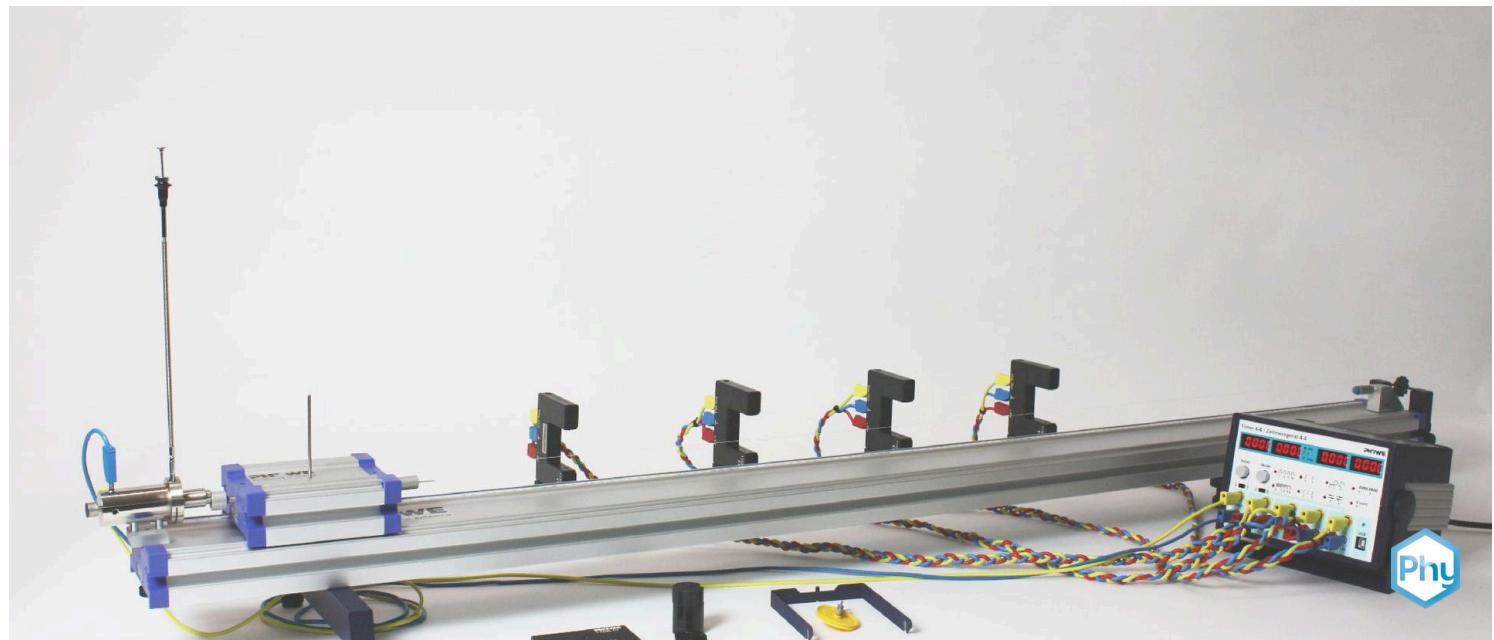


Äquivalenz von träger und schwerer Masse mit der Rollenfahrbahn und Zeitmessgerät 4-4



Physik

Mechanik

Energieerhaltung & Impuls



Schwierigkeitsgrad

mittel



Gruppengröße

2



Vorbereitungszeit

20 Minuten



Durchführungszeit

10 Minuten

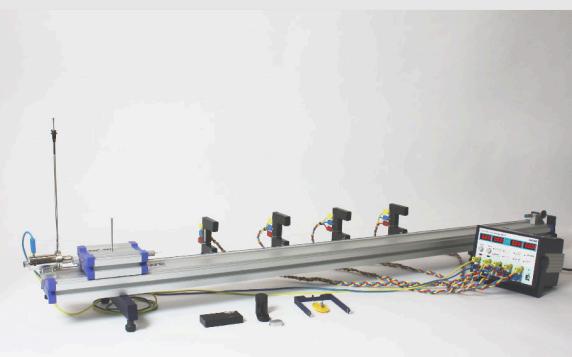
This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/5f116b1926112d0003db5dfa>



