

FACHARBEIT

aus dem Fach

Physik

Thema: Einfache Stoßversuche mit Kugeln – Theoretische Grundlagen, Auswertung mit Hilfe von Stroboskopaufnahmen

Verfasser: Georg, Peter J.

Leistungskurs: Physik

Kursleiter: Reuter, Matthis

Abgabetermin:

erzielte Note:

in Worten:

erzielte Punkte:
(einfache Wertung)

in Worten:

Abgabe der korrigierten Arbeit beim Kollegstufenbetreuer:

.....
(Unterschrift des Kursleiters)

Inhaltsverzeichnis

1. Der Stoß im alltäglichen Leben und in der Physik	3
2. Theoretische Grundlagen	4
2.1. Physikalische Definition des Stoßes	4
2.2. Vereinfachungen und Indizes	4
2.3. Zusammenhang zwischen Kraftstoß und Impulsänderung	5
2.4. Impulserhaltungssatz	6
2.5. Verschiedene Stöße	6
2.5.1. Elastischer Stoß	6
2.5.2. Unelastischer Stoß	6
2.6. Zweidimensionaler Stoß	6
2.6.1. Zerlegung der Geschwindigkeitsvektoren	7
2.6.2. Berechnung der Geschwindigkeiten v_{1n} und v_{2n}	8
3. Auswertung mit Hilfe von Stroboskopaufnahmen	9
3.1. Erstellen der Stroboskopaufnahmen – Versuchsaufbau	9
3.2. Vereinfachende Annahmen bei der Auswertung	10
3.3. Vorgehen bei der Auswertung	11
3.3.1. Messen der benötigten Größen	11
3.3.2. Berechnung einiger theoretischer Werte	12
3.4. Auswertungen einiger Stoßversuche	12
3.4.1. Stoß auf eine ruhende Kugel	13
3.4.2. Frontaler Stoß von zwei Kugeln in Bewegung	14
3.4.3. Seitlicher Stoß von zwei Kugeln in Bewegung	16
4. Beurteilung der Auswertung.....	18
5. Anhang	19
5.1. Literatur- und Hilfsmittelverzeichnis	19
5.2. Inhaltsverzeichnis des beigelegten Datenträgers	19

1. Der Stoß im alltäglichen Leben und in der Physik

Der Stoßprozess selbst ist für den Menschen im täglichen Leben uninteressant, wohingegen die offensichtlich erkennbaren Folgen viel interessanter sind, zum Beispiel die Verformung der Körper oder das Erreichen eines Ziels. Jedem Billardspieler sind die Folgen des Zusammenstoßes zweier Kugeln bekannt, da er diese Folgen nutzen muss, um so das Spiel gewinnen zu können.

Für die Physik, vor allem für die moderne Physik, hingegen sind Untersuchungen von Stoßprozessen sehr wichtig. Ziel dieser Untersuchungen ist es, anhand der Zustände der beteiligten Körper, vor und nach dem Stoß, Informationen über die während des Stoßes wirkenden Kräfte zu erfahren. Diese Informationen werden genutzt, um Rückschlüsse auf die beteiligten Körper, vor allem im subatomaren Bereich, und deren Eigenschaften zu ziehen. Der Stoß kann vom Menschen nicht detailliert wahrgenommen werden, da er sich in einem zu kurzen Zeitabstand abspielt.

2. Theoretische Grundlagen

Für die Auswertung der Stoßversuche sind einige theoretische Grundlagen, die in den folgenden Abschnitten erläutert werden, nötig.

2.1. Physikalische Definition des Stoßes

Um sich genauer mit dem Stoß zu beschäftigen ist es erforderlich den Stoß zu definieren:

„Unter einem Stoß verstehen wir ein isoliertes Ereignis, während dessen zwei oder mehrere Körper für relativ kurze Zeit relativ starke Kräfte aufeinander ausüben.“ ([1], S.248)

Diese Definition des Stoßes setzt, im Gegensatz zum alltäglichen Gebrauch des Begriffs Stoß, keinen tatsächlichen Kontakt der Körper voraus. (vergleiche [1], S.248)

2.2. Vereinfachungen und Indizes

Für die weiteren theoretischen Grundlagen werden zur Vereinfachung zwei, unter anderem für die folgende praktische Auswertung sinnvolle, Einschränkungen festgelegt:

(1) Der Stoß findet zwischen zwei Stoßpartnern in einem geschlossenen, isolierten System statt.

