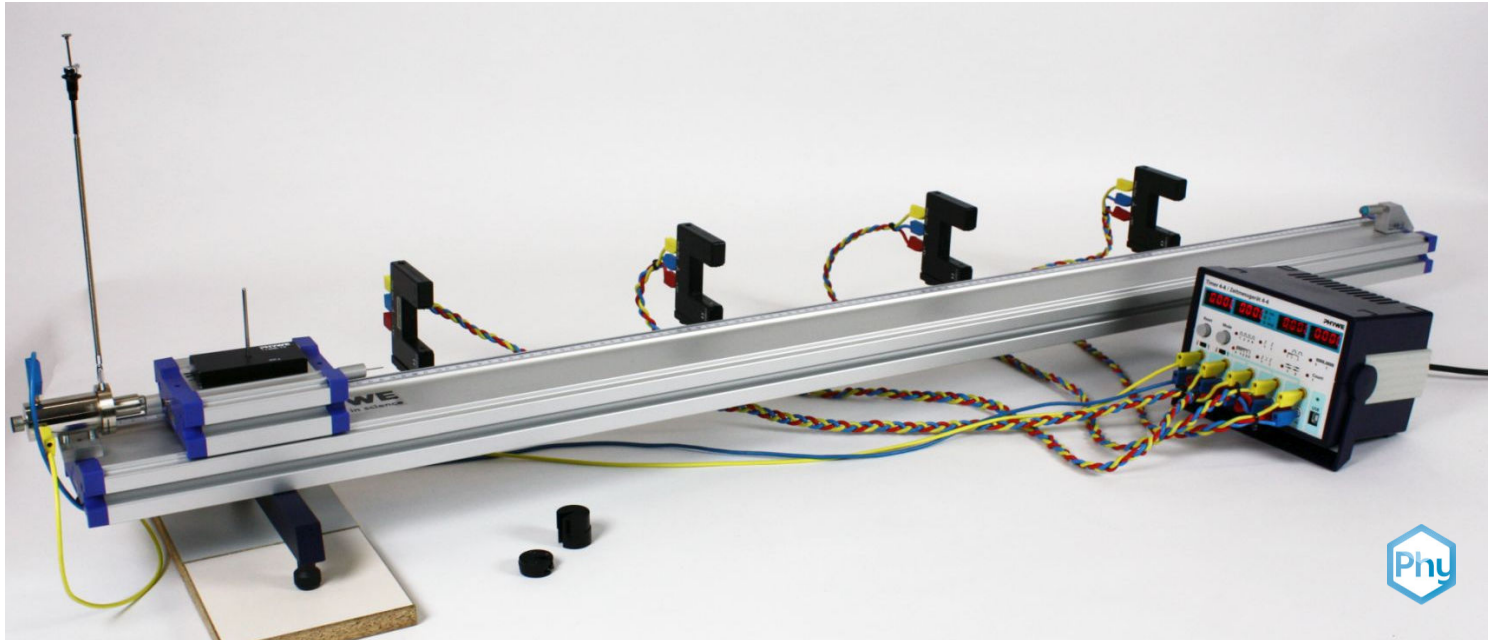


Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung auf der geneigten Bahn mit der Rollenfahrbahn und Zeitmessgerät 4-4



Physik

Mechanik

Dynamik & Bewegung



Schwierigkeitsgrad

mittel



Gruppengröße

2



Vorbereitungszeit

10 Minuten



Durchführungszeit

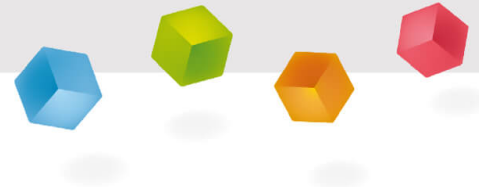
10 Minuten

This content can also be found online at:



<http://localhost:1337/c/5f11685326112d0003db5dc5>

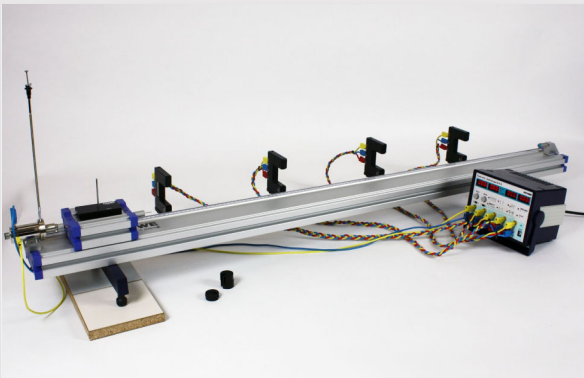
PHYWE



Allgemeine Informationen

Anwendung

PHYWE



Versuchsaufbau

Ein Körper erfährt auf einer geneigten Ebene aufgrund der an ihm angreifenden Komponente der Schwerkraft eine konstante Beschleunigung parallel zur Ebene.

Hier sollen die Bewegungsgesetze für eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung durch Fahrzeitmessungen eines Wagens auf der geneigten Rollenfahrbahn bestätigt werden.

Darüber hinaus kann unter Berücksichtigung des zweiten Newtonschen Axioms die Größe der Erdbeschleunigung verifiziert werden.

Sonstige Informationen (1/2)

PHYWE

Vorwissen



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

Prinzip



Bewegt sich ein Objekt entlang einer geneigten Ebene so erfährt diese durch das Gravitationsfeld der Erde eine konstante Beschleunigung, welche parallel zur der besagten Ebene wirkt.

Sonstige Informationen (2/2)

PHYWE

Lernziel



Wird ein Körper gleichmäßig beschleunigt, steigt die zurückgelegte Strecke gemäß dem Weg-Zeit-Gesetz quadratisch mit der Zeit an.

Aufgaben



1. Bestimmung der Weg-Zeit-Abhängigkeit aus mehreren Messzeiten nach verschiedenen zurückgelegten Strecken.
2. Bestimmung der Geschwindigkeits-Zeit-Abhängigkeit aus der Abschattzeitmessung der Lichtschranken an verschiedenen Positionen.
3. Bestimmung der Erdbeschleunigung unter Verwendung der Wagenmasse und des Neigungswinkels der Bahn.

Sicherheitshinweise

PHYWE

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

Theorie

PHYWE

Die Geschwindigkeit verläuft nach dem Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz linear:

$$s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2, v(t) = a \cdot t$$

Abhängig vom Neigungswinkel der Bahn führt die auf den Wagen wirkende Schwerkraft zu einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung proportional zur Erdbeschleunigung:

$$a = g \cdot \sin(\alpha)$$

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	Nadel mit Stecker	11202-06	1
5	Röhrchen mit Stecker	11202-05	1
6	Plastilina, 10 Stangen	03935-03	1
7	Gewicht (400 g) für Messwagen	11306-10	1
8	Schlitzgewicht, schwarzlackiert, 50 g Bauart PHY	02206-01	2
9	Schlitzgewicht, schwarzlackiert, 10 g Bauart PHY	02205-01	4
10	Endhalter für Rollenfahrbahn	11305-12	1
11	Gabellichtschranke compact	11207-20	4
12	Halter für Lichtschranke	11307-00	4
13	Startvorrichtung für Rollenfahrbahn	11309-00	1
14	Haltemagnet mit Stecker	11202-14	1
15	PHYWE Zeitmessgerät 4 - 4	13604-99	1
16	Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, rot Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07363-01	4
17	Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, gelb Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07363-02	5
18	Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, blau Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07363-04	5
19	Unterlegklötze, 150 mm, 4 Stück	02070-00	1
20	Maßband, l = 2 m	09936-00	1
21	Kompaktwaaage OHAUS CR2200, 2.200 g : 1 g	48914-00	1

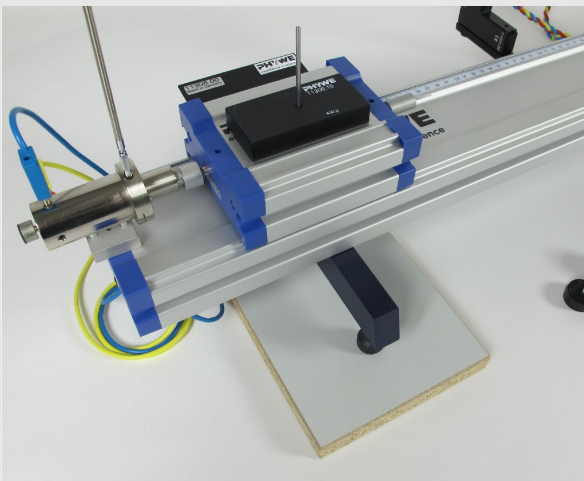
PHYWE

Aufbau und Durchführung



Aufbau (1/6)