Allgemeine Informationen

Anwendung



Versuchsaufbau

Die Masse eines Körpers lässt sich auf unterschiedliche Arten bestimmen; durch Wiegen der schweren Masse oder durch das Messen der Beschleunigung bei einer bekannten konstanten beschleunigenden Kraft, woraus sich die träge Masse ergibt. Dabei wird vorausgesetzt, dass schwere und träge Masse äquivalent sind.

In diesem Versuch wird ein Wagen mit verschiedenen schweren Massen auf der Rollenfahrbahn beschleunigt, seine träge Masse bestimmt und der Zusammenhang zwischen schwerer und träger Masse hergeleitet.

Sonstige Informationen (1/2)

PHYWE

Vorwissen



Die Schüler sollten über sein gutes Verständnis der klassischen Bewegungsgleichungen und Newtonschen Axiome verfügen.

Prinzip



Bisher wurde im Zusammenhang mit dem Gewicht eines Körpers und seiner Bewegung stets der Begriff der Masse verwendet.

Dabei handelt es sich prinzipiell um zwei unterschiedliche Eigenschaften, die schwere und die träge Masse.

Im Allgemeinen werden sie aufgrund ihrer Äquivalenz nicht unterschieden, es soll dennoch darauf aufmerksam gemacht werden, dass es sich grundsätzlich um unabhängige Eigenschaften handelt.

Sonstige Informationen (2/2)

PHYWE

Lernziel



Es soll zwischen den beiden physikalischen Eigenschaften Gewicht und Masse eines Körpers unterschieden werden können.

Aufgaben



1. Bestimmung der schweren Gesamt- und der Antriebsmasse durch Wiegen.
2. Bestimmung der Beschleunigung des Rollwagens und daraus der tragen Masse des Systems.
3. Vergleich von schwerer und träger Masse.

Sicherheitshinweise



Für diesen Versuch gelten die allgemeinen Hinweise für das sichere Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht.

