

Impulserhaltung beim zentralen unelastischen Stoß mit der Rollenfahrbahn und Zeitmessgerät 4-4



Physik

Mechanik

Energieerhaltung & Impuls



Schwierigkeitsgrad

mittel



Gruppengröße

2



Vorbereitungszeit

20 Minuten



Durchführungszeit

10 Minuten

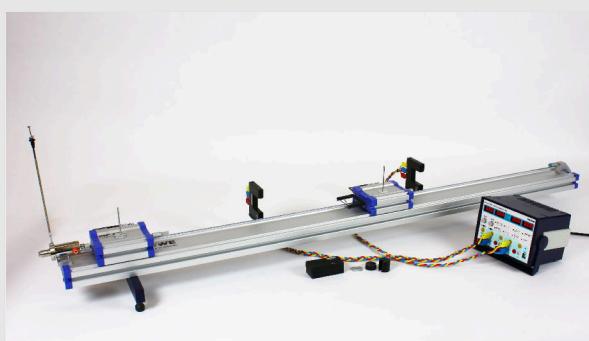
This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/5f116b5126112d0003db5e00>

PHYWE

Allgemeine Informationen

Anwendung

PHYWE

Versuchsaufbau

Stoßen in einem abgeschlossenen System zwei Körper unelastisch miteinander, so bleibt im Gesamtsystem der Impuls p erhalten. Beide Körper bewegen sich gemeinsam mit einem Impuls, der der Summe der Einzelimpulse vor dem Stoß entspricht, weiter.

Die kinetische Energie des Gesamtsystems nimmt hingegen ab, da für den unelastischen Stoß kinetische Energie in Verformungsenergie umgewandelt wird.

Sonstige Informationen (1/2)

PHYWE

Vorwissen



Das grundlegende Konzept eines inelastischen Stoßes und der klassischen Mechanik sollten im Unterricht bereits behandelt worden sein.

Prinzip



Stoßen zwei Wagen unelastisch aneinander, so bewegen sie sich gemeinsam mit gleicher Geschwindigkeit in eine Richtung fort. Der Impuls der Bewegung entspricht der Summe der Einzelimpulse vor dem Stoß:

$$p_1 + p_2 = p'$$

Sonstige Informationen (2/2)

PHYWE

Lernziel



Die kinetische Energie verringert sich nach dem unelastischen Stoß aufgrund der Verformung des Knetgummis zwischen den beiden Wagen.

Dennoch bleibt die Energie des Gesamtsystems unter Berücksichtigung der Verformungsenergie ΔE erhalten:

$$E_{kin} = E'_{kin} + \Delta E .$$

Aufgaben



1. Bestimmung der Impulse vor und nach dem unelastischen Stoß zweier fahrender Wagen mit entgegengesetzter Bewegungsrichtung.
2. Bestimmung der kinetischen Energien vor und nach dem unelastischen Stoß zweier fahrender Wagen mit entgegengesetzter Bewegungsrichtung.

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, $l = 1,5 \text{ m}$	11305-00	1
2	Messwagen, saphirgelagert	11306-00	2
3	Blende für Messwagen Demo-Rollenfahrbahn $b=100\text{mm}$	11308-00	2
4	Nadel mit Stecker	11202-06	2
5	Röhrchen mit Stecker	11202-05	2
6	Plastilina, 10 Stangen	03935-03	1
7	Gewicht (400 g) für Messwagen	11306-10	2
8	Schlitzgewicht, schwarzlackiert, 10 g Bauart PHY	02205-01	4
9	Schlitzgewicht, schwarzlackiert, 50 g Bauart PHY	02206-01	3
10	Endhalter für Rollenfahrbahn	11305-12	1
11	Startvorrichtung für Rollenfahrbahn	11309-00	1
12	Haltemagnet mit Stecker	11202-14	1
13	Gabellichtschranke compact	11207-20	2
14	Halter für Lichtschranke	11307-00	2
15	PHYWE Zeitmessgerät 4 - 4	13604-99	1
16	Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, rot Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07363-01	2
17	Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, gelb Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07363-02	2
18	Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, blau Experimentierkabel, 4 mm Stecker	07363-04	2
19	Kompaktwaage OHAUS CR2200, 2.200 g : 1 g	48914-00	1



