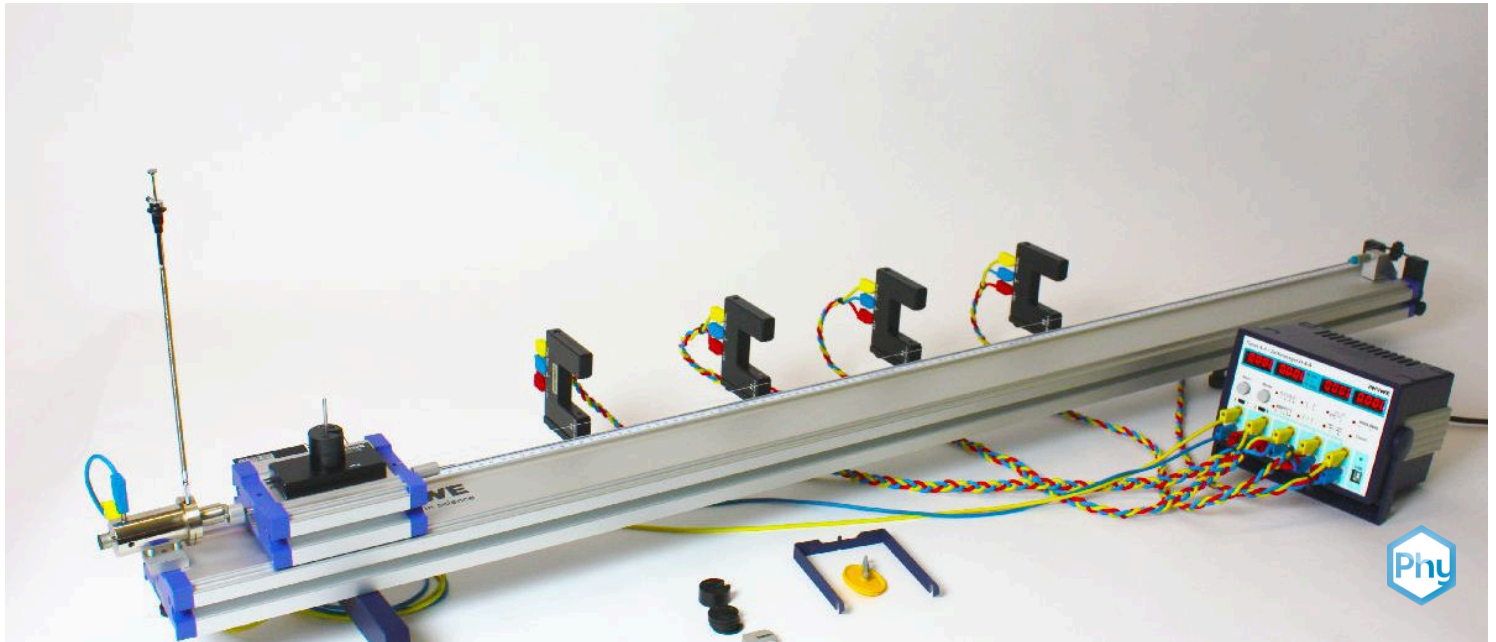


# Die gleichmäßig verzögerte Bewegung mit der Rollenfahrbahn und Zeitmessgerät 4-4



Physik

Mechanik

Dynamik &amp; Bewegung



Schwierigkeitsgrad

mittel



Gruppengröße

1



Vorbereitungszeit

20 Minuten



Durchführungszeit

10 Minuten

This content can also be found online at:



<http://localhost:1337/c/5f11686b26112d0003db5dca>

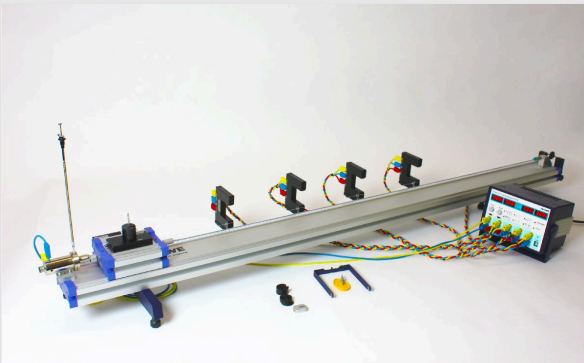
PHYWE



# 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.

Wird diese der Anfangsgeschwindigkeit des Körpers entgegen, so verlangsamt dieser seine Bewegung und kehrt schließlich seine Richtung um.