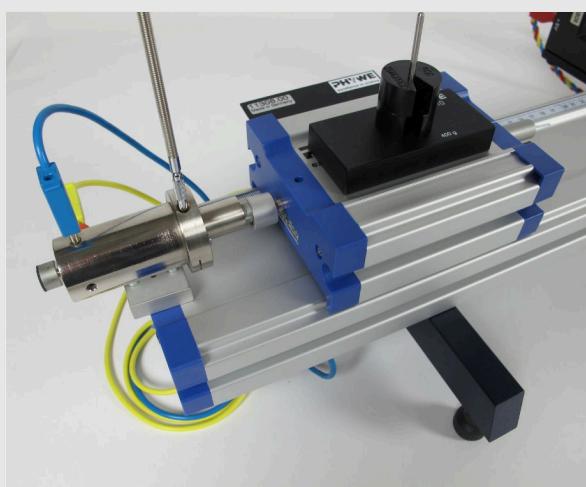
Material

Position	Material	Art.-Nr.	Menge
1	Rollenfahrbahn, Aluminium, $l = 1,5$ m	11305-00	1
2	Messwagen, saphirgelagert	11306-00	1
3	Blende für Messwagen Demo-Rollenfahrbahn $b=100$ mm	11308-00	1
4	Nadel mit Stecker	11202-06	1
5	Röhrchen mit Stecker	11202-05	1
6	Plastilina, 10 Stangen	03935-03	1
7	Endhalter für Rollenfahrbahn	11305-12	1
8	Startvorrichtung für Rollenfahrbahn	11309-00	1
9	Haltemagnet mit Stecker	11202-14	1
10	Umlenkrolle	11305-10	1
11	Halter für Umlenkrolle	11305-11	1
12	Gewicht (400 g) für Messwagen	11306-10	1
13	Schlitzgewicht, schwarzlackiert, 50 g Bauart PHY	02206-01	3
14	Schlitzgewicht, schwarzlackiert, 10 g Bauart PHY	02205-01	4
15	Gewichtsteller, silberbronziert, 1 g	02407-00	1
16	Schlitzgewicht, blank, 1 g	03916-00	20
17	Bindfaden, Polyester, auf Röllchen, $l = 200$ m	02412-00	1
18	Gabellichtschanke compact	11207-20	4
19	Halter für Lichtschanke	11307-00	4
20	PHYWE Zeitmessgerät 4 - 4	13604-99	1
21	Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, rot Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07363-01	4
22	Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, gelb Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07363-02	5
23	Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, blau Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07363-04	5
24	Kompaktwaage OHAUS CR2200, 2.200 g : 1 g	48914-00	1



Aufbau und Durchführung

Aufbau (1/6)



Startvorrichtung ohne Stoß

1. Um geringe Reibungseffekte zu kompensieren, ist die Fahrbahn über die Stellschrauben an den Füßen etwas schräg zu stellen, sodass der Messwagen gerade noch nicht nach rechts zu rollen beginnt.

2. An dem linken Ende der Bahn ist eine Startvorrichtung anzubringen.

Beachten Sie, dass zum Start des Wagens mit Anfangsimpuls die Startvorrichtung so montiert werden muss, dass sich der Stempel beim Auslösen vom Messwagen entfernt.

Aufbau (2/6)

PHYWE



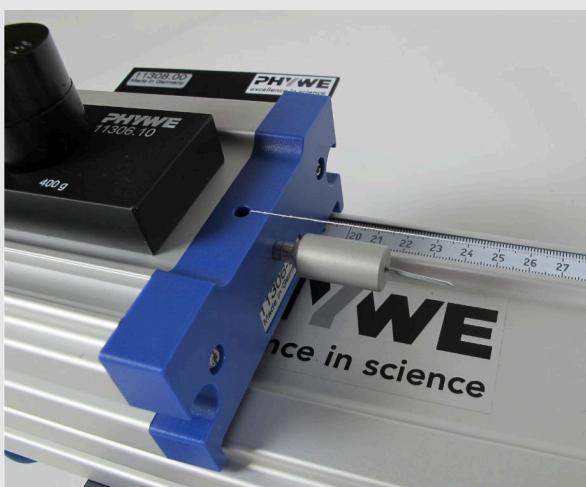
Endhalter mit Plastilina

3. An den Endhalter am rechten Ende der Bahn wird ein mit Plastilina gefülltes Röhrchen gesteckt, um den Wagen ohne harten Stoß abzubremsen.

4. Die Umlenkrolle wird mit dem Halter für Umlenkrolle am rechten Ende der Fahrbahn befestigt und das Inkrementalrad eingesetzt.

Aufbau (3/6)

PHYWE



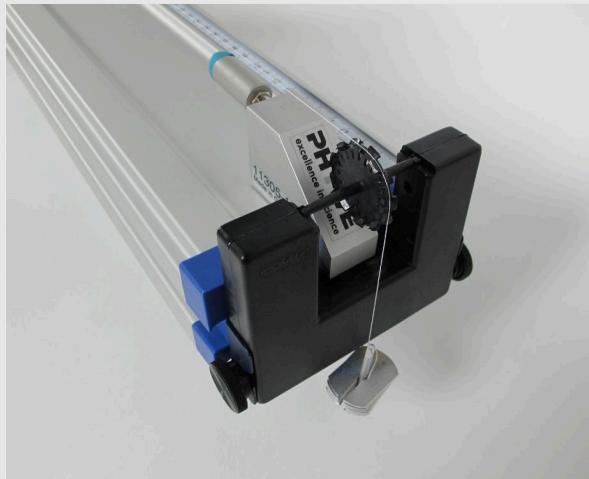
Befestigung des Fadens am Wagen

5. Der Messwagen wird mit dem Haltemagneten mit Stecker sowie der Blende für Messwagen ($b = 100$ mm) bestückt.

6. Der Anfang des Fadens wird von oben in die vertikale Bohrung der Wagenendkappe gesteckt und durch das frontale Einsticken der Nadel mit Stecker fixiert.