Aufbau und Durchführung

Aufbau (1/4)



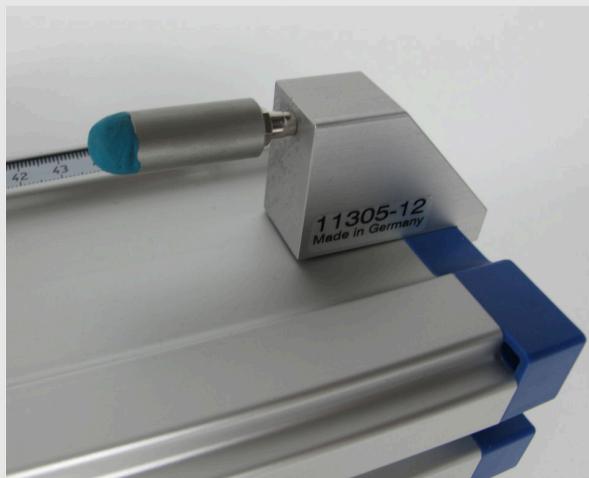
Startvorrichtung für Stoß

1. Die Fahrbahn ist mit den drei Stellschrauben an den Füßen möglichst genau horizontal auszurichten.
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 der Wagen von dem Stempel einen Kraftstoß erhält.

Aufbau (2/4)

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 beiden Gabellichtschranken werden mit den Lichtschrankenhaltern an der Fahrbahn montiert und ca. bei den Markierungen für 40 cm und 100 cm positioniert. Die Lichtschranke, welche sich näher an der Startvorrichtung befindet, wird als Lichtschranke 1, die andere als Lichtschranke 2 bezeichnet.

Aufbau (3/4)

PHYWE



Anschließen der Lichtschranken

5. Lichtschranke 1 wird mit den Buchsen in Feld „1“, Lichtschranke 2 mit den Buchsen in Feld „3“ des Zeitmessgeräts 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.

6. Die beiden Schiebeschalter am Zeitmessgerät werden zur Wahl der Triggerflanke in die rechte Position „fallende Flanke“ (\bar{L}) gebracht.

Aufbau (4/4)

PHYWE

7. Die beiden Messwagen werden auf die Fahrbahn gesetzt.

- Der linke Wagen, welcher näher an der Startvorrichtung ist (im Folgenden als Wagen 1 mit Geschwindigkeit v_1 bezeichnet), wird mit dem Haltemagneten mit Stecker in Richtung der Startvorrichtung und mit der Platte mit Stecker in Fahrtrichtung bestückt.
- In die Seiten des rechten Wagens (Wagen 2 mit v_2) werden ein mit Plastiline gefülltes Röhrchen in Richtung von Wagen 1 und die Nadel mit Stecker dem Endhalter zugewandt eingesteckt.
- In beide Wagen werden die Blenden für Messwagen ($b = 100\text{ mm}$) in die Seite eingeklinkt, auf der sich die Gabellichtschranken befinden sollen.

Durchführung (1/4)

PHYWE

1. Für die Durchführung aller Messungen ist das Zeitmessgerät auf die Betriebsart 6 „Stoß“ (→ 1 → 3) zu schalten. Dabei sind nur die Steuereingänge 1 und 3 aktiv.

Es werden an jeder Lichtschranke bis zu zwei Abschattzeiten gemessen.

Die Unterbrechungszeiten an Lichtschranke 1 werden auf den ersten beiden Anzeigen, die Zeiten von Lichtschranke 2 auf den hinteren beiden Anzeigen ausgegeben.