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

Bei einer Wirkungsrichtung entgegen der Bewegungsrichtung wird das Objekt dadurch verlangsamt.

## Sonstige Informationen (2/2)

PHYWE

### Lernziel



Wird ein Körper entgegengesetzt zu seiner Bewegungsrichtung gleichmäßig beschleunigt, verzögert sich seine Bewegung.

### 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 verzögernden Beschleunigung aus dem Neigungswinkel der Bahn.

## Sicherheitshinweise

PHYWE

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

## Theorie

PHYWE

Die zurückgelegte Strecke folgt gemäß dem Weg-Zeit-Gesetz einem parabolischen Verlauf und die Geschwindigkeit verläuft nach dem Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz linear:

$$s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t, v(t) = a \cdot t + v_0$$

Hierbei ist zu beachten, dass  $a$  und  $v(0)$  unterschiedliche Vorzeichen besitzen.

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

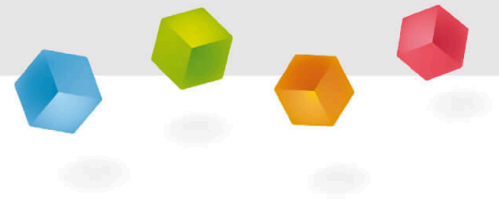
$$a = g \cdot \sin(\alpha)$$

## Material

Position	Material	Art.-Nr.	Menge
1	<a href="#">Rollenfahrbahn, Aluminium, l = 1,5 m</a>	11305-00	1
2	<a href="#">Messwagen, saphirgelagert</a>	11306-00	1
3	<a href="#">Blende für Messwagen Demo-Rollenfahrbahn b=100mm</a>	11308-00	1
4	<a href="#">Nadel mit Stecker</a>	11202-06	1
5	<a href="#">Röhrchen mit Stecker</a>	11202-05	1
6	<a href="#">Plastilina, 10 Stangen</a>	03935-03	1
7	<a href="#">Endhalter für Rollenfahrbahn</a>	11305-12	1
8	<a href="#">Gewicht (400 g) für Messwagen</a>	11306-10	1
9	<a href="#">Schlitzgewicht, schwarzlackiert, 50 g Bauart PHY</a>	02206-01	2
10	<a href="#">Schlitzgewicht, schwarzlackiert, 10 g Bauart PHY</a>	02205-01	4
11	<a href="#">Gabellichtschranke compact</a>	11207-20	4
12	<a href="#">Halter für Lichtschranke</a>	11307-00	4
13	<a href="#">Startvorrichtung für Rollenfahrbahn</a>	11309-00	1
14	<a href="#">Haltemagnet mit Stecker</a>	11202-14	1
15	<a href="#">Unterlegklötze, 150 mm, 4 Stück</a>	02070-00	1
16	<a href="#">PHYWE Zeitmessgerät 4 - 4</a>	13604-99	1
17	<a href="#">Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, rot Experimentierkabel, 4 mm Stecker</a>	07363-01	4
18	<a href="#">Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, gelb Experimentierkabel, 4 mm Stecker</a>	07363-02	5
19	<a href="#">Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, blau Experimentierkabel, 4 mm Stecker</a>	07363-04	5
20	<a href="#">Maßband, l = 2 m</a>	09936-00	1
21	<a href="#">Kompaktwaaage OHAUS CR2200, 2.200 g : 1 g</a>	48914-00	1