Aufbau (4/6)

PHYWE



Positionierung des Gewichtstellers

7. Der Faden wird über das Inkrementalrad der Umlenkrolle gelegt und mit dem Ende so am Gewichtsteller verknotet, dass dieser, wie in der Abbildung gezeigt, unmittelbar unterhalb des Rads frei hängt. Als konstant beschleunigende Kraft dient der Gewichtsteller samt der auf ihm liegenden 5-20 Schlitzgewichte (je 1g). Es ist darauf zu achten, dass der Faden parallel zur Fahrbahn verläuft.

8. Die Masse des Wagens kann mittels der schwarzlackierten Gewichte variiert werden.

Aufbau (5/6)

PHYWE



Freigabe der Lichtschranken nach Blendendurchgang

9. Die vier Gabellichtschranken werden mit den Lichtschrankenhaltern an der Fahrbahn montiert und gleichmäßig über die Messstrecke verteilt.

Achten Sie darauf, dass alle Lichtschranken beim Rollen des Wagens vom hinteren Teil der Blende durchlaufen werden können, bevor der Gewichtsteller den Boden berührt.

10. Die Gabellichtschranken werden von links nach rechts der Reihe nach mit den Buchsen in den Feldern „1“ bis „4“ des Zeitmessgerätes verbunden.

Dabei werden die gelben Buchsen der Lichtschranken mit den gelben Buchsen des Messgerätes verbunden, die roten mit den roten und die blauen Buchsen der Lichtschranken mit den weißen Buchsen des Zeitmessgerätes.

Aufbau (6/6)

PHYWE



Anschließen der Lichtschranken und der Startvorrichtung

- 11.** Die Startvorrichtung ist mit den beiden Anschlussbuchsen „Start“ des Zeitmessgerätes zu verbinden.

Dabei ist auf korrekte Polarität zu achten.

Die rote Buchse der Startvorrichtung wird mit der gelben Buchse des Zeitmessgerätes verbunden.

- 12.** Die beiden Schiebeschalter am Zeitmessgerät werden zur Wahl der Triggerflanke in die rechte Position „fallende Flanke“ (▼) gebracht.

Durchführung (1/2)

PHYWE

- Der Messwagen wird durch den Starter freigelassen und erfährt eine konstante Beschleunigung, bis der Gewichtsteller den Boden berührt. Anschließend rollt er mit konstanter Geschwindigkeit weiter.
- Zunächst sind die Zeiten $t_1 \dots t_4$, welche vom Start bis zum Erreichen der jeweiligen Lichtschranken benötigt werden, in Modus 2 (s 1 2 3 4) zu bestimmen. Anschließend wird zum Ermitteln der entsprechenden Geschwindigkeiten eine Messung in Modus 1 () vorgenommen.

Beim Durchführen dieser Messung werden die Abschattzeiten $\Delta t_1 \dots \Delta t_4$ der vier Gabellichtschranken bestimmt; aus diesen wiederum wird später über die Blendenlänge (100 mm) die mittlere Geschwindigkeit während der entsprechenden Durchfahrt berechnet.

Durchführung (2/2)

3. Die Messzeiten werden für verschiedene Wagenmassen bei konstanter Masse des Gewichtstellers bis zu fünfmal aufgenommen. Vor jeder Durchführung ist die Taste „Reset“ zum Zurücksetzen der Anzeigen zu betätigen. Vor Beginn einer neuen Messreihe wird mit einer Waage die schwere Gesamtmasse $m_s = m_W + m_A$ (Wagenmasse und beschleunigende Masse des Antriebskörpers) bestimmt.