(2) Die Masse beider Körper ist konstant.

Desweiteren ist es sinnvoll einheitliche Indizes zu verwenden, die wie folgt festgelegt werden:

Der Index 1 beziehungsweise 2 gibt an auf welchen Körper (1 oder 2) sich die Größe bezieht.

Der Index v beziehungsweise n steht für die Größe vor beziehungsweise nach dem Stoß.

2.3. Zusammenhang zwischen Kraftstoß und Impulsänderung

Um mehr Informationen über die während des Stoßes wirkenden Kräfte zu erfahren, ist es nötig einen Zusammenhang zwischen den wirkenden Kräften beziehungsweise Kraftstößen und einer Größe, die vor und nach dem Stoß gemessen werden kann, herzustellen. Das zweite Newton-Gesetz ($\vec{F}(t) = \frac{d\vec{p}}{dt}$) stellt einen Zusammenhang zwischen Kraft und der zeitlichen Änderung des Impulses her und ist daher als Ausgangspunkt geeignet, da die Impulsänderung gut messbar ist.

$$\vec{F}(t)dt = d\vec{p}$$

Da es sich bei $\vec{F}(t)$ um eine zeitabhängige Kraft handelt, integriert man beide Seiten der Gleichung:

$$\int_{t_v}^{t_n} \vec{F}(t) dt = \int_{\vec{p}_v}^{\vec{p}_n} d\vec{p} = \vec{p}_n - \vec{p}_v = \Delta\vec{p}$$

Diese Gleichung stellt einen Zusammenhang zwischen Kraftstoß und Impulsänderung her. Der auf einen Körper wirkende Kraftstoß ist gleich der Impulsänderung $\Delta\vec{p}$ des Körpers. Da es sich bei den beiden wirkenden Kräften während des Stoßes um ein Kraft-Gegenkraft-Paar handelt, kann das dritte Newton-Gesetz angewandt werden:

$$\vec{F}_1(t) = -\vec{F}_2(t)$$

$$\int_{t_v}^{t_n} \vec{F}_1(t) dt = \int_{t_v}^{t_n} -\vec{F}_2(t) dt = - \int_{t_v}^{t_n} \vec{F}_2(t) dt$$

$$\Delta\vec{p}_1 = -\Delta\vec{p}_2$$

Die Beziehung zwischen den Kräften eines Kraft-Gegenkraft-Paares, nach der beide Kräfte im Betrag gleich groß, die vektoriellen Größen jedoch entgegengesetzt gerichtet sind, trifft nach der ermittelten Gleichung auch auf die Impulsänderungen der beiden Körper zu.

2.4. Impulserhaltungssatz

Bedingt durch den ermittelten Zusammenhang zwischen wirkender Kraft beziehungsweise Kraftstoß und Impulsänderung ist es möglich den Stoß mit Hilfe der Impulsänderung zu beschreiben ohne genaueres über die auftretenden Kräfte beziehungsweise Kraftstöße zu wissen. Da der Stoß in einem geschlossenen, isolierten System stattfindet, ist der Impulserhaltungssatz gültig, nach dem sich der Gesamtimpuls \vec{P} in dem System nicht ändert. Lediglich die Impulse der einzelnen Stoßpartner können sich ändern.

$$\Delta\vec{P} = \Delta\vec{p}_1 + \Delta\vec{p}_2 = 0$$

$$\vec{p}_{1n} - \vec{p}_{1v} = -(\vec{p}_{2n} - \vec{p}_{2v})$$

$$m_1(\vec{v}_{1n} - \vec{v}_{1v}) = -m_2(\vec{v}_{2n} - \vec{v}_{2v})$$

2.5. Verschiedene Stöße

In der Physik wird zwischen verschiedenen Arten von Stößen unterschieden, die sich meist in Summe und Form der im System vorhandenen Energie vor und nach dem Stoß unterscheiden.

