

Versuch <b>M8</b> : Stoßprozesse		
Name:		Name:
Gruppennummer:	Betreuer:	Datum:

## 0. Versuchsziel

Bestätigen Sie die Gesetzmäßigkeiten des Impuls- und Energieerhaltungssatzes für zentrale Stöße auf einer Luftkissenbahn mit einem computergestützten optischen Bahnverfolgungssystem.

## 1. Themen zur Vorbereitung

NEWTONSche Axiome, Kraftstoß, Impuls, Erhaltungssätze der Mechanik, Klassifizierung von Stößen (elastisch, unelastische, zentral, schräg)

## 2. Messungen

Bestätigen Sie durch entsprechende Messungen die Aussagen zu speziellen zentralen Stößen, wenn

- 2.1. sich der gestoßene Körper vor dem Stoß in Ruhe befindet und beide Massen gleich groß sind.  $(m_1 = m_2, v_1 > 0, v_2 = 0)$
- 2.2. sich der gestoßene Körper vor dem Stoß in Ruhe befindet und die stoßende Masse größer ist als die Gestoßene.  $(m_1 > m_2, v_1 > 0, v_2 = 0)$
- 2.3. sich der gestoßene Körper vor dem Stoß in Ruhe befindet und die stoßende Masse kleiner ist als die Gestoßene.  $(m_1 < m_2, v_1 > 0, v_2 = 0)$
- 2.4. sich der gestoßene Körper vor dem Stoß in Ruhe befindet und die stoßende Masse sehr viel kleiner ist als die Gestoßene (als Grenzfall).  $(m_1 \ll m_2, v_1 > 0, v_2 = 0)$
- 2.5. sich beide Körper mit gleicher konstanter Geschwindigkeit aufeinander zu bewegen und beide Massen gleich groß sind.  $(m_1 = m_2, v_1 = -v_2)$
- 2.6. ein unelastischer Stoß auf einen ruhenden Körper erfolgt, wobei beide Körper die gleichen Massen haben.  $(m_1 = m_2, v_1 > 0, v_2 = 0)$

Jede Messaufgabe wird drei Mal ausgeführt. Überprüfen Sie vor Beginn die Massen der beiden Gleiter.

## 3. Berechnungen und Auswertungen

- 3.1. Vergleichen Sie für jede Messaufgabe die Messergebnisse mit den berechneten Werten.
- 3.2. Bestimmen Sie zusätzlich bei Aufgabe 2.6. den Verlust an kinetischer Energie, der durch den Stoß in andere Energiearten umgewandelt wird.

## 4. Zusatzaufgabe

Ein Fahrzeug ( $m_1 = 1,2 \text{ t}$ ) mit einer Geschwindigkeit von  $v_1 = 80 \text{ km/h}$  fährt auf ein vor ihm fahrendes Fahrzeug ( $m_2 = 920 \text{ kg}$  und  $v_2 = 50 \text{ km/h}$ ) auf. Mit welcher Kraft wird das Fahrzeug deformiert, wenn man annimmt, dass der Vorgang noch elastisch abläuft und die Stoßdauer etwa  $0,2 \text{ s}$  beträgt?

## 5. Physikalische Grundlagen

Neben dem Energieerhaltungssatz sind weitere wichtige Erhaltungssätze in der Mechanik der Impulserhaltungssatz, der Drehimpulserhaltungssatz, der Massenerhaltungssatz und der Massenmittelpunkterhaltungssatz (Schwerpunktsatz).

Der Impuls ist immer dann wichtig, wenn zwei oder mehr Körper durch Stöße wechselwirken. Der Impuls  $p$  eines Körpers ist definiert als Produkt aus seiner Masse  $m$  und seiner Geschwindigkeit  $v$

$$p = m \cdot v . \quad (1)$$

Da die Geschwindigkeit ein Vektor ist, gehört der Impuls ebenso zu den vektoriellen Größen. Der Impuls wird in der Einheit  $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , gleichbedeutend mit  $\text{N} \cdot \text{s}$ , gemessen. Für die Änderung des Impulses (Betrag und/oder Richtung) eines Körpers ist eine Kraft nötig,

$$F = \frac{dp}{dt} . \quad (2)$$

Das Produkt  $F \cdot dt$  wird auch als Kraftstoß bezeichnet.