PHYWE



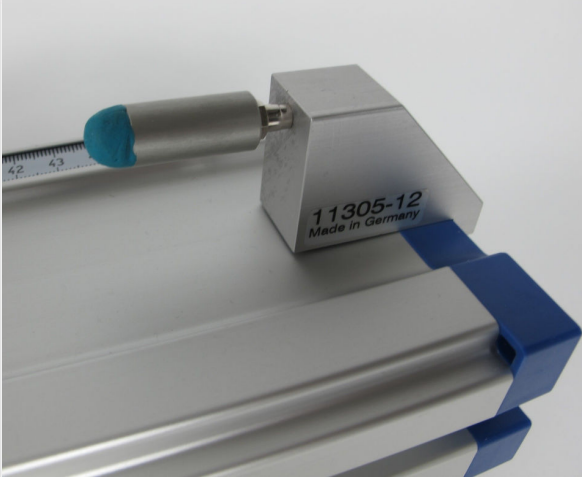
Hochgelegte Startvorrichtung ohne Stoß

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.

Legen Sie anschließend ein Objekt (wahlweise Unterlegklötze, Bücher, Papierstapel, etc.) unter den doppel Fußigen Ständer der Bahn, um diesen um ca. 1–5 cm zu erhöhen.

Aufbau (2/6)

PHYWE



Endhalter mit Plastilina

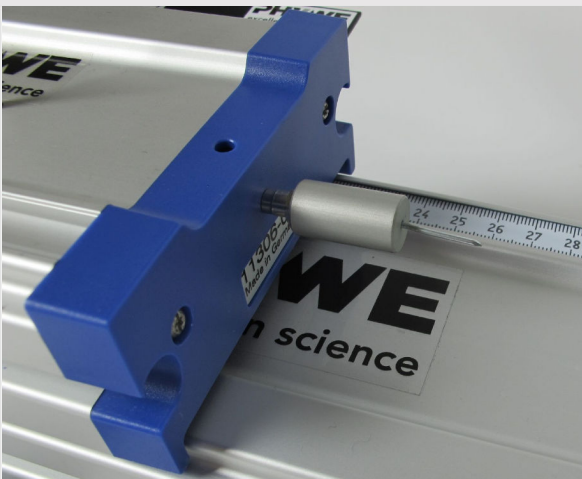
2. An dem linken Ende der Bahn ist eine Startvorrichtung anzubringen.

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

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

Aufbau (3/6)

PHYWE



Front des Messwagens

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

5. Die Masse des Wagens kann mittels der Gewichte variiert werden.

Aufbau (4/6)

PHYWE



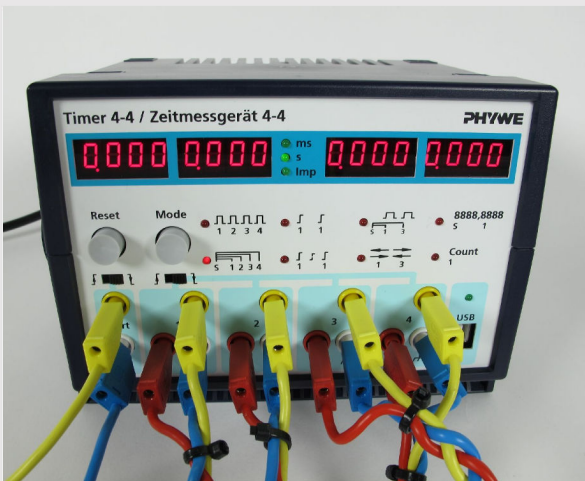
Anbringung der Lichtschranken

6. Die vier Gabellichtschranken werden mit den Lichtschrankenhaltern an der Fahrbahn montiert. Positionieren Sie die Gabellichtschranken so, dass die Messstrecke in etwa gleich große Segmente geteilt wird.