4. Die schwere Masse eines Körpers ist zu der an ihm angreifenden Gewichtskraft F_g proportional, sie ist für den Antriebskörper (m_A , Gewichtsteller mit Gewichten) mit einer Waage zu bestimmen.

Auswertung (1/8)

Messbeispiel für Lichtschranke 1

F_g in N	m_s in kg	t_{1m} in s	Δt_{1m} in s	v_1 in m/s	a_1 in m/s ²
0,0981	0,41	1,235	0,293	0,341	0,276
0,0981	0,55	1,436	0,344	0,291	0,202
0,0981	0,81	1,781	0,43	0,233	0,131

Messbeispiel für Lichtschranke 2

F_g in N	m_s in kg	t_{2m} in s	Δt_{2m} in s	v_2 in m/s	a_2 in m/s ²
0,0981	0,41	1,776	0,22	0,454	0,256
0,0981	0,55	2,067	0,258	0,387	0,187
0,0981	0,81	2,573	0,323	0,309	0,12

Auswertung (2/8)

**Messbeispiel für Lichtschranke 3**

F_g in N	m_s in kg	t_{3m} in s	Δt_{3m} in s	v_3 in m/s	a_3 in m/s ²
0,0981	0,41	2,202	0,185	0,541	0,245
0,0981	0,55	2,566	0,217	0,46	0,179
0,0981	0,81	3,2	0,273	0,367	0,115

Messbeispiel für Lichtschranke 4

F_g in N	m_s in kg	t_{3m} in s	Δt_{3m} in s	v_3 in m/s	a_3 in m/s ²
0,0981	0,41	2,555	0,163	0,613	0,24
0,0981	0,55	2,98	0,192	0,52	0,175
0,0981	0,81	3,722	0,243	0,412	0,111

Auswertung (3/8)

**Mittelwerte der Messbeispiele**

F_g in N	m_s in kg	a_m in m/s ²	$1/a$ in s ² /m
0,0981	0,41	0,254	3,94
0,0981	0,55	0,186	5,38
0,0981	0,81	0,119	8,4

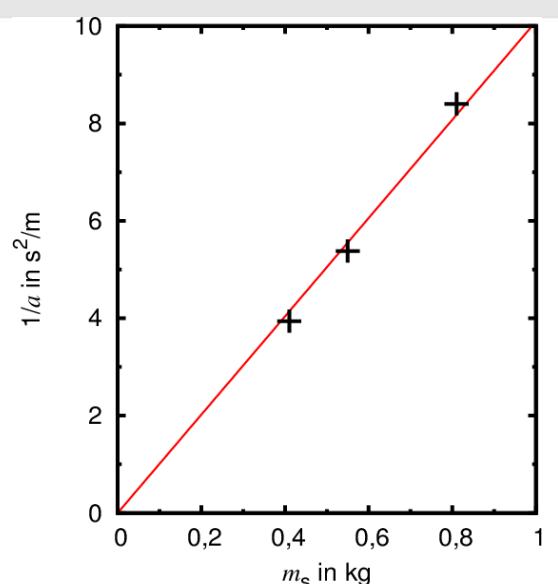
Auswertung (4/8)

1. Aus den je fünf Messungen von $t_1 \dots t_4$ und $\Delta t_1 \dots \Delta t_4$ sind die Mittelwerte $t_{1m} \dots t_{4m}$ und $\Delta t_{1m} \dots \Delta t_{4m}$ zu ermitteln.
2. Aus den Abschattzeiten werden die Geschwindigkeiten $v_{im}(t_{im}) = b/\Delta t_{im}$ sowie die Beschleunigungen $a_i = v_{im}(t_{im})/t_{im}$ mit der Blendenlänge $b = 0,1$ m bestimmt.
3. Die vier zu einer Messreihe gehörigen Beschleunigungen a_i werden gemittelt. Aus den sich daraus ergebenden Werten a_m werden die Kehrwerte der Beschleunigung $1/a_m$ bestimmt (siehe Messbeispiel 1).