Die für den Versuch relevanten Erhaltungssätze sind der Energieerhaltungssatz und der Impulserhaltungssatz.

Der Energieerhaltungssatz besagt, dass in einem abgeschlossenen System die Summe aus potentieller und kinetischer Energie konstant bleibt. Da sich die potentielle Energie bei der Versuchsdurchführung nicht verändert, ergibt sich der Energieerhaltungssatz des Systems zu

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 . \quad (3)$$

Größen, die mit einem Hochkomma gekennzeichnet sind, beziehen sich dabei stets auf die Situation nach dem Stoß.

Der Impulserhaltungssatz sagt aus, dass die Summe der Impulse vor dem Stoß genau so groß ist wie nach dem Stoß, so lange keine anderen Kräfte auf das System einwirken

$$p_1 + p_2 = p_1' + p_2' . \quad (4)$$

Er gilt sowohl für elastische, als auch für unelastische Stöße und kann auch geschrieben werden als:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' . \quad (5)$$

Dieser Versuch beschränkt sich auf den geraden zentralen Stoß. Bei diesen Stößen wird der Geschwindigkeitsvektor auf zwei Richtungen beschränkt, und die Bewegung verläuft entlang einer Geraden. Kehrt sich die Bewegungsrichtung nach dem Stoß um, wird das durch ein Minuszeichen gekennzeichnet.

Es wird stets vorausgesetzt, dass die Massen der Stoßpartner sowie die Anfangsgeschwindigkeiten  $v_1$  und  $v_2$  der Körper bekannt sind. Dadurch verbleiben als unbekannte Größen die Geschwindigkeiten der Stoßpartner nach dem Stoß,  $v_1'$  und  $v_2'$ . Es besteht immer die Aufgabe, die gemessenen Geschwindigkeiten nach dem Stoß mit den berechneten zu vergleichen. Dazu werden im Falle eines elastischen Stoßes die beiden Erhaltungssätze genutzt:

Zunächst wird die Gl. (5) in folgender Form geschrieben:

$$m_1(v_1 - v_1') = m_2(v_2' - v_2) \quad (6)$$

In der Gl. (3) entfällt der Faktor  $\frac{1}{2}$ . Dann wird sie mit Hilfe der dritten binomischen Formel in folgende Form gebracht:

$$m_1(v_1 - v_1')(v_1 + v_1') = m_2(v_2' - v_2)(v_2' + v_2) \quad (7)$$

Es wird in Gl. (7) der Term  $m_1(v_1 - v_1')$  durch die rechte Seite der Gl. (6) ersetzt. Man erhält dann

$$\begin{aligned} v_1 + v_1' &= v_2' + v_2 \\ \text{oder} \\ v_1 - v_2 &= -(v_1' - v_2') \end{aligned} \quad (8)$$

Das Ergebnis besagt, dass der Betrag der relativen Geschwindigkeit beider Körper vor und nach dem elastischen Stoß gleich bleibt, aber die entgegengesetzte Richtung hat.

Formt man Gl. (8) nach  $v_1'$  bzw.  $v_2'$  um und setzt diese Ausdrücke in Gl. (6) ein, erhält man die allgemeinen Lösungen für die Geschwindigkeiten der Stoßpartner nach einem elastischen Stoß:

$$v_1' = v_1 \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} + v_2 \frac{2m_2}{m_1 + m_2} \quad (9)$$

und

$$v_2' = v_1 \frac{2m_1}{m_1 + m_2} + v_2 \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \quad (10)$$

### Mathematische Hinweise zur Aufgabe 2.1:

Für diese Aufgabenstellung gilt  $m_1 = m_2$  sowie  $v_2 = 0$ . Aus den allgemeinen Lösungen für die Geschwindigkeiten nach dem Stoß (Gl. (9) und Gl. (10)) ergibt sich:

$$v_1' = 0 \quad (11)$$

sowie

$$v_2' = v_1 \quad (12)$$

Das bedeutet, dass Körper 1 durch den Stoß zur Ruhe kommt und sich Körper 2 mit der Geschwindigkeit des Körpers 1 vor dem Stoß weiterbewegt.