Die erste Unterbrechung einer Lichtschranke wird jeweils auf der linken Anzeige, die zweite auf der rechten Anzeige ausgegeben.

2. Zu Beginn der Messung sind immer die Massen der Wagen mittels der Waage zu bestimmen.

Für kleine Korrekturen (besonders, wenn gleichgroße Massen erwünscht sind) eignen sich die 1-g-Schlitzgewichte.

Durchführung (2/4)

PHYWE

3. Vor Beginn jedes Stoßversuchs ist die Taste „Reset“ zum Zurücksetzen der Anzeigen zu betätigen.
4. Die Messwagen werden auf gegenüberliegenden Seiten außerhalb der Lichtschranken positioniert. Wagen 1 wird mit der Startvorrichtung beschleunigt, Wagen 2 wird leicht mit der Hand angestoßen. Nach dem unelastischen Stoß bewegen sich beide Wagen gemeinsam in eine Richtung fort. Damit sie aufgrund eines zu niedrigen Gesamtimpulses nicht innerhalb der Lichtschranken stehen bleiben, ist darauf zu achten, dass ein Wagen einen deutlich höheren Anfangsimpuls bekommt. Da der Stoß unbedingt innerhalb der Lichtschranken erfolgen muss, kann es sein, dass die Wagen zeitlich leicht versetzt gestartet werden müssen.
5. Damit die verschiedenen Messdaten der Wagen unterschieden werden können, sind die Abschattzeiten vor dem Stoß mit t_1 und t_2 bzw. nach dem Stoß mit t_1' und t_2' zu bezeichnen.
Selbe Nomenklatur ist für die daraus berechneten Geschwindigkeiten und Impulse zu verwenden.

Durchführung (3/4)

PHYWE

5. Nach dem Stoß wird die Lichtschranke in Bewegungsrichtung von beiden Wagen unterbrochen.
Diese zeichnet nur die Abschattzeit der Blende am vorderen Wagen auf, da bereits die Zeit eines Wagens vor dem Stoß gemessen wurde.
Da sich jedoch beide Wagen mit derselben Geschwindigkeit bewegen, ist diese Abschattzeit für beide Wagen gültig.
6. Aus allen Abschattzeiten t_i sind mit der Blendenlänge $b = 100 \text{ mm}$ immer die Geschwindigkeiten $v_i = b / t_i$ zu bestimmen.
Da die Geschwindigkeiten vektorielle Größen sind, muss auf die Vorzeichen der Beträge geachtet werden.
Alle Geschwindigkeiten, die v_1 entgegengerichtet sind, haben ein zu v_1 entgegengesetztes Vorzeichen.

Durchführung (4/4)

PHYWE

7. Damit die verschiedenen Messdaten der Wagen unterschieden werden können, sind die Abschattzeiten vor dem Stoß mit t_1 und t_2 bzw. nach dem Stoß mit t' zu bezeichnen.

Selbige Nomenklatur ist für die daraus berechneten Geschwindigkeiten und Impulse zu verwenden.

8. Die Messzeiten sollen für bis zu fünf Wiederholungen aufgenommen und gemittelt werden.

Anschließend wird die Messung sowohl für verschiedene Wagenmassen als auch für unterschiedliche Massenverhältnisse wiederholt.

Auswertung (1/6)

PHYWE

Beobachtung

Beide Wagen stoßen zusammen und bewegen sich gemeinsam mit derselben Geschwindigkeit in dieselbe Richtung fort.

