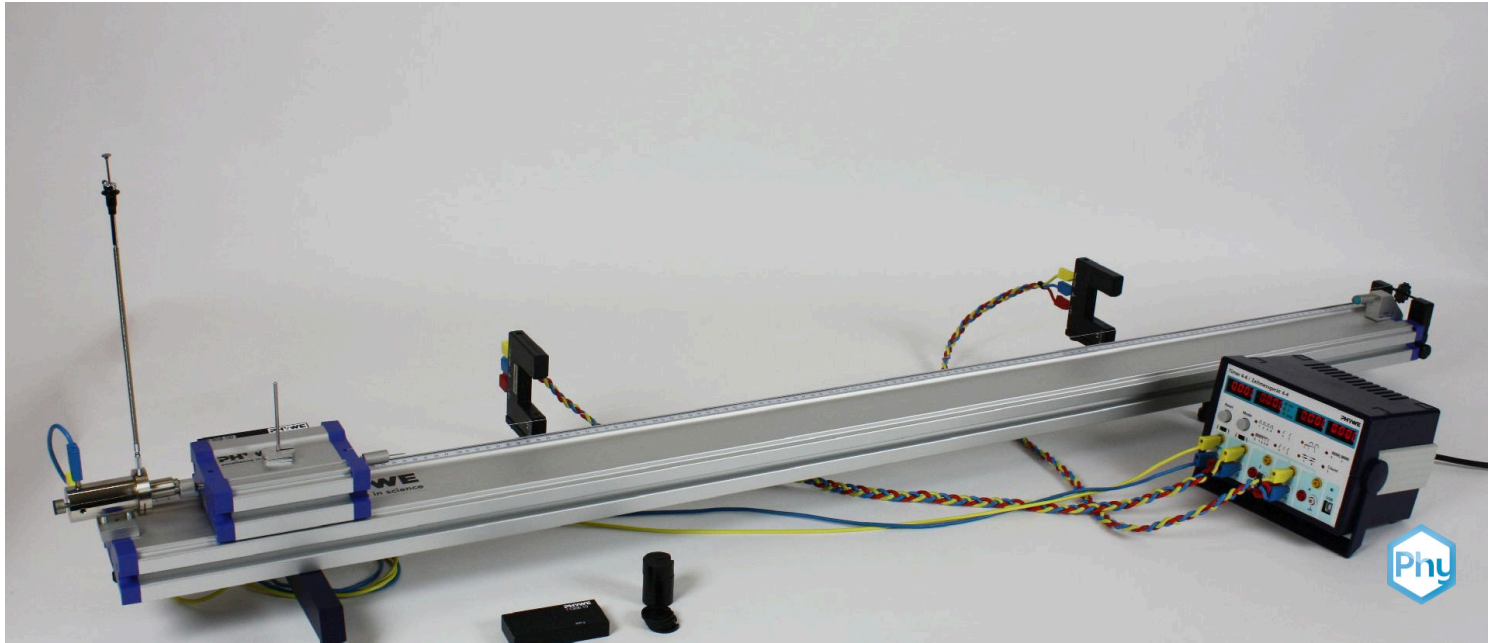


Das Newtonsche Grundgesetz (2. Newtonsches Axiom) mit der Rollenfahrbahn und Zeitmessgerät 4-4