PHYWE

# Aufbau und Durchführung



## Aufbau (1/6)

PHYWE



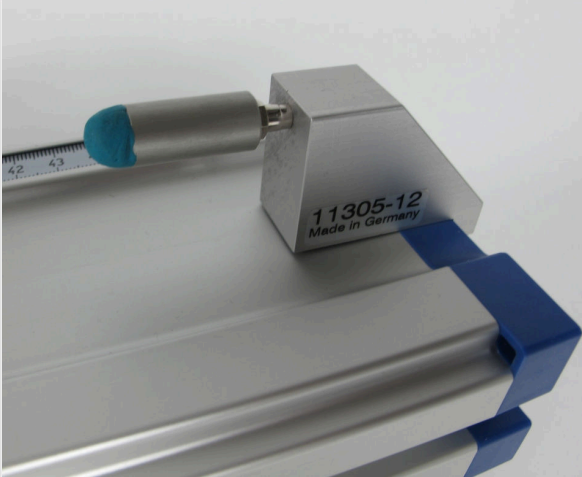
Startvorrichtung für den Stoß

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 doppelfüßigen Ständer der Bahn, um diesen um ca. 1–5 cm zu erhöhen.

## Aufbau (2/6)

PHYWE



Endhalter mit Plastilina

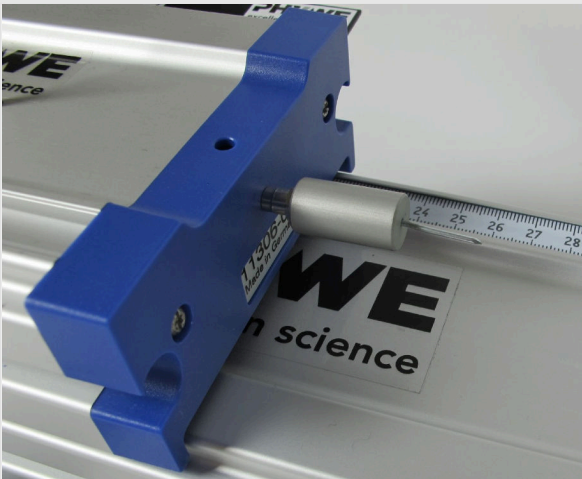
2. An dem tiefer gelegenen linken Ende der Bahn ist eine Startvorrichtung anzubringen.

Beachten Sie, dass zum Start des Wagens ohne 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 abzubremesen.

## Aufbau (3/6)

PHYWE



Die 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 sollte mittels der Gewichte so angepasst werden, dass er den Endhalter höchstens mit einer minimalen Restgeschwindigkeit erreicht.

## Aufbau (4/6)

PHYWE

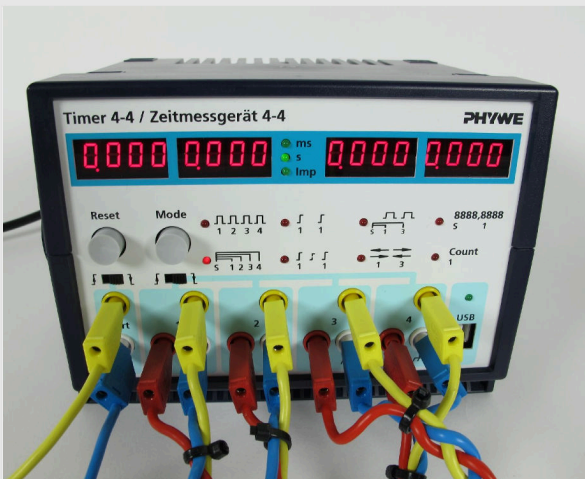


Anbringung der Lichtschranken

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.

## Aufbau (5/6)

PHYWE



Anschließen am Zeitmessgerät

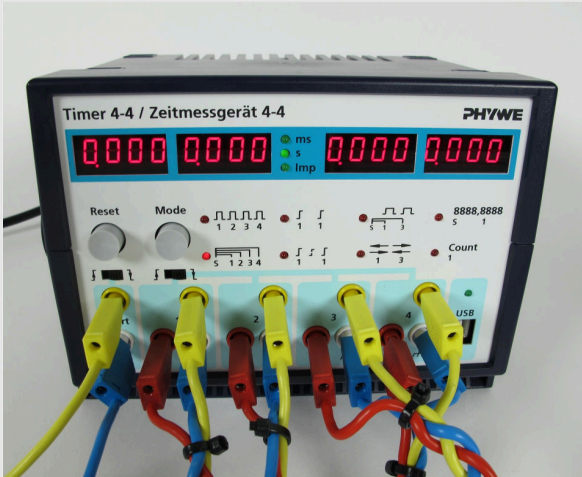
7. Die vier Gabellichtschranken werden von links nach rechts der Reihe nach mit den Buchsen in den Feldern „1“ bis „4“ des Zeitmessgerätes wie in der Abbildung verbunden.