2.5.1. Elastischer Stoß

Ist die Summe der kinetischen Energie beider Körper vor und nach dem Stoßvorgang gleich, spricht man von einem elastischen Stoß.

$$E_{kin_{1v}} + E_{kin_{2v}} = E_{kin_{1n}} + E_{kin_{2n}}$$

$$\frac{1}{2}m_1v_{1v}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2v}^2 = \frac{1}{2}m_1v_{1n}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2n}^2$$

2.5.2. Unelastischer Stoß

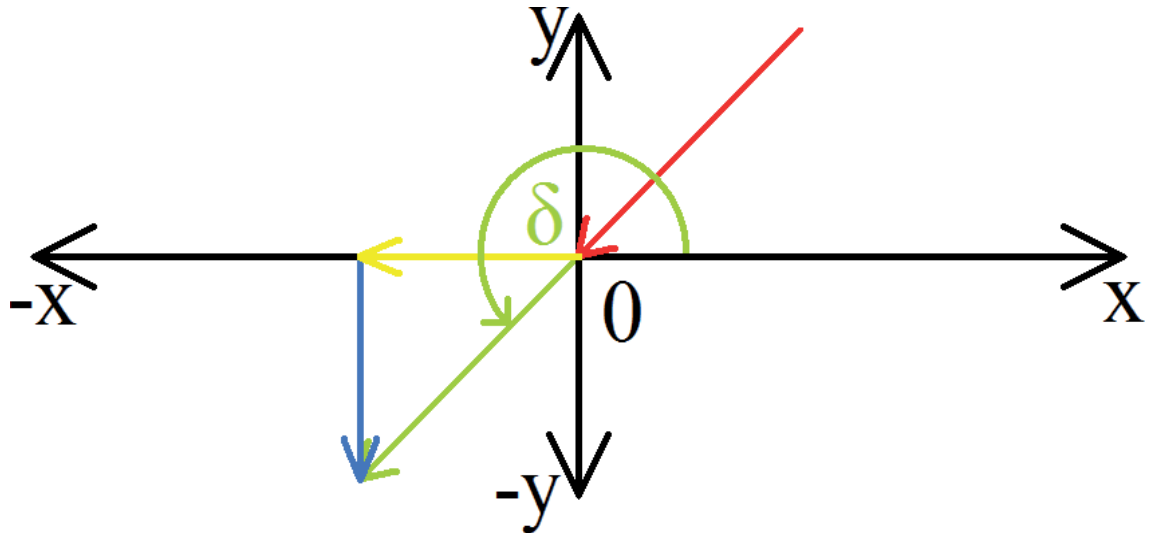
Ist die Summe der kinetischen Energie beider Körper vor und nach dem Stoßvorgang nicht gleich, d.h. ein Teil der kinetischen Energie liegt in einer anderen Form (zum Beispiel: innere Energie) vor, spricht man von einem unelastischen Stoß.

$$E_{kin_{1v}} + E_{kin_{2v}} = E_{kin_{1n}} + E_{kin_{2n}} + E$$

2.6. Zweidimensionaler Stoß

In der Praxis kommen häufig zweidimensionale Stöße vor, daher wird die Theorie für diese Art von Stoß genauer erläutert.

2.6.1. Zerlegung der Geschwindigkeitsvektoren



Zur Berechnung eines zweidimensionalen Stoßes ist es empfehlenswert die Geschwindigkeiten, wie in der obigen Skizze für eine der Geschwindigkeiten gezeigt, in zwei Komponenten (x und y) zu zerlegen. Dazu wird zuerst ein, für alle vorkommenden Geschwindigkeitsvektoren einheitliches, Koordinatensystem, dessen Ursprung in der Skizze im Zentrum des Stoßes liegt, festgelegt. Anschließend wird der Winkel δ zwischen $\vec{x} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ und dem Geschwindigkeitsvektor gemessen, wobei zu beachten ist, dass der Winkel von \vec{x} ausgehend im mathematisch positiven Drehsinn gemessen wird. Um diesen Winkel zu messen, wird der Geschwindigkeitsvektor (in der Skizze rot) so verschoben, dass der Fuß des Geschwindigkeitsvektors im Ursprung liegt (in der Skizze grün). Dieser verschobene Geschwindigkeitsvektor wird nun in zwei Vektoren, die jeweils nur eine x (gelb) beziehungsweise y (blau) Komponente besitzen, zerlegt. Die Längen der beiden Vektoren können aus dem Betrag des Geschwindigkeitsvektors und dem Winkel δ mit Hilfe des Cosinus beziehungsweise Sinus errechnet werden. Bedingt durch die Art der Messung des Winkels δ handelt es sich bei den Ergebnissen jeweils um eine gerichtete Länge, dadurch ist eine weitere Betrachtung der Richtung, die von Fall zu Fall anders sein kann, nicht mehr nötig. Diese einzelnen Schritte werden für alle vorkommenden Geschwindigkeitsvektoren durchgeführt.