Physik

Mechanik

Energieerhaltung & Impuls



Schwierigkeitsgrad

mittel



Gruppengröße

2



Vorbereitungszeit

20 Minuten



Durchführungszeit

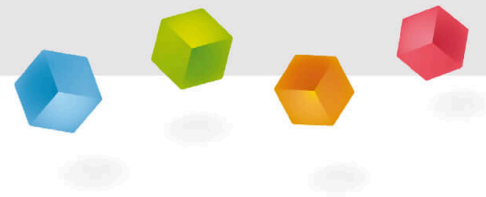
10 Minuten

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/5f116ae026112d0003db5df4>

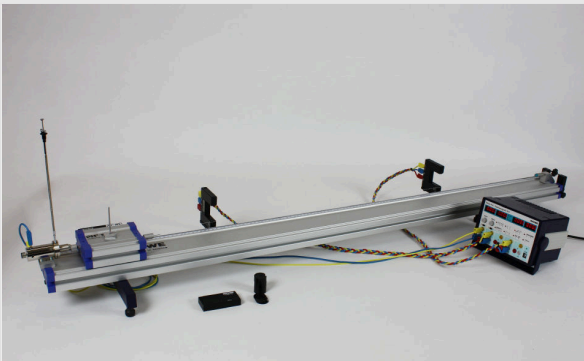
PHYWE

Allgemeine Informationen



Anwendung

PHYWE



Versuchsaufbau

Wirkt auf einen Körper eine konstante Kraft ein, so erfährt er eine konstante Beschleunigung. Seine Bewegungsänderung ist proportional zur beschleunigenden Kraft.

Hier sollen auf der Rollenfahrbahn die Zusammenhänge zwischen der Beschleunigung eines Wagens und seiner Masse bzw. der beschleunigenden Kraft beschrieben werden.

Sonstige Informationen (1/2)

PHYWE

Vorwissen



Die Schüler sollten mit dem grundlegenden Konzept und den Begrifflichkeiten der Newtonschen Axiome und den klassischen Bewegungsgleichungen vertraut sein.

Prinzip



Der Zusammenhang zwischen Masse und Beschleunigung wird für unterschiedliche träge Massen und verschiedene beschleunigende Kräfte betrachtet.

Sonstige Informationen (2/2)

PHYWE

Lernziel



Das 2. Newtonsche Axiom besagt, dass die Änderung der Bewegung eines Körpers proportional zu der wirkenden Kraft ist:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{v} = m \cdot \vec{a}$$

Aufgaben



1. Bestimmung der Beschleunigung als Funktion der beschleunigten Masse.
2. Bestimmung der Beschleunigung als Funktion der Kraft.

Sicherheitshinweise

PHYWE

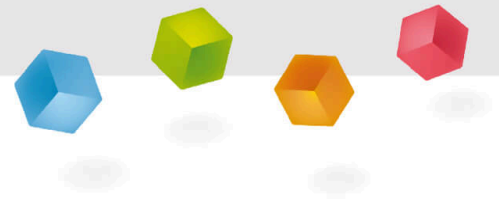
Für diesen Versuch gelten die allgemeinen Hinweise für das sichere Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht.

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=100mm	11308-00	1
4	Startvorrichtung für Rollenfahrbahn	11309-00	1
5	Haltemagnet mit Stecker	11202-14	1
6	Nadel mit Stecker	11202-06	1
7	Röhrchen mit Stecker	11202-05	1
8	Endhalter für Rollenfahrbahn	11305-12	1
9	Plastilina, 10 Stangen	03935-03	1
10	Umlenkrolle	11305-10	1
11	Halter für Umlenkrolle	11305-11	1
12	Bindfaden, Polyester, auf Röllchen, l = 200 m	02412-00	1
13	Schlitzgewicht, schwarzlackiert, 10 g Bauart PHY	02205-01	8
14	Schlitzgewicht, schwarzlackiert, 50 g Bauart PHY	02206-01	4
15	Gewicht (400 g) für Messwagen	11306-10	1
16	Schlitzgewicht, blank, 1 g	03916-00	20
17	Gewichtsteller, silberbronziert, 1 g	02407-00	1
18	Gabellichtschranke compact	11207-20	2
19	Halter für Lichtschranke	11307-00	2
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	Kompaktwage OHAUS CR2200, 2.200 g : 1 g	48914-00	1