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

Aufbau (5/6)

PHYWE



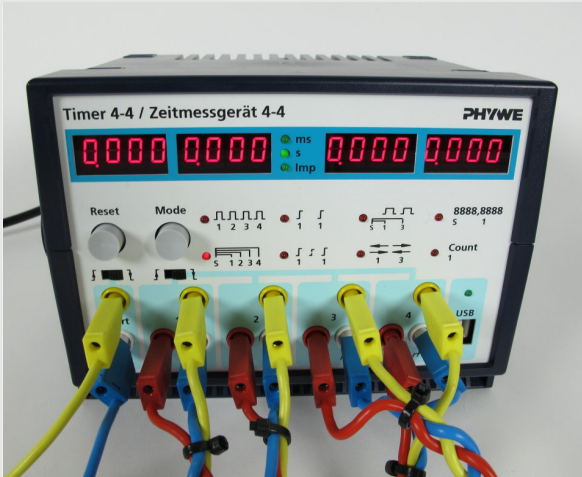
Anschließen am Zeitmessgerät

8. Die vier Gabellichtschranken werden von links nach rechts der Reihe nach mit den Buchsen in den Feldern „1“ bis „4“ des Zeitmessgerätes wie in der Abbildung 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



Einstellungen überprüfen

9. 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.

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

Durchführung (1/4)

PHYWE

1. Die Abstände $s_1 \dots s_4$ der Lichtschranken zu der Startposition des Wagens werden gemessen.

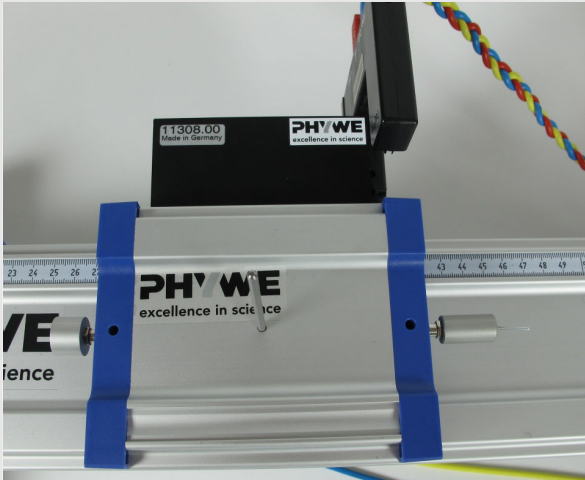
Dabei ist zu beachten, dass die Lichtschranken erst durch die Vorderkante der am Wagen montierten Blende unterbrochen werden.

Für eine exakte Bestimmung der Abstände kann wie folgt vorgegangen werden:

- Den Wagen in Startposition bringen und den Wert (x_0) auf dem Maßband am rechten Ende des Wagens ablesen.
- Den Wagen in eine Position bringen, bei der das rechte Ende der Blende gerade den Lichtstrahl der Gabellichtschranke i unterbricht und den Wert (x_i) auf dem Maßband am rechten Wagenende ablesen.
- $s_i = x_i - x_0$ ist die Strecke, welche der Wagen vom Start bis zur entsprechenden Lichtschranke zurückgelegt hat.

Durchführung (2/4)

PHYWE



Unterbrechung der Lichtschranke

2. Der Messwagen wird durch den Starter freigelassen und erfährt aufgrund der an ihm angreifenden Schwerkraftkomponente eine konstante Beschleunigung.

3. Es sind die Zeiten $t_1 \dots t_4$, welche zum Zurücklegen der Strecken $s_1 \dots s_4$ von der Startposition bis zur jeweiligen Lichtschranke benötigt werden, in Modus 2 () 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 (3/4)