2.6.2. Berechnung der Geschwindigkeiten v_{1n} und v_{2n}

Bedingt durch die Zerlegung aller Geschwindigkeiten in jeweils zwei Komponenten kann auch die Gleichung der Impulserhaltung in zwei Gleichungen, jeweils für eine der Komponenten x beziehungsweise y, zerlegt werden:

$$m_1(v_{1n} \cos \delta_{1n} - v_{1v} \cos \delta_{1v}) = -m_2(v_{2n} \cos \delta_{2n} - v_{2v} \cos \delta_{2v})$$

$$m_1(v_{1n} \sin \delta_{1n} - v_{1v} \sin \delta_{1v}) = -m_2(v_{2n} \sin \delta_{2n} - v_{2v} \sin \delta_{2v})$$

Sind alle anderen Größen bekannt, können v_{1n} und v_{2n} mit Hilfe der beiden Gleichungen unabhängig voneinander berechnet werden:

$$v_{1n} = \frac{(m_1 v_{1v} \sin \delta_{1v} + m_2 v_{2v} \sin \delta_{2v}) \cos \delta_{2n} - (m_1 v_{1v} \cos \delta_{1v} + m_2 v_{2v} \cos \delta_{2v}) \sin \delta_{2n}}{m_1 (\sin \delta_{1n} \cos \delta_{2n} - \sin \delta_{2n} \cos \delta_{1n})}$$

$$v_{2n} = \frac{(m_1 v_{1v} \sin \delta_{1v} + m_2 v_{2v} \sin \delta_{2v}) \cos \delta_{1n} - (m_1 v_{1v} \cos \delta_{1v} + m_2 v_{2v} \cos \delta_{2v}) \sin \delta_{1n}}{m_2 (\sin \delta_{2n} \cos \delta_{1n} - \sin \delta_{1n} \cos \delta_{2n})}$$

3. Auswertung mit Hilfe von Stroboskopaufnahmen

Die erarbeitete Theorie soll nun mit Hilfe von Stroboskopaufnahmen, die einfache Stoßversuche mit Kugeln zeigen, überprüft werden.

3.1. Erstellen der Stroboskopaufnahmen – Versuchsaufbau

Der Versuch wird auf einer ebenen, schwarzen Fläche durchgeführt. Die Kamera, bei der eine versuchsabhängige Belichtungszeit eingestellt ist, wird über der Fläche angebracht und zeigt senkrecht nach unten. Das Stroboskop mit der Frequenz $f=50\text{Hz}$ wird ebenfalls über der Fläche, etwas über der Kamera und seitlich dazu versetzt, installiert. Als erstes wird mit der Kamera ein Maßband, das auf der Fläche liegt, fotografiert um so den Maßstab (60 Pixel : 1 cm) zu erhalten. Dieses Bild ist auf dem beigelegten Datenträger zu finden (siehe 5.2.). Die Kamera ist fest montiert und wird während der Versuche nicht bewegt, um den Maßstab nicht zu ändern. Bei den beiden Versuchsprobanden handelt es sich um zwei Billardkugeln K_1 und K_2 mit der Masse $m_1=164\text{g}$ beziehungsweise $m_2=174\text{g}$. Wenn beim durchzuführenden Versuch eine der beiden Kugeln keine Anfangsgeschwindigkeit besitzen soll, wird die zweite Kugel durch einen Stoß beschleunigt, um Rotationsenergie zu vermeiden. Sollen beide Kugeln eine Anfangsgeschwindigkeit besitzen werden beide Kugeln durch das Hinab rollen von jeweils einer der beiden nahezu identischen Holzrampen beschleunigt. Bilder aller Hilfsmittel, die für den Versuch nötig sind, außer der Spiegelreflexkamera, befinden sich auf der beigelegten CD (siehe 5.2.).

3.2. Vereinfachende Annahmen bei der Auswertung

Um die Auswertung auf den Stoß und damit auf die erarbeitete Theorie zu konzentrieren, werden einige Faktoren vernachlässigt, die eigentlich gesondert berechnet werden müssten. Um eine Vernachlässigung dieser Faktoren zu gewährleisten werden folgende Annahmen getroffen:

(1) Die Reibung der Kugeln wird vernachlässigt. Um die Abweichung durch diese Annahme zu vermindern, werden alle Geschwindigkeiten möglichst nahe am Stoß gemessen.