Mathematische Hinweise zur Aufgabe 2.2:

Laut Aufgabenstellung gilt  $m_1 > m_2$  und  $v_2 = 0$ . Aus den allgemeinen Lösungen für die Geschwindigkeiten nach dem Stoß (Gl. (9) und Gl. (10)) ergibt sich:

$$v_1' = v_1 \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \quad (13)$$

und

$$v_2' = v_1 \frac{2m_1}{m_1 + m_2} . \quad (14)$$

Mathematische Hinweise zur Aufgabe 2.3. und 2.4.:

Auch dieses Problem ( $m_1 < m_2$ ,  $v_2 = 0$ ) lässt sich durch die Gl. (13) und Gl. (14) beschreiben. Für den Grenzfall  $m_1 \ll m_2$  gilt zudem

$$v_1' \approx -v_1 \quad (15)$$

und

$$v_2' \approx 0 . \quad (16)$$

Mathematische Hinweise zur Aufgabe 2.5:

Aus der Aufgabenstellung ergibt sich  $m_1 = m_2$  und  $v_1 = -v_2$ . Daraus folgen für die Geschwindigkeiten nach dem Stoß mittels Gl. (9) und Gl. (10)

$$v_1' = -v_1 \quad (17)$$

und

$$v_2' = -v_2 . \quad (18)$$

Mathematische Hinweise zur Aufgabe 2.6:

Hierbei geht es um einen unelastischen Stoß unter den Bedingungen  $m_1 = m_2$  und  $v_2 = 0$ . Im Gegensatz zu einem elastischen Stoß bewegen sich nach einem unelastischen Stoß beide Stoßpartner gemeinsam mit der Geschwindigkeit  $v'$  weiter. Ein Teil der kinetischen Energie wird für Deformationsarbeit benötigt bzw. in Wärme umgewandelt.

Aus der Gl. (5) ergibt sich für diesen Fall

$$m_1 v_1 = m_1 v' + m_2 v' .$$

Mit  $m_1 = m_2$  folgt daraus

$$v' = \frac{v_1}{2} . \quad (19)$$

## 6. Versuchsdurchführung

Um der Bedingung der Reibungsfreiheit möglichst nahe zu kommen, wird der Versuch auf einer Luftkissenbahn durchgeführt. Die Bewegungen werden berührungslos mit einer speziellen Kamera erfasst. Die stoßenden Körper sind als Gleiter ausgebildet. Ihre Masse beträgt jeweils  $m = 101,7 \text{ g}$ . Sie sind mit einem das Licht reflektierenden Folienstreifen versehen. Eine spezielle Kamera sendet kurze Lichtblitze aus, die von den Folienstreifen reflektiert und in der Kamera bezüglich der Position detektiert werden. Diese Informationen werden mit einem speziellen Computerprogramm in Abhängigkeit von der Zeit verarbeitet. Damit die Gleiter einen definierten Anfangsimpuls erhalten, sind sie an einem Ende mit einem Permanentmagneten versehen und erhalten über Elektromagneten einen definierten Anfangsimpuls. Die Elektromagnete sind so gepolt, dass bei Messbeginn eine abstoßende Kraft entsteht. Damit die Messungen beginnen können, müssen einige Vorbereitungen getroffen werden.

Zunächst ist die Justierung der Bahn mithilfe des Gebläses zu überprüfen. Ohne Zusatzgewichte ist das obere Ende der Stufe 4 als Gebläseeinstellung ausreichend, um die Schlitten gleiten zu lassen. Wird ein Gleiter an einer beliebigen Stelle positioniert, darf er sich bei justierter Bahn nicht weiterbewegen bzw. seine Geschwindigkeit nicht ändern. Bewegt sich der Gleiter beschleunigt, ist die Bahn mit einem Betreuer erneut auszurichten. Wenn die Bahn justiert ist, wird das Netzgerät auf  $U = 10 \text{ V}$  eingestellt. Es liefert den nötigen Spulenstrom.

Die Messungen werden mit dem Programm „VideoCom Bewegungen“ mithilfe einer Kamera aufgenommen. Auch diese muss justiert werden. Dazu positioniert man beide Gleiter an den jeweiligen Enden der Bahn (also mit den Magneten an den Spulen) und klickt das Feld „Intensitätstest“ im Messprogramm an. Im Diagramm müssen zwei etwa gleich hohe, schmale Intensitätsspitzen zu sehen sein. Ist das nicht der Fall, ist die Kamera mit einem Betreuer neu auszurichten. Notieren Sie beide Intensitäts- und Pixelwerte (Positionen) der Spitzen.