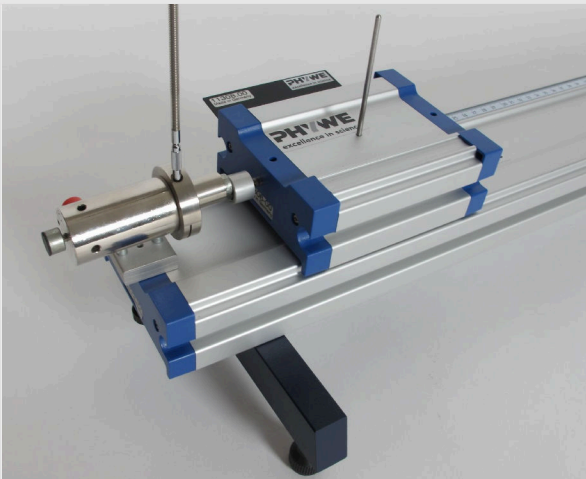
PHYWE

Aufbau und Durchführung



Aufbau (1/6)

PHYWE



Startvorrichtung ohne Stoß

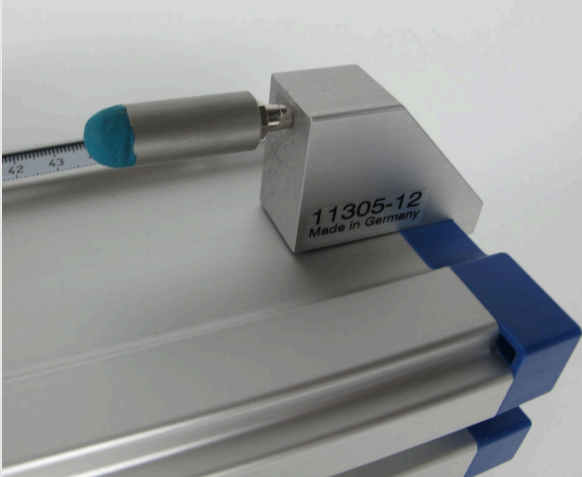
1. Um geringe Reibungseffekte zu kompensieren, ist die Fahrbahn über die Stellschrauben an den Füßen etwas schräg zu stellen, sodass der Messwagen gerade noch nicht nach rechts zu rollen beginnt.

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



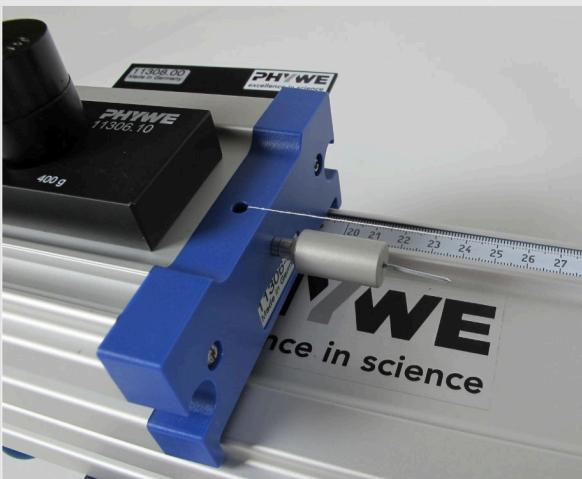
Endhalter mit Plastilina

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



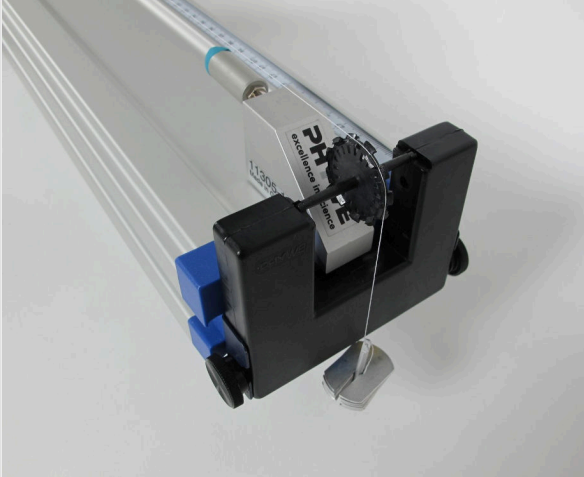
Befestigung des Fadens am Wagen

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

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

Aufbau (4/6)