(2) Es wird angenommen, dass die Summe, der Rotationsenergien von K_1 und K_2 vor und nach dem Stoß annähernd gleich sind und daher die Rotationsenergie keinen nennenswerten Einfluss hat.

(3) Soweit möglich wird versucht, dass der Stoß ungefähr im Zentrum der Abbildung stattfindet. Damit die Abweichung des Maßstabs von der Mitte der Stroboskopaufnahmen hin zum Rand, bedingt durch die optische Verzerrung der Kamera, minimiert wird, sodass eine Vernachlässigung der Verzerrung möglich ist.

3.3. Vorgehen bei der Auswertung

Das Vorgehen bei der Auswertung ist bei allen Stoßversuchen sehr ähnlich beziehungsweise identisch und unterteilt sich in das Messen der benötigten Größen und die Berechnung einiger theoretischer Werte zur Überprüfung der Theorie.

3.3.1. Messen der benötigten Größen

Zum Messen wird als erstes die Stroboskopaufnahme so gedreht, dass mindestens einer der Anfangsgeschwindigkeitsvektoren waagrecht verläuft. Daraufhin wird ein Koordinatensystem festgelegt, dessen x-Komponente waagrecht von links nach rechts und die y-Komponente senkrecht dazu von unten nach oben verläuft. Der Ursprung liegt im Zentrum des Stoßes. Nun werden, wie unter 2.6.1. beschrieben, die Winkel für alle Geschwindigkeitsvektoren gemessen. Mindestens einer dieser Winkel beträgt, bedingt durch die Drehung zu Beginn, 0° beziehungsweise 180° . Dadurch wird die spätere Berechnung etwas vereinfacht. Die Beträge der Geschwindigkeiten werden ermittelt, indem der Abstand d von einem bestimmten Punkt auf einer der Abbildungen der Kugel K_1 beziehungsweise K_2 , vor beziehungsweise nach dem Stoß, bis zum selben Punkt auf der nächsten beziehungsweise eine der folgenden Abbildungen der selben Kugel, die sich wie die erste Abbildung vor beziehungsweise nach dem Stoß befindet, gemessen wird. Die vergangene Zeit lässt sich aus n , der Anzahl der Abbildungen der Kugel zwischen den beiden verwendeten Abbildungen, und der Frequenz f des Stroboskops errechnen. Mit Hilfe des ermittelten Abstands d in Pixel, n und der Frequenz f lässt sich die Geschwindigkeit in Metern pro Sekunde berechnen:

$$v = \frac{df * 0,01m}{(n + 1) * 60 \text{ Pixel}} = \frac{d}{(n + 1)} * \frac{1}{120 \text{ Pixel}} * \frac{m}{s} ; n \in N_0$$

Da die Messung der Beträge der Geschwindigkeit nicht sehr genau möglich ist und dabei schnell Abweichungen auftreten können wird die Geschwindigkeit mehrmals gemessen (andere Punkte auf den Abbildungen oder andere Abbildungen) und aus allen gemessenen Werten ein Mittelwert gebildet. Zu diesem Mittelwert wird $\pm \Delta v_{max}$, die maximale Abweichung der gemessenen Werte zum errechneten Mittelwert, addiert. Den Geschwindigkeitsbeträgen wird also kein fester Wert, sondern ein Bereich an möglichen Werten, zugeordnet.

3.3.2. Berechnung einiger theoretischer Werte

Um die Theorie zu überprüfen, müssen einige messbare Größen theoretisch ermittelt und anschließend mit den gemessenen Größen verglichen werden.

