in die Tabelle ein. Dabei bedeuten:
 \vec{F}_l = linke Kraft; \vec{F}_r = rechte Kraft; \vec{F}_u = untere Kraft.
- ↪ Überzeuge Dich, dass die Summe dieser drei Winkel auf 1 Grad genau 360° beträgt. Bei größerer Abweichung musst Du nochmals nachmessen.
- ↪ Nimm den Schlitzgewichthalter kurz ab und korrigiere *in dieser Lage* die Nullstellung der Kraftmesser. Hänge anschließend den Schlitzgewichthalter mit den Schlitzgewichten wieder an und lies die angezeigten Kraftbeträge ab. Trage sie in die Tabelle ein.
- ↪ Bestimme den Betrag der Kraft \vec{F}_u und trage auch diesen Wert in die Tabelle ein. Verwende zur Umrechnung den Faktor 9,8 N/kg.

Tabelle:

↗ ($\vec{F}_l; \vec{F}_r$)		F_l	
↘ ($\vec{F}_l; \vec{F}_r$)		F_r	
↘ ($\vec{F}_u; \vec{F}_r$)		F_u	

Auswertung:

- (1) Überzeuge Dich anhand der Messdaten, dass die Summe der Kraftbeträge F_l und F_r größer ist als der Betrag von F_u .
- (2) Zeichne von einem Punkt in der Mitte des leeren Feldes auf Seite 25 ausgehend jede der drei Kräfte als Pfeil. Berücksichtige dabei die drei Winkel und verwende pro N die Pfeillänge 3 cm.
- (3) Zeichne zu der Kraft \vec{F}_u farblich den Pfeil für die Gegenkraft \vec{F}_u^* ein.
- (4) Verbinde die Enden der Kraftpfeile \vec{F}_l und \vec{F}_r mit dem Ende des Pfeils \vec{F}_u^* durch Strecken und miss die Längen dieser Verbindungsstrecken. Was fällt Dir auf? Schreibe Dein Ergebnis kurz nieder:

- (5) Die Kraftpfeile \vec{F}_l und \vec{F}_r und die Verbindungsstrecken bilden ein Viereck. Was lässt sich über die Gestalt dieses Vierecks (annähernd) sagen?



Einführung:

Um ein Auto oder einen Bagger auf einen Transporter zu heben, verwendet man in der Regel eine *Rampe*. Sie wird in der Physik *schiefe Ebene* genannt. Die Kraft entlang ihrer Richtung ist kleiner als die Gewichtskraft. Wovon ihr Betrag abhängt, kannst Du im folgenden Experiment herausfinden.

Geräte:

2 Stativstangen
1 Reiter
Rundmuffe
Maßband
Schnur 50 cm

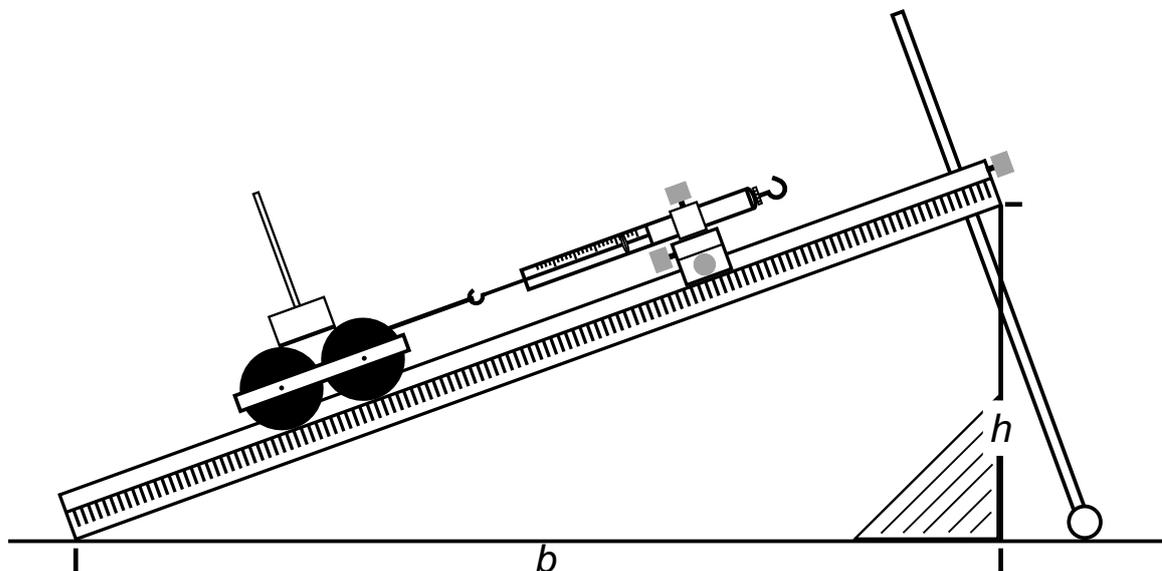
Messwagen
1 Kraftmesser
Lagerstift
4 Schlitzgewichte 50 g

zusätzlich:

Universalschiene
Geodreieck

Aufbau:

- ↪ Schraube die beiden Stativstangen zusammen, stecke sie in die Rundmuffe und baue diese Anordnung wie abgebildet an die Schiene. Wähle die Höhe h zunächst bei etwa 40 cm.



Durchführung: (Dieses Experiment kann auch arbeitsteilig durchgeführt werden)

- ↪ Kontrolliere die Nullstellung des Kraftmessers in *senkrechter* Lage.
- ↪ Stecke den Lagerstift in den Wagen und miss vorsichtig das Gewicht von Wagen und Stift. Du kannst auch die Schnur zu Hilfe nehmen. Auf keinen Fall darf dabei der Wagen zu Boden fallen. Trage den Messwert in die Tabelle 1 ein.

- ↪ Befestige den Kraftmesser im Kraftmesserhalter und montiere diesen mit Hilfe des Reiters auf die Schiene. Korrigiere die Nullstellung des Kraftmessers *in dieser Lage*.
- ↪ Falte die Schnur auf die Hälfte der Länge und verbinde damit Messwagen und Kraftmesser.
- ↪ Stecke ein Schlitzgewicht auf den Lagerstift und bestimme den Betrag der Kraft, mit der der Kraftmesser gedehnt wird. Wir nennen sie *Hangabtriebskraft F* . Lass zur präzisen Messung den Wagen erst immer etwas hin und her schwingen und lies dann den Kraftbetrag ab, bei dem der Wagen zur Ruhe kommt.
- ↪ Trage den Messwert in die Tabelle 2 ein und wiederhole das Experiment für 2, 3, 4 aufgelegte Schlitzgewichte.
- ↪ Miss die Höhe h von der unteren Kante der Schiene bis zur Tischplatte (siehe Abbildung). Trage auch diesen Wert in die Tabelle 2 ein.
- ↪ Wiederhole das Experiment für zwei weitere Höhen h , beispielsweise 30 cm und 20 cm. Korrigiere *bei jeder neuen Höhe* die Nullstellung des Kraftmessers.

Tabelle 1:

Gewichtskraft G_W von Wagen und Stift in N	
--	--

Tabelle 2:

	$h =$		$s = 100 \text{ cm}$	
aufgelegte Masse m in g				
Hangabtriebskraft F in N				
Gesamtgewicht G in N				

Tabelle 3:

	$h =$		$s = 100 \text{ cm}$	
aufgelegte Masse m in g				
Hangabtriebskraft F in N				
Gesamtgewicht G in N				

Tabelle 4:

	$h =$		$s = 100 \text{ cm}$	
aufgelegte Masse m in g				
Hangabtriebskraft F in N				
Gesamtgewicht G in N				

Auswertung:

- (1) Berechne in jeder Spalte der Tabellen 2, 3 und 4 das Gesamtgewicht von Wagen, Lagerstift und aufgelegten Schlitzgewichten. Verwende zur Umrechnung den Faktor $g = 9,8 \text{ N/kg}$.
- (2) Berechne in jeder Tabelle die Verhältnisse $F : G$ der Hangabtriebskraft zur Gesamtgewichtskraft auf zwei geltende Ziffern und trage die Quotienten jeweils in die vierte Zeile ein.
- (3) Berechne in jeder Tabelle das Verhältnis $h : s$ der Höhe zur Länge der schiefen Ebene auf zwei geltende Ziffern und trage die Quotienten jeweils in die fünfte Zeile ein. Was fällt Dir auf? Formuliere Deine Antwort möglichst in einem Satz:

Einführung:

Du weißt bereits, dass man zum Heben einer Last Kraft sparen kann, wenn man eine schiefe Ebene verwendet. Das geht aber nur, wenn das Material dieser Ebene stabil genug ist. Im folgenden Experiment kannst Du herausfinden, wie groß die Kraft ist, die senkrecht auf die schiefe Ebene wirkt, und von welchen Faktoren sie abhängt. In der Mathematik und Physik sagt man für senkrecht auch „normal“. Daher nennt man diese Kraft *Normalkraft*. Ihr Betrag ist vor allem für die Reibung maßgebend.