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

8. 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.

9. Die beiden Schiebeschalter am Zeitmessgerät werden zur Wahl der Triggerflanke in die rechte Position „fallende Flanke“ (  $\nabla$  ) gebracht.

## Durchführung (1/4)

PHYWE

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

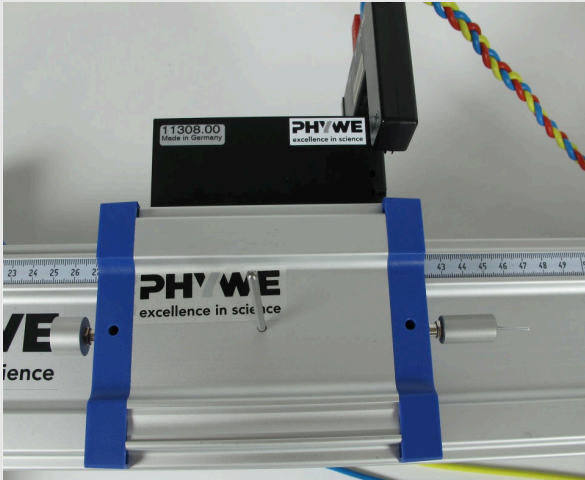
Dabei ist zu beachten, dass die Lichtschranken erst durch die Vorderkante der am Wagen montierten Blende unterbrochen werden.

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


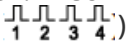


Unterbrechung der Lichtschranke

2. Der Messwagen erhält durch den Kraftstoß des Starters eine Anfangsgeschwindigkeit  $v(0)$  und erfährt aufgrund der an ihm angreifenden Schwerkraftkomponente eine konstante seiner Geschwindigkeit entgegengesetzte Beschleunigung.

## Durchführung (3/4)

PHYWE

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.

4. Die Messzeiten werden für bis zu fünf Wiederholungen aufgenommen. Vor jeder Durchführung ist die Taste „Reset“ zum Zurücksetzen der Anzeigen zu betätigen.

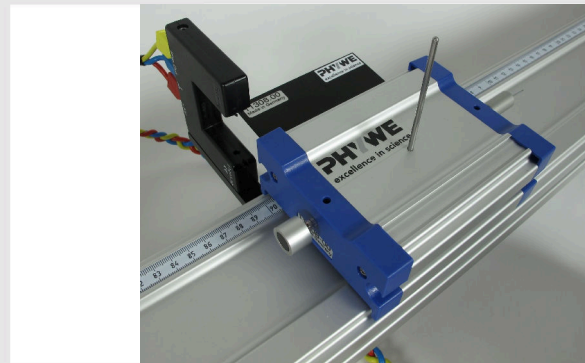
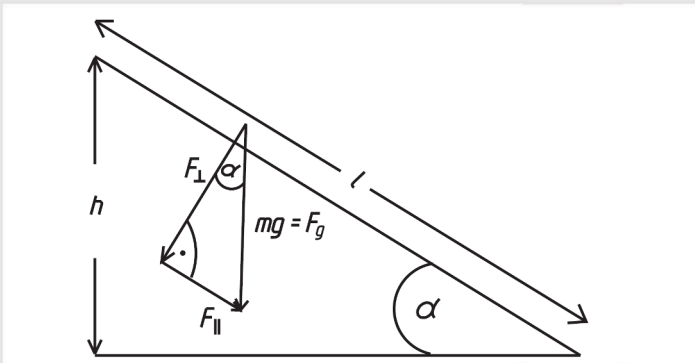
5. Um eine größere Anzahl an Messpunkten zu erhalten, besteht nun die Möglichkeit, die Lichtschranken neu zu positionieren und eine weitere Messreihe wie oben beschrieben durchzuführen.