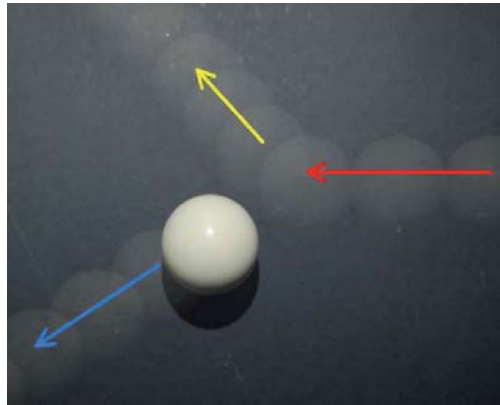
Dazu werden v_{1n} und v_{2n} aus gemessenen Größen, den Beträgen der Anfangsgeschwindigkeiten, den Winkeln aller Geschwindigkeiten und den Massen beider Kugeln, mit den, in 2.6.2 hergeleiteten, Gleichungen unabhängig voneinander berechnet. Da den Beträgen der Anfangsgeschwindigkeiten ein Bereich an möglichen Werten zugeordnet wurde, gilt dies auch für die theoretisch berechneten Größen v_{1n} und v_{2n} . Die theoretisch errechneten Bereiche von v_{1n} und v_{2n} werden anschließend mit den Gemessenen verglichen.

Desweiteren werden die Summen der kinetischen Energien vor und nach dem Stoß aus den gemessenen Größen ermittelt und verglichen um festzustellen, ob der Stoß als annähernd elastisch betrachtet werden kann.

3.4. Auswertungen einiger Stoßversuche

Zur Auswertung allgemein ist noch hinzuzufügen, dass der Geschwindigkeitsvektor \vec{v}_{1v} , \vec{v}_{1n} , \vec{v}_{2v} beziehungsweise \vec{v}_{2n} in der bearbeiteten Stroboskopaufnahme, grün, blau, rot beziehungsweise gelb eingezeichnet ist (Maßstab: 240Pixel : $1\frac{m}{s}$). Am Anfang jeder Auswertung ist ein Ausschnitt der bearbeiteten Stroboskopaufnahme des Stoßversuches abgebildet. Diese Abbildung dient lediglich der Übersicht, ist nicht maßstabsgetreu und zum Ablesen der Größen ungeeignet. Eine maßstabsgetreue, hochauflösende, zur Auswertung geeignete Variante aller verwendeten Stroboskopaufnahmen ist in unbearbeiteter, sowie bearbeiteter Form auf der beigelegten CD zu finden. In der Tabelle mit den Messwerten werden für alle Geschwindigkeiten fünf gemessene Werte, der Größe nach sortiert, und der Durchschnittswert mit der Abweichung $\pm\Delta v_{max}$ angegeben.

3.4.1. Stoß auf eine ruhende Kugel



v_{1v} in $\frac{m}{s}$		v_{2v} in $\frac{m}{s}$	2,70; 2,71; 2,72; 2,73; 2,75
			2,72±0,03
δ_{1v}		δ_{2v}	180°
v_{1n} in $\frac{m}{s}$	2,12; 2,13; 2,13; 2,15; 2,16	v_{2n} in $\frac{m}{s}$	1,42; 1,43; 1,45; 1,47; 1,48
	2,14±0,02		1,45±0,03
δ_{1n}	213°	δ_{2n}	133°

Berechnung von v_{1n} und v_{2n} :

$$v_{1n} = \frac{-0,174kg(2,72 \pm 0,03) \frac{m}{s} \cos 180^\circ \sin 133^\circ}{0,164kg(\sin 213^\circ \cos 133^\circ - \sin 133^\circ \cos 213^\circ)} = (2,14 \pm 0,02) \frac{m}{s}$$

$$v_{2n} := \frac{-0,174kg(2,72 \pm 0,03) \frac{m}{s} \cos 180^\circ \sin 213^\circ}{0,174kg(\sin 133^\circ \cos 213^\circ - \sin 213^\circ \cos 133^\circ)} = (1,50 \pm 0,02) \frac{m}{s}$$

Vergleich der Summen der kinetischen Energien vor und nach dem Stoß:

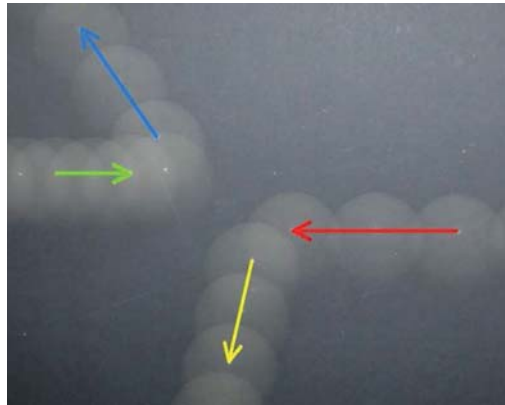
$$E_{kin_v} = \frac{1}{2} 0,174kg \left[(2,72 \pm 0,03) \frac{m}{s} \right]^2 = (0,64 \pm 0,01)J$$