Zur Einstellung der Versuchsparameter rufen Sie mit „F5“ das Menü auf. Im Register „Messvorgaben“ wählen Sie das Auswertintervall von  $\Delta t = 25 \text{ ms}$ , das Messungsende nach einer vorgegebenen Zeit von  $4,0 \text{ s}$  sowie die maximale Glättung der berechneten Kurven. Klicken Sie anschließend auf den Registerreiter „Wegkalibrierung“. Tragen Sie bei „2. Position“ den Abstand der beiden Reflex-Marken in Meter ein sowie die ermittelten Pixelwerte der Intensitätsspitzen. Bestätigen Sie zuletzt mit „OK“.

Damit die Präzision der Anlage erhalten bleibt, sind die Gleiter zum manuellen Bewegen von der Bahn abzuheben. Es ist keine Kraft auf die Bahn auszuüben. Das Gebläse sollte nicht unnötig lange laufen.

### Hinweise zur Durchführung der Aufgabe 2.1

Der linke Gleiter wird an die Spule gestellt. Der rechte Gleiter wird etwa in der Mitte der Bahn positioniert. Ist das geschehen, kann mit der Taste „F9“ die Messung gestartet werden. Der linke Gleiter wird vom Magneten abgestoßen und bewegt sich. Das ist ebenso im Diagramm ersichtlich. Nach Beenden der Messung kann das Gebläse am Gerät ausgeschaltet werden. Der Registerreiter „Geschwindigkeit“ wird angeklickt. Aus dem  $v(t)$ -Diagramm sind die entsprechenden Geschwindigkeiten zu entnehmen. Soll die Messdatentabelle oder das Diagramm für die Auswertung bzw. das Protokoll zur Verfügung stehen, können diese in ein Textdokument oder Paint kopiert und abgespeichert werden (Rechtsklick, Tabelle/Diagramm kopieren). Bitte bringen sie einen Datenträger mit. Nach der Auswertung können die Messwertreihen mit F4 gelöscht werden. Dieser Versuch wird wie alle folgenden drei Mal durchgeführt.

### Hinweise zur Durchführung der Aufgabe 2.2.

Der an der Spule positionierte Gleiter wird mit einer Zusatzmasse (Scheibe mit  $m = 100 \text{ g}$ ) versehen. Der Gebläsesteller wird (nur für die Aufgaben 2.2-2.4) auf die Mitte der Stufe 5 gestellt.

### Hinweise zur Durchführung der Aufgabe 2.3.

Für diesen Versuch wird der auf der Fahrbahnmitte stehende Gleiter mit einer Zusatzmasse von 100 g versehen.

### Hinweise zur Durchführung der Aufgabe 2.4.

Es darf ein Zusatzgewicht von bis zu 300 g verwendet werden. Der beschwerte Gleiter wird an das rechte Fahrbahnde gestellt. Die Stromzufuhr zur Spule wird einseitig unterbrochen. Stellen Sie eine Messzeit von 8 s ein (F5, Messvorgaben).

### Hinweise zur Durchführung der Aufgabe 2.5.

Die Zusatzmasse wird entfernt, das Gebläse wieder auf das Ende der Stufe 4 gestellt. Die Stromzufuhr zur Spule wird wieder hergestellt. Beide Gleiter sind am jeweiligen Fahrbahnde zu positionieren. Aus den mehrmaligen Stößen kann die Abnahme der Geschwindigkeiten aus dem Diagramm entnommen werden.

### Hinweise zur Durchführung der Aufgabe 2.6.

Es wird wieder eine Messzeit von 4 s eingestellt (F5, Messvorgaben). Die Ringfeder des linken Gleiters und die Prallplatte des rechten Gleiters werden gegen einen Steckerstift mit Spitze (links) und einen Steckerstift mit Hülse (rechts) ausgetauscht. Die Hülse ist mit Knete gefüllt, um die Bedingung „unelastischer Stoß“ zu gewährleisten. Die Massen der Austauschteile ändern die Gesamtmassen der Gleiter nicht. Der rechte Gleiter wird wieder mittig auf der Bahn positioniert.