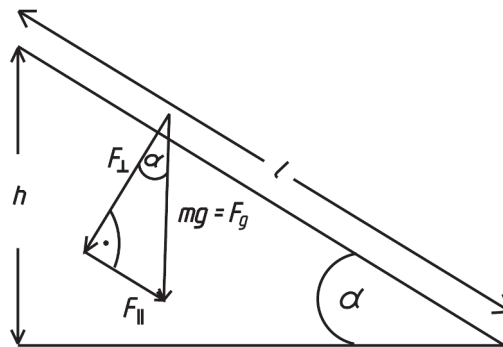
PHYWE

4. Die Messzeiten werden für bis zu fünf Wiederholungen aufgenommen. Vor jeder Durchführung ist die Taste „Reset“ zum Zurücksetzen der Anzeigen zu betätigen.
5. Um eine größere Anzahl an Messpunkten zu erhalten, besteht nun die Möglichkeit, die Lichtschranken neu zu positionieren und eine weitere Messreihe wie oben beschrieben durchzuführen.
6. Mit einer Waage ist die Masse des Wagens zu bestimmen.

Durchführung (4/4)

PHYWE

7. Für die Bestimmung des Neigungswinkels α der Bahn messe man den Abstand zwischen den Bahnständern l und die Höhe h des unter die Bahn gelegten Objekts. Vergleiche mit der Abbildung.



Auswertung (1/7)

PHYWE

Beobachtung

Wurden etwa gleich große Abstände zwischen den Lichtschranken gewählt, ist zu beobachten, dass die Differenzen der Laufzeiten t_i und die Abschattzeiten Δt_i aufgrund der Beschleunigung des Wagens mit zunehmender Wegstrecke immer geringer werden.

Auswertung (2/7)

PHYWE

Messwerte

s in m	t_m in s	Δt_m in s	v in m/s	$a = v/t_m$ in m/s ²	$(t_m)^2$ in s ²	$a = 2s/(t_m)^2$ in m/s ²
0,2	1,724	0,394	0,254	0,147	2,97	0,135
0,5	2,74	0,263	0,38	0,139	7,51	0,133
0,8	3,474	0,214	0,468	0,135	12,07	0,133
1,1	4,075	0,184	0,542	0,133	16,61	0,132
0,05	0,817	0,661	0,151	0,185	0,67	0,15
0,35	2,282	0,308	0,325	0,142	5,21	0,134
0,65	3,132	0,234	0,427	0,136	9,81	0,132
0,95	3,788	0,196	0,509	0,134	14,35	0,132

Auswertung (3/7)

PHYWE

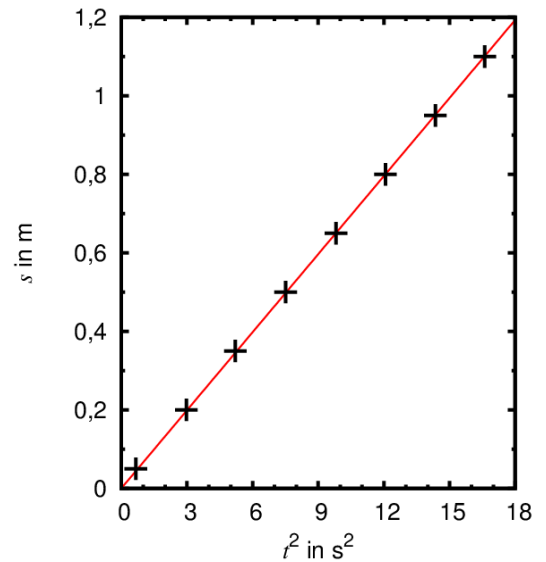
a) Das Weg-Zeit und das Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz

1. Aus den je fünf Messungen von $t_1 \dots t_8$ und $\Delta t_1 \dots \Delta t_8$ sind die Mittelwerte $t_{1m} \dots t_{8m}$ und $\Delta t_{1m} \dots \Delta t_{8m}$ zu ermitteln.
2. Aus den Abschattzeiten werden die Geschwindigkeiten $v_i(t_{im}) = b/\Delta t_{im}$ mit der Blendenlänge $b = 0,1$ m bestimmt.
3. Für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung lässt sich die Beschleunigung a mit zwei verschiedenen Methoden bestimmen. Entweder über das Weg-Zeit-Gesetz $s(t) = 0,5 \cdot a \cdot t^2$ aus der Laufzeit und der jeweiligen Position der Lichtschranken oder über das Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz $v(t) = a(t) \cdot t$ aus der Laufzeit und der entsprechenden Geschwindigkeit.