PHYWE



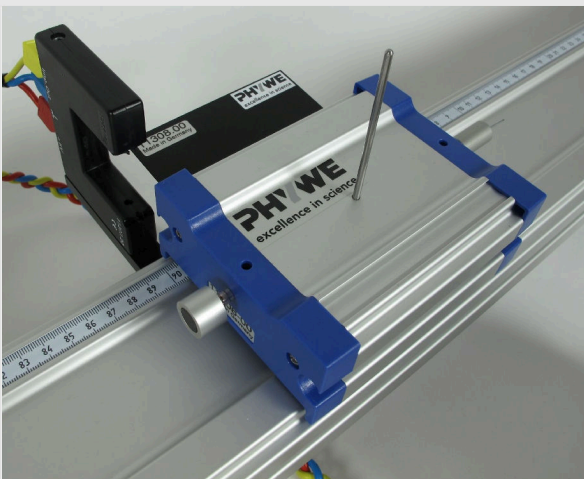
Positionierung des Gewichtstellers

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 Gewichte variiert werden.

Aufbau (5/6)

PHYWE



Freigabe der Lichtschranken nach Blendendurchgang

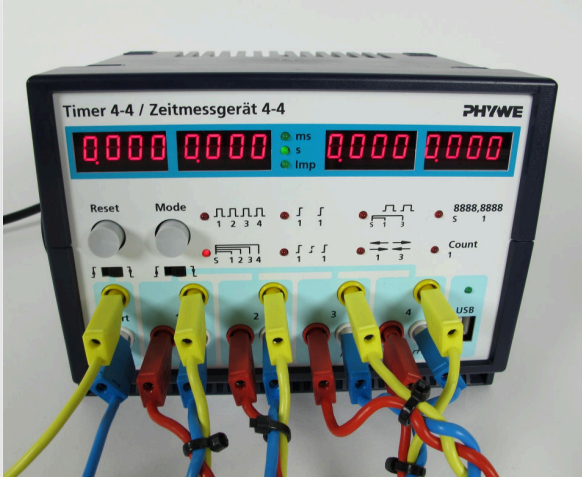
9. Zwei Gabellichtschranken werden mit den Lichtschrankenhaltern an der Fahrbahn montiert und über die Messstrecke verteilt. Achten Sie darauf, dass alle Lichtschranken beim Rollen des Wagens vom hinteren Teil der Blende durchlaufen werden können.

10. Die Gabellichtschranken werden mit den Buchsen in den Feldern „1“ und „3“ 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“ (\downarrow) gebracht.

Durchführung (1/3)

PHYWE

1. Der Wagen soll durch den Gewichtsteller eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung durchführen.

Dabei wird seine Beschleunigung zum einen in Abhängigkeit von der gesamten trägen Masse und zum anderen von der beschleunigenden Masse ermittelt.

Dazu wird mit einer Waage zunächst die Wagenmasse ohne den schwarzlackierten Zusatzgewichten bestimmt.

2. Der Messwagen wird durch den Starter freigelassen und erfährt eine konstante Beschleunigung, bis der Gewichtsteller den Boden berührt.

Durchführung (2/3)

PHYWE

3. Zum Ermitteln der Beschleunigung des Wagens wird eine Messung in Modus 5 () vorgenommen.

Hier werden zwei der Lichtschranken durchlaufen und gleichzeitig sowohl die benötigte Zeit t_i zum Erreichen der jeweiligen Lichtschranke als auch Abschattzeit Δt_i für die Dauer der Lichtschrankenunterbrechung ermittelt.