Geräte:

2 Stativstangen

1 Reiter

Rundmuffe

Maßband

zusätzlich:

Messwagen

2 Kraftmesser

Stift mit Haken und Schraube

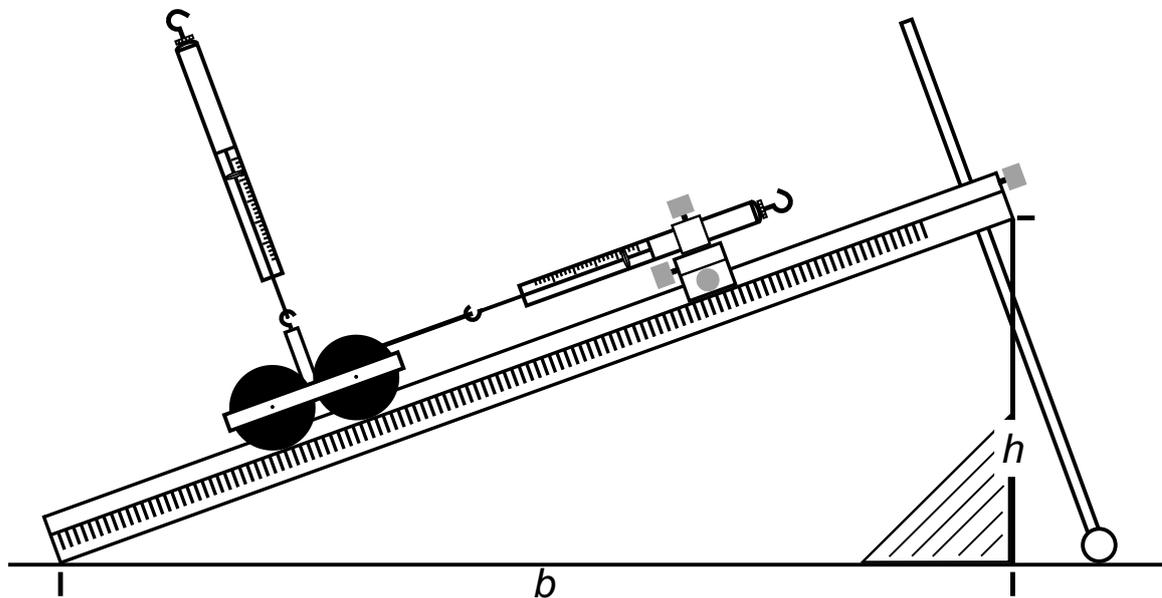
Schnur 50 cm

Universalschiene

Geodreieck

Aufbau:

- ↪ Schraube die beiden Stativstangen zusammen, stecke sie in die Rundmuffe und baue diese Anordnung wie abgebildet an die Schiene. Wähle die Höhe h zunächst bei etwa 40 cm.

**Durchführung:**

Dieses Experiment kann auch arbeitsteilig durchgeführt werden.

- ↪ Kontrolliere die Nullstellung des Kraftmessers in *senkrechter* Lage.

- ↪ Schraube den Stift mit Haken in den Wagen und miss vorsichtig das Gewicht von Wagen und Stift. Trage den Messwert in die Tabelle 1 ein.
- ↪ Befestige den ersten Kraftmesser im Kraftmesserhalter und montiere diesen mit Hilfe des Reiters auf die Schiene. Korrigiere die Nullstellung des Kraftmessers *in dieser Lage*.
- ↪ Falte die Schnur auf die Hälfte der Länge und verbinde damit Messwagen und Kraftmesser.
- ↪ Bestimme die *Hangabtriebskraft* F . Lass zur präzisen Messung den Wagen erst immer etwas hin und her schwingen und lies dann den Kraftbetrag ab, bei dem der Wagen zur Ruhe kommt. Trage den Messwert in die Tabelle 2 ein.
- ↪ Halte den zweiten Kraftmesser senkrecht zur schiefen Ebene und korrigiere seine Nullstellung *in dieser Lage*.
- ↪ Hebe den Messwagen mit dem Kraftmesser in senkrechter Richtung zur schiefen Ebene, bis sich gerade alle vier Räder gleichmäßig von der Schiene lösen. Lies den Kraftbetrag ab und trage ihn in die Tabelle 2 ein
- ↪ Miss die Höhe h von der unteren Kante der Schiene bis zur Tischplatte (siehe Abbildung). Trage den Wert in die Tabelle 2 ein.
- ↪ Miss ebenso die Basis b wie in der Abbildung angegeben und trage auch diesen Wert in die Tabelle 2 ein.
- ↪ Wiederhole das Experiment für zwei weitere Höhen h , beispielsweise 30 cm und 20 cm. Korrigiere *bei jeder neuen Höhe* die Nullstellung der Kraftmesser.