$$E_{kin_n} = \frac{1}{2} 0,164kg \left[(2,14 \pm 0,03) \frac{m}{s} \right]^2 + \frac{1}{2} 0,174kg \left[(1,45 \pm 0,03) \frac{m}{s} \right]^2 = (0,56 \pm 0,02)J$$

$$\Delta E_{kin} = E_{kin_n} - E_{kin_v} = -(0,08 \pm 0,03)J$$

3.4.2. Frontaler Stoß von zwei Kugeln in Bewegung

Versuch 1:



v_{1v} in $\frac{m}{s}$	1,05; 1,06; 1,07; 1,08; 1,10 1,07±0,03	v_{2v} in $\frac{m}{s}$	2,42; 2,45; 2,45; 2,46; 2,47 2,45±0,03
δ_{1v}	0°	δ_{2v}	180°
v_{1n} in $\frac{m}{s}$	1,87; 1,88; 1,90; 1,91; 1,92 1,90±0,03	v_{2n} in $\frac{m}{s}$	1,48; 1,49; 1,49; 1,51; 1,53 1,50±0,03
δ_{1n}	125°	δ_{2n}	256°

Berechnung von v_{1n} und v_{2n} :

$$v_{1n} = \frac{-(0,164kg(1,07 \pm 0,03) \frac{m}{s} - 0,174kg(2,45 \pm 0,03) \frac{m}{s}) \sin 256^\circ}{0,164kg(\sin 125^\circ \cos 256^\circ - \sin 256^\circ \cos 125^\circ)} = (1,97 \pm 0,08) \frac{m}{s}$$

$$v_{2n} = \frac{-(0,164kg(1,07 \pm 0,03) \frac{m}{s} - 0,174kg(2,45 \pm 0,03) \frac{m}{s}) \sin 125^\circ}{0,174kg(\sin 256^\circ \cos 125^\circ - \sin 125^\circ \cos 256^\circ)} = (1,56 \pm 0,06) \frac{m}{s}$$

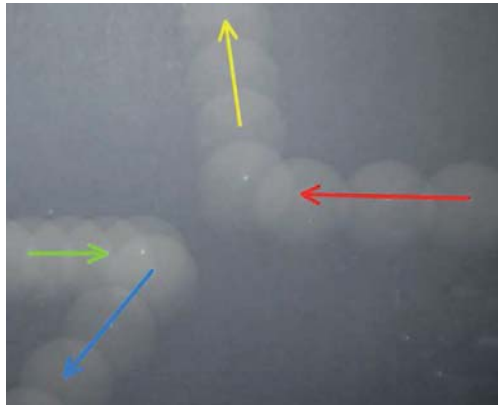
Vergleich der Summen der kinetischen Energien vor und nach dem Stoß:

$$E_{kin_v} = \frac{1}{2} 0,164kg \left[(1,07 \pm 0,03) \frac{m}{s} \right]^2 + \frac{1}{2} 0,174kg \left[(2,45 \pm 0,03) \frac{m}{s} \right]^2 = (0,62 \pm 0,02)J$$

$$E_{kin_n} = \frac{1}{2} 0,164kg \left[(1,90 \pm 0,03) \frac{m}{s} \right]^2 + \frac{1}{2} 0,174kg \left[(1,50 \pm 0,03) \frac{m}{s} \right]^2 = (0,49 \pm 0,02)J$$

$$\Delta E_{kin} = E_{kin_n} - E_{kin_v} = -(0,13 \pm 0,04)J$$

Versuch 2:



v_{1v} in $\frac{m}{s}$	1,11; 1,12; 1,13; 1,13; 1,15 1,13±0,02	v_{2v} in $\frac{m}{s}$	2,49; 2,51; 2,52; 2,53; 2,54 2,52±0,03
δ_{1v}	0°	δ_{2v}	179°
v_{1n} in $\frac{m}{s}$	1,96; 1,98; 2,01; 2,02; 2,03 2,00±0,04	v_{2n} in $\frac{m}{s}$	1,49; 1,50; 1,51; 1,51; 1,53 1,51±0,02
δ_{1n}	230°	δ_{2n}	98°