Die Zeiten zum Zurücklegen der Strecken werden auf den Digitalanzeigen 1 und 3, die Abschattzeiten auf den Anzeigen 2 und 4 ausgegeben.

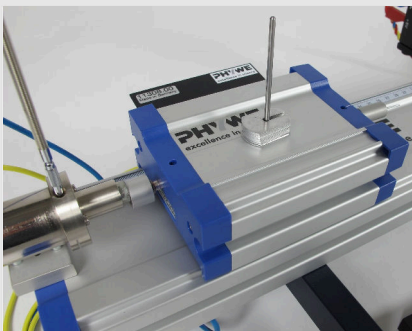
4. Die Beschleunigung des Wagens ergibt sich aus dem Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz zu

$$v(t) = a \cdot t \Leftrightarrow a = \frac{v(t)}{t} = \frac{b/\Delta t}{t}$$

mit der Blendenlänge $b = 100\text{mm}$.

Durchführung (3/3)

PHYWE



Zusatzgewichte für
Kraftmessung

5. Um die Beschleunigung als Funktion der Masse zu bestimmen, wird eine Messreihe aufgenommen, in der die Masse des Wagens in Schritten von etwa 10–50 g erhöht wird, während die beschleunigende Masse auf dem Gewichtsteller konstant bleibt.

6. Bei der Messung der Beschleunigung als Funktion der Kraft soll die Gesamtmasse konstant bleiben und die beschleunigende Kraft F_g verändert werden. Dies erreicht man durch einen Massetransfer vom Wagen zum Gewichtsteller.

Es bietet sich an, anfangs ca. zehn 1-g-Schlitzgewichte auf den Wagen zu legen (siehe Abbildung) und schrittweise für jede Messung eines davon auf den Gewichtsteller zu verschieben. Dabei sollte die beschleunigende Masse 20 g nicht überschreiten.

Auswertung (1/9)

PHYWE

Beobachtung

Eine Erhöhung der trägen Masse bei konstanter beschleunigender Kraft führt zu einer verlangsamten Bewegung des Wagens.

Eine Umverteilung der Masse verursacht Änderungen in der Beschleunigung, da zwar die Gesamtmasse gleich bleibt, jedoch ausschließlich die Masse des Gewichtstellers zur Beschleunigung des Wagens beiträgt.

Auswertung (2/9)

PHYWE

Messbeispiel 1

M_z in kg	$M+m$ in kg	t_1 in s	Δt_1 in s	t_2 in s	Δt_2 in s	$1/(M+m)$ in kg	a_m in m/s ²
0,01	0,417	2,085	0,208	2,758	0,16	2,4	0,229
0,03	0,437	2,143	0,213	2,831	0,165	2,29	0,217
0,05	0,457	2,21	0,218	2,904	0,168	2,19	0,206
0,07	0,477	2,237	0,224	2,958	0,172	2,1	0,198
0,09	0,497	2,29	0,228	3,025	0,175	2,01	0,19
0,11	0,517	2,318	0,232	3,067	0,179	1,93	0,184
0,15	0,557	2,41	0,242	3,19	0,186	1,8	0,17
0,19	0,597	2,479	0,251	3,288	0,193	1,68	0,159
0,4	0,807	2,922	0,292	3,866	0,226	1,24	0,116
0,5	0,907	3,068	0,312	4,074	0,241	1,1	0,103
0,56	0,967	3,225	0,324	4,271	0,25	1,03	0,095

Auswertung (3/9)

PHYWE

a) Beschleunigung als Funktion der trägen Masse

1. Eine Beispielmessung zur Bestimmung der Abhängigkeit von Masse und Beschleunigung ist im Messbeispiel 1 dargestellt.

Die gesamte Masse ergibt sich aus der Masse des Wagens M , bestehend aus seinem Leergewicht M_0 und den aufgelegten Zusatzgewichten M_Z , sowie aus der konstanten Masse m des Gewichtstellers.