6. Mit einer Waage ist die Masse des Wagens zu bestimmen.

## Durchführung (4/4)

PHYWE

7. Für die Bestimmung des Neigungswinkels  $\alpha$  der Bahn messe man den Abstand zwischen den Bahnständern  $l$  und die Höhe  $h$  des unter die Bahn gelegten Objekts. Vergleiche mit der linken Abbildung. Achten Sie darauf, dass der Wagen die Schranke komplett passiert (rechte Abbildung).



## Auswertung (1/8)

PHYWE

## Beobachtung

Wurden etwa gleich große Abstände zwischen den Lichtschranken gewählt, ist zu beobachten, dass die Differenzen der Laufzeiten  $t_i$  und die Abschattzeiten  $\Delta t_i$  des Wagens aufgrund der ihm entgegengesetzten Beschleunigung mit zunehmender Wegstrecke immer größer werden. Erreicht der Wagen den Scheitelpunkt, kehrt er seine Bewegungsrichtung um und führt eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung bis zum Startpunkt aus.

## Auswertung (2/8)

PHYWE

Messwerte

$s$ in m	$t_m$ in s	$\Delta t_m$ in s	$s / t_m$ in m/s	$v = b / \Delta t_m$ in m/s
0,128	0,2	0,18	0,64	0,56
0,428	0,764	0,214	0,56	0,47
0,728	1,455	0,277	0,5	0,36
1,028	2,456	0,551	0,42	0,18
0,228	0,373	0,189	0,61	0,53
0,53	0,97	0,23	0,55	0,43
0,83	1,718	0,32	0,48	0,31
1,078	2,527	0,818	0,43	0,12

## Auswertung (3/8)

PHYWE

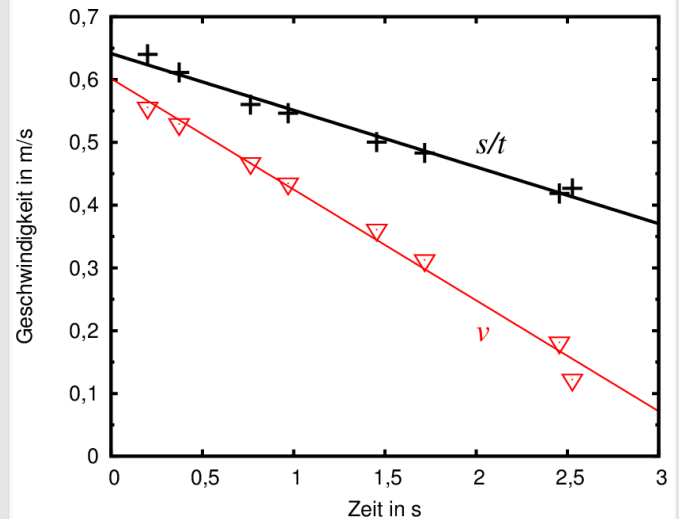
## a) Das Weg-Zeit und das Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz

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. Ergänzend zu den bisherigen Formulierungen des Weg- und des Geschwindigkeits-Zeit-Gesetzes ist nun zu berücksichtigen, dass der Wagen zum Startzeitpunkt  $t = 0$  bereits eine Anfangsgeschwindigkeit  $v(0)$  besitzt.

## Auswertung (4/8)

PHYWE

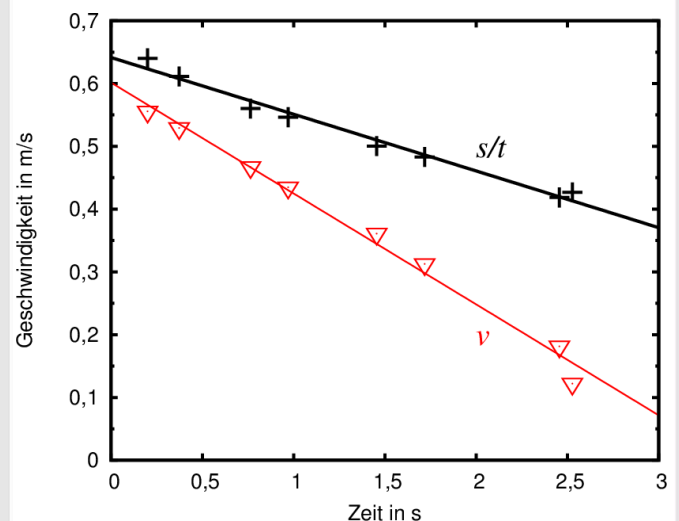
- In einem  $(v, t)$ -Koordinatensystem sind die ermittelten Momentangeschwindigkeiten  $v_i$  gegen die Zeit  $t_{im}$  aufzutragen und die Steigung der Geraden sowie ihr Achsenabschnitt graphisch oder durch lineare Regression (siehe Abbildung) zu ermitteln.
- Die Durchschnittsgeschwindigkeiten werden in einem  $(s/t, t)$ -Koordinatensystem dargestellt. Dazu werden die gemessenen Werte der Strecke pro Zeiteinheit  $s_i(t_{im})/t_{im}$  gegen die Zeit  $t_{im}$  aufgetragen und ebenfalls die Steigung der Geraden sowie ihr Achsenabschnitt graphisch oder durch lineare Regression (siehe Abbildung) ermittelt.