Tabelle 1:

Gewichtskraft G_W von Wagen und Stift mit Haken in N	
--	--

Tabelle 2:

Hangabtriebskraft F in N	
Normalkraft N in N	
Höhe h in m	
Basis b in m	

Tabelle 3:

Hangabtriebskraft F in N	
Normalkraft N in N	
Höhe h in m	
Basis b in m	

Tabelle 4:

Hangabtriebskraft F in N	
Normalkraft N in N	
Höhe h in m	
Basis b in m	

Auswertung:

- (1) Berechne in jeder Tabelle die Verhältnisse $N : G$ der Normalkraft zur Gewichtskraft auf zwei geltende Ziffern und trage die Quotienten jeweils in die fünfte Zeile ein.
- (2) Berechne in jeder Tabelle das Verhältnis $b : s$ der Basis zur Länge der schiefen Ebene auf zwei geltende Ziffern und trage die Quotienten jeweils in die sechste Zeile ein. Dabei ist s genau 100 cm. Was fällt Dir auf? Formuliere Deine Antwort möglichst in einem Satz:

- (3) Falls Du den Satz des Pythagoras kennst: Überprüfe für jede Tabelle, ob jeweils gilt: $F^2 + N^2 = G^2$ und trage die Ergebnisse in die letzten Zeilen der Tabellen ein. Wo liegen Deiner Meinung nach die Gründe für die Abweichung?

Einführung:

In den Experimenten M2 – 8 und M2 – 10 hast Du zwei Maschinen kennen gelernt, den Flaschenzug und die schiefe Ebene. Eine Maschine kann die physikalische Arbeit nicht verkleinern, sie kann nur die Kraft und den Weg in ein dem Menschen angenehmes Verhältnis setzen. Dadurch wird die aufzubringende Arbeit in den meisten Fällen sogar größer. Der *Wirkungsgrad* einer Maschine gibt an, in welchem Verhältnis die gewonnene oder genutzte Arbeit zur tatsächlich aufgewandten Arbeit steht:

$$\text{Wirkungsgrad } \eta = \frac{\text{gewonnene Arbeit}}{\text{aufgewandte Arbeit}}$$

Im folgenden Experiment kannst Du den Wirkungsgrad der beiden oben genannten Maschinen bestimmen.

Geräte:

2 Stativstangen	Reibungsklotz
1 Reiter	1 Kraftmesser
Rundmuffe	Stift mit Haken
1 Vierkantmuffe	2 Schlitzgewichte 50 g
Lagerstift	2 Dreifachrollen
Maßband	Schnur 2,4 m
zusätzlich:	Universalschiene
	Geodreieck

Durchführung:**I**

- ↪ Baue eine schiefe Ebene wie in Experiment M2 – 10 auf. Stelle die Höhe h auf genau 20 cm ein.
- ↪ Korrigiere die Nullstellung des Kraftmessers *parallel zur Schiene*.
- ↪ Stecke den Lagerstift und die beiden Schlitzgewichte auf den Reibungsklotz und ziehe diesen am Kraftmesser mit konstanter Geschwindigkeit auf der Schiene nach oben. Lies dabei den angezeigten Kraftbetrag ab und trage ihn in die Tabelle 1 ein.

II

- ↪ Stelle den Kraftmesser auf den Kopf und reguliere die Nullstellung ein. *Schätze gegebenenfalls die verbleibende Differenz in N ab und notiere sie oberhalb der Tabelle 2. Du benötigst sie zur Korrektur Deiner späteren Ablesung.*
- ↪ Baue wie in Experiment M2 – 8 einen Flaschenzug auf und hänge an die untere Dreifachrolle den Reibungsklotz mit dem Lagerstift.

- ↪ Lege die beiden Schlitzgewichte vorsichtig auf den Reibungsklotz und ziehe diesen mit dem Kraftmesser am Flaschenzug mit konstanter Geschwindigkeit genau 20 cm hoch.
- ↪ Trage den Betrag der Zugkraft unter Berücksichtigung der Differenz zur Nullstellung in die Tabelle 2 ein.