2. Die gemessenen Zeiten t_i und Δt_i ergeben über das Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz, zusammen mit der Blendenlänge b , unmittelbar die auf den Wagen wirkende Beschleunigung a_i , welche im Rahmen der Messgenauigkeit an beiden Lichtschranken als konstant betrachtet und somit gemittelt werden kann zu

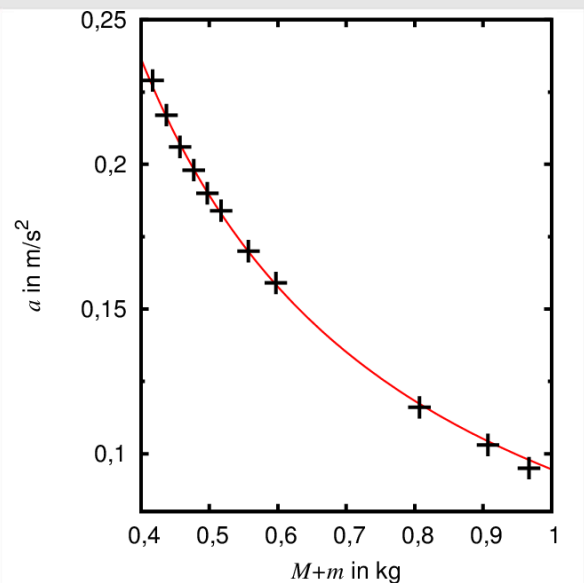
$$a_m = \frac{a_1 + a_2}{2}.$$

Auswertung (4/9)

PHYWE

3. Die Abbildung zeigt die Beschleunigung a_m , verursacht durch die Masse $m = 10$ g, als eine Funktion der trägen Masse $M + m$.

Mit zunehmender träger Masse sinkt folglich die Beschleunigung des Wagens.



Auswertung (5/9)

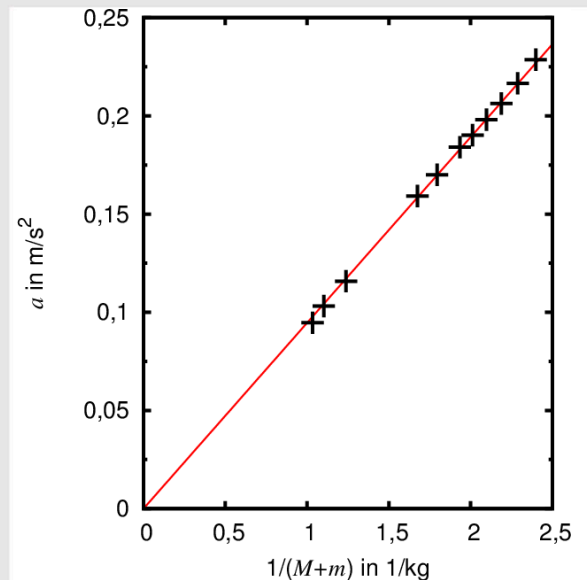
PHYWE

4. In der Abbildung sind nun dieselben Messwerte gegen den Kehrwert der trägen Masse $1 / (M + m)$ aufgetragen. Es ergibt sich eine lineare Abhängigkeit, welche sich aus der Newtonschen Bewegungsgleichung ergibt.

Im vorliegenden Fall handelt es sich um eine ein-dimensionale Bewegung, welche durch die Kraft

$$F_g = m \cdot g$$

, bestehend aus der Masse m des Gewichtstellers und der Erdbeschleunigung g , hervorgerufen wird.