Auswertung (5/8)

4. Schließlich trägt man die reziproken Beschleunigungen $1/a_m$ gegen die schwere Gesamtmasse m_s aus Wagen- und Antriebsmasse in einem Koordinatensystem auf und bestimmt die Steigung der Geraden durch diese Punkte.

Zum Vergleich sind die Werte des Messbeispiels in der Abbildung dargestellt.



Auswertung (6/8)



5. Jeder Körper besitzt die Eigenschaft der Schwere. Aufgrund der Erdanziehung erfährt er eine beschleunigende Kraft, die Gewichtskraft F_g , welche zu seiner schweren Masse m_s proportional ist (Newton'sches Gravitationsgesetz).

In diesem Versuch besteht die schwere Masse $m_s = m_W + m_A$ aus der Wagenmasse und der Masse des Antriebskörpers.

6. Wirkt auf einen Körper keine Kraft ein, verharrt dieser in seinem Bewegungszustand (1. Newton'sches Axiom). Bei Einwirken einer äußeren Kraft auf den Körper setzt dieser der Änderung seines Bewegungszustandes einen Widerstand entgegen, die Eigenschaft der Trägheit.

Je größer seine träge Masse m_t ist, desto mehr Kraft muss aufgebracht werden, um den Körper auf einen bestimmten Wert zu beschleunigen (2. Newton'sches Axiom).

Auswertung (7/8)



7. Aus den Werten des in Abb. 8 gezeigten (1/a, m_s)-Koordinatensystem ergibt sich eine Gerade durch den Ursprung. Bei konstanter beschleunigender Kraft ist die schwere Masse des Systems umgekehrt proportional zur Beschleunigung des Wagens:

$$m : s \propto \frac{1}{a} \text{ für } F_g = \text{const.}$$

Mit größerer schwerer Masse M_s verringert sich die Beschleunigung a .

8. Nach dem zweiten Newton'schen Axiom $F_g = m_t \cdot a$ ist die Masse m_t eines Körpers zu seiner Beschleunigung a umgekehrt proportional.

Sind sowohl schwere als auch träge Masse umgekehrt proportional zur Beschleunigung, so müssen schwere und träge Masse zueinander proportional sein:

$$m_s = k \cdot m_t.$$

Auswertung (8/8)

9. Die Bestimmung des Proportionalitätsfaktors k erfolgt über ein Steigungsdreieck am Graphen aus der Folie 20.

Die Steigung ergibt einen Wert von $10,1 \text{ s}^2/(\text{kg}\cdot\text{m})$, dessen Kehrwert mit $0,0990 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ der Gewichtskraft

$F_g = 0,0981 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ entspricht (vgl. Messbeispiel 1). Schwere und träge Masse müssen demnach identisch sein:

$$m_s = m_t.$$

Anmerkungen

1. Um den Abstand des Gewichtstellers zum Inkrementalrad zu verringern, kann die Fadenlänge gekürzt werden, indem am Wagen die Nadel mit Stecker mehrfach gedreht wird und somit den Faden aufwickelt.

2. Die aus Δt_i errechneten Geschwindigkeiten v_i sind genaugenommen keine Momentangeschwindigkeiten, da auf den Wagen beim Durchlaufen der Blende durch die Lichtschranke weiterhin eine Beschleunigung wirkt.

Die Geschwindigkeiten gehen somit aus einer Sekantensteigung, nicht aber aus einer Tangentensteigung des Graphen von $s(t)$ hervor. Mit $\Delta s = 0,1 \text{ m}$ muss mit einem systematischen Fehler von etwa 2 % gerechnet werden.