Tabelle 1:

Zugkraft F an der schiefen Ebene	
Weg s an der schiefen Ebene	100 cm
Arbeit W an der schiefen Ebene	

Differenz zur Nullstellung: _____ N

Tabelle 2:

Zugkraft F am Flaschenzug	
Seilweg s bei $h = 20$ cm	
Arbeit W am Flaschenzug	

Auswertung:

- (1) Übertrage das Gesamtgewicht G von Reibungsklotz, Lagerstift und 2 Schlitzgewichten aus Experiment M2 – 4 in die Tabelle 3 und berechne die (gewonnene) Hubarbeit für die Höhe 20 cm nach der Gleichung $W_{Hub} = G \cdot h$. Trage Dein Ergebnis in die Tabelle 3 ein.
- (2) Berechne in Tabelle 1 die Arbeit an der schiefen Ebene nach der Gleichung $W_{schiefe Ebene} = F \cdot s$. Berechne anschließend mit Hilfe der gewonnenen Arbeit W_{Hub} den Wirkungsgrad $\eta_{schiefe Ebene}$ und trage seinen Wert in die Tabelle 3 ein.
- (3) Berechne die Arbeit am Flaschenzug nach der Gleichung $W = F \cdot s$. Trage den Wert in die Tabelle 2 ein und berechne anschließend mit Hilfe der gewonnenen Arbeit W_{Hub} den Wirkungsgrad $\eta_{Flaschenzug}$. Trage seinen Wert in die Tabelle 3 ein.

Tabelle 3:

Gesamtgewicht G	
Gewonnene Arbeit W_{Hub}	
$\eta_{schiefe Ebene}$	
$\eta_{Flaschenzug}$	

Einführung:

Die Energie eines abgeschlossenen Systems kann weder vermehrt noch verringert, sondern nur in andere Energieformen umgewandelt werden. Dies kannst Du im folgenden Experiment für den Fall der mechanischen Energie genauer beobachten.

Geräte:

1 Stativstange

Rundmuffe

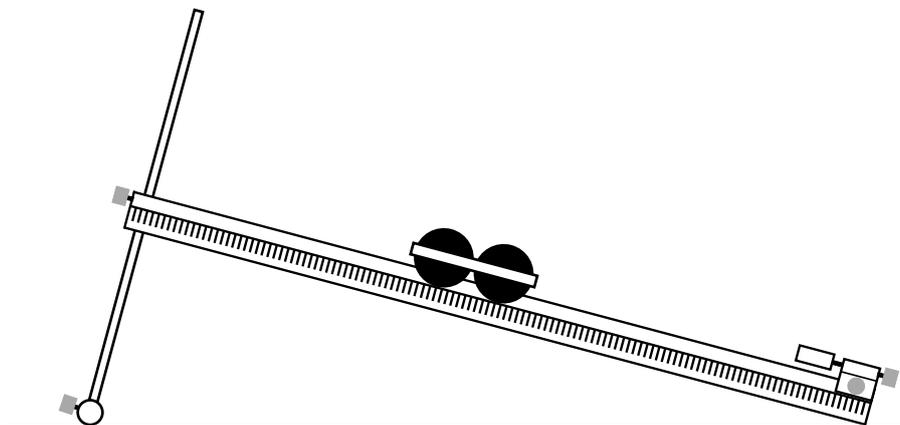
1 Reiter

Prallfeder

Messwagen

zusätzlich:

Universalschiene

Aufbau:

- ↪ Baue mit der Stativstange, der Rundmuffe und der Schiene eine schiefe Ebene.
- ↪ Stecke die Prallfeder in den Reiter und montiere diesen so an das untere Ende der Schiene, dass die Feder den Wagen auffangen kann.
- ↪ Wähle die Höhe der schiefen Ebene nicht größer als 20 cm, um die Prallfeder zu schonen.

Durchführung und Auswertung:

- ↪ Halte den Wagen etwa in der Schienenmitte fest. Beobachte nach dem Loslassen, welche Energieformen auftreten und wo sie in andere umgewandelt werden. Wiederhole diesen Schritt mehrmals und beantworte dann die folgenden Fragen:

(1) Welche Energiearten kannst Du bei diesem Experiment erkennen?

(2) An welchen Stellen der Schiene sind die in Teilaufgabe (1) gefundenen Energiearten jeweils am größten?

(3) Gibt es Stellen, an denen alle in Teilaufgabe (1) gefundenen Energiearten gleichzeitig auftreten? Wenn ja, wo?

(4) Warum erreicht der Wagen beim Rücklauf seine Ausgangshöhe nicht mehr voll?