Auswertung (2/6)

PHYWE

Messbeispiel zum unelastischen Stoß

m_1 in kg	m_2 in kg	t_1 in s	t_2 in s	$t_2' = t_1'$ in s
0,4	0,4	0,162	0,591	0,447
0,8	0,4	0,237	0,664	0,461
0,4	0,55	0,162	0,593	0,598

Auswertung (3/6)

PHYWE

Messbeispiel zum unelastischen Stoß

v_1 in m/s	v_2 in m/s	$v_2' = v_1'$ in m/s	p_1 in kg·m/s	p_2 in kg·m/s	$p = p_1 + p_2$ in kg·m/s	p' in kg·m/s
0,617	-0,169	0,224	0,247	-0,068	0,179	0,179
0,422	-0,151	0,217	0,338	-0,06	0,277	0,26
0,617	-0,169	0,167	0,247	-0,093	0,154	0,159

Auswertung (4/6)

PHYWE

Messbeispiel zum unelastischen Stoß

E_1 in $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$	E_2 in $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$	E_{kin} in $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$	E'_{kin} in $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$	ΔE in $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$
0,076	0,006	0,082	0,02	0,062
0,071	0,005	0,076	0,028	0,048
0,076	0,008	0,084	0,013	0,071

Auswertung (5/6)

PHYWE

1. Für die einzelnen Messungen werden jeweils aus den Wagenmassen und den Geschwindigkeiten die Impulse p_1 und p_2 vor dem Stoß sowie $p' = (m_1 + m_2) \cdot v'$ nach dem Stoß berechnet.

Da die Wagen nach dem unelastischen Stoß zusammenbleiben, können sie wie ein Wagen mit größerer Masse betrachtet werden. Ein Vergleich der Gesamtimpulse (siehe Messbeispiel) zeigt, dass im Rahmen der Messgenauigkeit der Impulserhaltungssatz gilt:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v'.$$

2. Es werden die kinetischen Energien E_1 und E_2 der beiden Wagen vor dem Stoß sowie die Energie E_{kin} der gemeinsamen Bewegung nach dem Stoß berechnet. Ein Vergleich von $E_{\text{kin}} = E_1 + E_2$ mit E'_{kin} zeigt, dass die Bewegungsenergie nach dem Stoß deutlich geringer geworden ist (siehe auch Messbeispiel). Der Energieerhaltungssatz scheint nicht erfüllt:

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \neq \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v'^2.$$

Auswertung (6/6)

PHYWE

- 3.** In einem abgeschlossenen System muss die Energie jedoch erhalten bleiben und kann nicht verloren gehen.

Dies liegt darin begründet, dass beim Stoß Energie aufgewendet wird, um das Knetgummi zu verformen.

Diese Verformungsenergie ΔE führt zu einer Reduzierung der kinetischen Energie.

Der Energieerhaltungssatz lautet demnach folgendermaßen:

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v'^2 + \Delta E$$

Die aufgenommene Verformungsenergie ΔE entspricht folglich der Differenz zwischen der anfänglichen kinetischen Energie und der verbleibenden kinetischen Energie nach dem Stoß.

Anmerkungen

PHYWE

- 1.** Um Wagen 1 mit der Startvorrichtung zu beschleunigen, wird der Stempel so weit hineingedrückt, bis er in eine Arretierung einrastet. Da die Startvorrichtung drei verschiedenen großen Stufen bereitstellt, muss darauf geachtet werden, dass bei jedem Versuch dieselbe Arretierung verwendet wird, um beim Auslösen der Startvorrichtung auch dieselbe Kraft zu übertragen.
- 2.** Der korrekte Sitz beider Blenden an den Wagen sollte vor jeder Messung kontrolliert werden, da sie durch das abrupte Abbremsen verrutschen können.
- 3.** Die Plastilina sollte zwischendurch gegebenenfalls nachmodelliert werden, damit der Aufprall des Wagens immer bestmöglich abgedämpft wird.
- 4.** Die Wagen bewegen sich nicht völlig reibungsfrei, es bleibt eine Restreibung und der Gesamtimpuls nimmt geringfügig ab. Dies bedingt auch einen Energieverlust, sodass die Differenz der kinetischen Energien vor und nach dem Stoß nicht vollständig der Verformungsenergie ΔE des Knetgummis entspricht.