Auswertung (4/7)

PHYWE

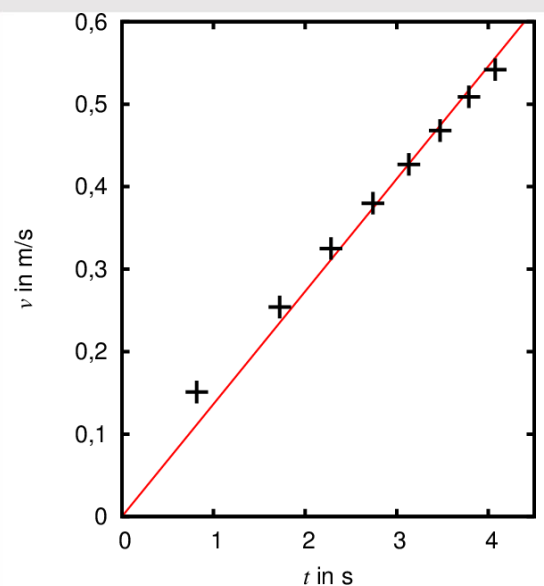
- Zur Verifizierung des Weg-Zeit-Gesetzes trage man die Messwerte in einem (s, t^2) -Koordinatensystem auf. Die Beschleunigung a lässt sich sowohl graphisch aus der Steigung der Geraden durch den Nullpunkt $(0, 5 \cdot a)$ als auch durch Rechnung ermitteln.



Auswertung (5/7)

PHYWE

- In einem (v, t) -Koordinatensystem sind die ermittelten Geschwindigkeiten gegen die gemessene Zeit aufzutragen. Das Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz ergibt sich graphisch aus der Steigung der Geraden durch den Nullpunkt oder durch Rechnung.



Auswertung (6/7)

PHYWE

b) Bestimmung der Erdbeschleunigung

Die an den Messwagen angreifende Gewichtskraft F_g kann in zwei Anteile zerlegt werden, eine Komponente $F_{||}$ in Richtung der Bahn und eine Komponente $F_{\perp}$ senkrecht zur Bahn. Mit steigendem Neigungswinkel α steigt auch die Komponente der Beschleunigung in Richtung der Bahn. $F_{||}$ bewirkt eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung. In Abbildung auf Folie 18 ist die vektorielle Zerlegung der Kraft mit einem Kräfteparallelogramm dargestellt. Es gilt $F_{||} = F_g \cdot \sin(\alpha)$.

Der Neigungswinkel α ergibt sich aus der Höhe h des unter die Bahn gelegten Objekts und dem Abstand l der beiden Bahnständer zu $\sin(\alpha) = h/l$. In dem hier angegebenen Messbeispiel beträgt $h = 1,9 \text{ cm}$ und $l = 139 \text{ cm}$, also $\alpha = 0,78^\circ$.

Auswertung (7/7)

PHYWE

Nach dem zweiten Newtonschen Axiom

$$F_{||} = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) = m \cdot a$$

und der Abbildung aus Folie 22 ermittelten Beschleunigung

$$a = 0,133 \text{ m/s}^2$$

ergibt sich für die Erdbeschleunigung der Wert

$$g_s = \frac{a}{\sin(\alpha)} = 9,73 \text{ m/s}^2$$

Aus den Geschwindigkeitsmessungen ergibt sich entsprechend nach der Abbildung aus Folie 23 die folgende Erdbeschleunigung:

$$g_v = 9,95 \text{ m/s}^2$$

Anmerkungen

PHYWE

1. 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 $\Delta s = 0,1$ m muss mit einem systematischen Fehler von etwa 2 % gerechnet werden.
2. Mit einer weiteren Erhöhung der Startposition lässt sich die Proportionalität zwischen Beschleunigung und dem Sinus des Neigungswinkels aufzeigen. Durch Wiederholen der Messungen mit verschiedenen Schlitzgewichten auf dem Wagen lässt sich demonstrieren, dass Beschleunigung und Geschwindigkeit des Wagens (Reibungsfreiheit vorausgesetzt) unbeeinflusst von der Masse sind. Dieser Zusammenhang lässt sich auch gut im Rahmen des Versuchs zum freien Fall anführen.