Auswertung (6/9)

PHYWE

5. Da diese Masse direkt mit dem Rollwagen verbunden ist, ergibt sich das Kräftegleichgewicht

$$F - g = m \cdot g = (M + m) \cdot a = F_B$$

zwischen der Gewichtskraft F_g und der in der Bewegung des Gesamtsystems resultierenden Kraft F_B . Daraus folgt die in Abbildung 2 gezeigte Linearität zwischen der Beschleunigung und der reziproken trägen Masse:

$$a = \frac{m \cdot g}{M+m} \propto \frac{1}{M+m}.$$

Die Auswertung des gezeigten Messbeispiels liefert eine Steigung von $0,0946 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 0,0946 \text{ N}$, was in guter Übereinstimmung mit dem theoretischen Wert $m \cdot g = 0,0981 \text{ N}$ ist.

Auswertung (7/9)

PHYWE

Messbeispiel 2

m in kg	t_1 in s	Δt_1 in s	t_2 in s	Δt_2 in s	$F_g = m \cdot g$ in kg · m/s ²	a_m in m/s ²
0,01	3,225	0,324	4,271	0,25	0,098	0,095
0,011	3,025	0,309	4,022	0,239	0,108	0,106
0,012	2,847	0,295	3,799	0,228	0,118	0,117
0,013	2,766	0,284	3,681	0,219	0,128	0,126
0,014	2,677	0,273	3,558	0,21	0,137	0,135
0,015	2,555	0,265	3,406	0,203	0,147	0,146
0,016	2,481	0,258	3,31	0,198	0,157	0,154
0,017	2,386	0,249	3,188	0,191	0,167	0,166
0,018	2,35	0,242	3,129	0,185	0,177	0,174
0,019	2,281	0,234	3,055	0,18	0,186	0,185
0,02	2,237	0,23	2,976	0,177	0,196	0,192

Auswertung (8/9)

PHYWE

b) Beschleunigung als Funktion der Kraft

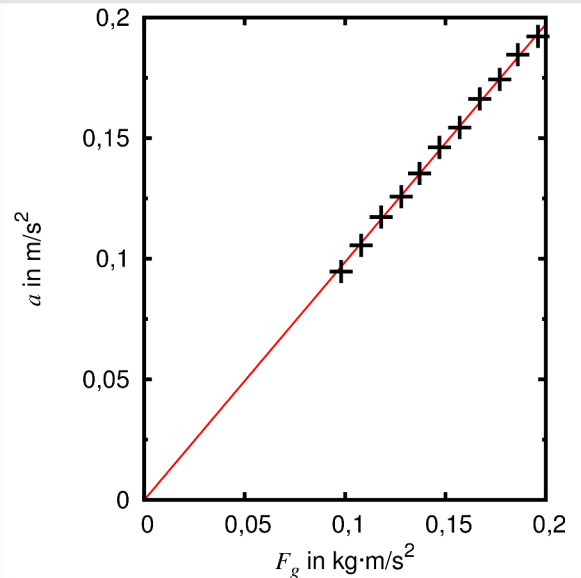
1. Messbeispiel 2 zeigt die Werte für eine Messung der Abhängigkeit von Beschleunigung und beschleunigender Masse. Während die Gesamtmasse $M + m$ konstant blieb, wurde die Masse m des Gewichtstellers schrittweise erhöht.

Auswertung (9/9)

PHYWE

2. Die lineare Abhängigkeit, welche sich ebenfalls aus dem Kräftegleichgewicht ergibt mit ist in Abbildung abgebildet.

Die Steigung des Messbeispiels liefert einen Proportionalitätsfaktor von $0,986 \frac{1}{kg}$, was einer trägen Masse von $1,014 kg$ und damit annähernd der tatsächlichen Gesamtmasse von $0,967 kg$ entspricht.



Anmerkungen

PHYWE

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 Abschattzeiten Δt_i wurden herangezogen, um die Geschwindigkeiten des Wagens zu bestimmen. Da auf den Wagen beim Durchlaufen der Blende durch die Lichtschranke weiterhin eine Beschleunigung wirkt, sind diese errechneten Geschwindigkeiten genaugenommen keine Momentangeschwindigkeiten, was die Abweichungen von einigen Prozent der Ergebnisse von den theoretischen Werten erklärt.