## Auswertung (5/8)

PHYWE

- Für das Messbeispiel gilt
- $(v, t)$ -Diagramm:  $a = -0,180 \text{ m/s}^2$ ,  $v(0) = 0,61 \text{ m/s}$ ,
- $(s/t, t)$ -Diagramm:  $a = -0,178 \text{ m/s}^2$ ,  $v(0) = 0,64 \text{ m/s}$ .



## Auswertung (6/8)

PHYWE

4. Im ersten Graphen lässt sich über das Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz

$$v(t) = a \cdot t + v(0)$$

die Steigung der Geraden als die Beschleunigung  $a$  identifizieren. Der Achsenabschnitt entspricht der Anfangsgeschwindigkeit  $v(0)$  des Wagens zum Zeitpunkt  $t = 0$ . Die entgegengesetzten Richtungen von Anfangsgeschwindigkeit und Beschleunigung drücken sich durch ihre unterschiedlichen Vorzeichen aus, sie können als vektorielle Größen aufgefasst werden.

Ist zur Zeit  $t_s = -v(0)/a$  die Geschwindigkeit  $v(t_s)$  Null, muss sich die gesamte kinetische Energie in potentielle Energie umgewandelt haben.

## Auswertung (7/8)

PHYWE

5. Aus dem zweiten Graphen ergibt sich der lineare Zusammenhang

$$\frac{s(t)}{t} = k_1 \cdot t + k_2$$

Ein Vergleich der erhaltenen Koeffizienten zeigt:  $k_2 \approx v(0)$  und  $k_1 \approx a/2$ . Eingesetzt folgt daraus das Weg-Zeit-Gesetz für die gleichmäßig verzögerte Bewegung:

$$s(t) = \frac{1}{2}a \cdot t^2 + v(0) \cdot t$$

Auch hier wirken sich die entgegengesetzten Richtungen von Anfangsgeschwindigkeit und Beschleunigung durch umgekehrte Vorzeichen aus. Bei negativem  $a$  ist der Graph  $s(t)$  eine nach unten geöffnete Parabel, deren Scheitelpunkt bei  $t_s$  den Umkehrpunkt der Bewegung darstellt.

## Auswertung (8/8)

PHYWE

6. Die an den Wagen angreifende Beschleunigung  $a$  lässt sich wie in Abbildung auf der Folie 18 gezeigt auch ausschließlich aus dem Neigungswinkel  $\alpha$  der Bahn durch die Zerlegung der Gewichtskraft  $F_g$  in die Komponenten  $F_{\parallel}$  und  $F_{\perp}$  belegen:

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

## Anmerkungen

PHYWE

1. Die aus  $\Delta t_i$  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 Sekantensteigung des Graphen von  $s(t)$  hervor. Je langsamer die Bewegung des Wagens wird, desto größer wird der systematische Fehler.
2. Die Wagenmasse besitzt keinen Einfluss auf die Beschleunigung des Wagens. Dennoch wirkt sich diese auf dessen Reichweite aus. Dies ist auf den Startimpuls  $p = m \cdot v$ , welcher von dem Starter auf den Wagen übertragen wird, zurückzuführen. Bei einer größeren Wagenmasse muss sich folglich die Anfangsgeschwindigkeit umgekehrt proportional reduzieren.