Berechnung von v_{1n} und v_{2n} :

$$v_{1n} =$$

$$\frac{0,174kg(2,52\pm 0,03)\frac{m}{s}\sin 179^\circ \cos 98^\circ - (0,164kg(1,13\pm 0,02)\frac{m}{s} + 0,174kg(2,52\pm 0,03)\frac{m}{s}\cos 179^\circ)\sin 98^\circ}{0,164kg(\sin 230^\circ \cos 98^\circ - \sin 98^\circ \cos 230^\circ)} =$$

$$(2,05 \pm 0,07) \frac{m}{s}$$

$$v_{2n} =$$

$$\frac{0,174kg(2,52\pm 0,03)\frac{m}{s}\sin 179^\circ \cos 230^\circ - (0,164kg(1,13\pm 0,02)\frac{m}{s} + 0,174kg(2,52\pm 0,03)\frac{m}{s}\cos 179^\circ)\sin 230^\circ}{0,174kg(\sin 98^\circ \cos 230^\circ - \sin 230^\circ \cos 98^\circ)} =$$

$$(1,54 \pm 0,05) \frac{m}{s}$$

Vergleich der Summen der kinetischen Energien vor und nach dem Stoß:

$$E_{kin_v} = \frac{1}{2}0,164kg \left[(1,13 \pm 0,02) \frac{m}{s} \right]^2 + \frac{1}{2}0,174kg \left[(2,52 \pm 0,03) \frac{m}{s} \right]^2 =$$

$$(0,66 \pm 0,02)J$$

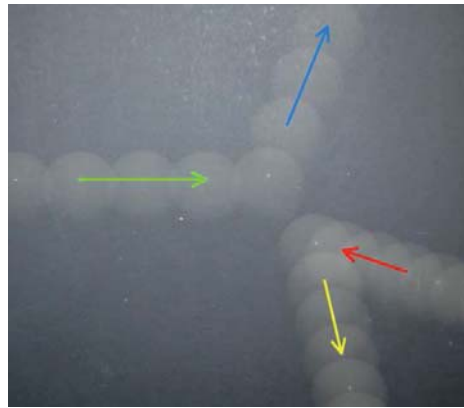
$$E_{kin_n} = \frac{1}{2}0,164kg \left[(2,00 \pm 0,04) \frac{m}{s} \right]^2 + \frac{1}{2}0,174kg \left[(1,51 \pm 0,02) \frac{m}{s} \right]^2 =$$

$$(0,53 \pm 0,02)J$$

$$\Delta E_{kin} = E_{kin_n} - E_{kin_v} = -(0,13 \pm 0,04)J$$

3.4.3. Seitlicher Stoß von zwei Kugeln in Bewegung

Versuch 1:



v_{1v} in $\frac{m}{s}$	2,36; 2,38; 2,38; 2,39; 2,39 $2,38 \pm 0,02$	v_{2v} in $\frac{m}{s}$	1,26; 1,27; 1,28; 1,28; 1,31 $1,28 \pm 0,03$
δ_{1v}	0°	δ_{2v}	162°
v_{1n} in $\frac{m}{s}$	1,98; 2,00; 2,01; 2,02; 2,04 $2,01 \pm 0,03$	v_{2n} in $\frac{m}{s}$	1,36; 1,37; 1,38; 1,39; 1,41 $1,38 \pm 0,03$
δ_{1n}	68°	δ_{2n}	283°

Berechnung von v_{1n} und v_{2n} :

$$v_{1n} =$$

$$\frac{0,174kg(1,28 \pm 0,03) \frac{m}{s} \sin 162^\circ \cos 283^\circ - (0,164kg(2,38 \pm 0,02) \frac{m}{s} + 0,174kg(1,28 \pm 0,03) \frac{m}{s} \cos 162^\circ) \sin 283^\circ}{0,164kg(\sin 68^\circ \cos 283^\circ - \sin 283^\circ \cos 68^\circ)} =$$

$$(2,01 \pm 0,08) \frac{m}{s}$$

$$v_{2n} =$$

$$\frac{0,174kg(1,28 \pm 0,03) \frac{m}{s} \sin 162^\circ \cos 68^\circ - (0,164kg(2,38 \pm 0,02) \frac{m}{s} + 0,174kg(1,28 \pm 0,03) \frac{m}{s} \cos 162^\circ) \sin 68^\circ}{0,174kg(\sin 283^\circ \cos 68^\circ - \sin 68^\circ \cos 283^\circ)} =$$

$$(1,40 \pm 0,08) \frac{m}{s}$$

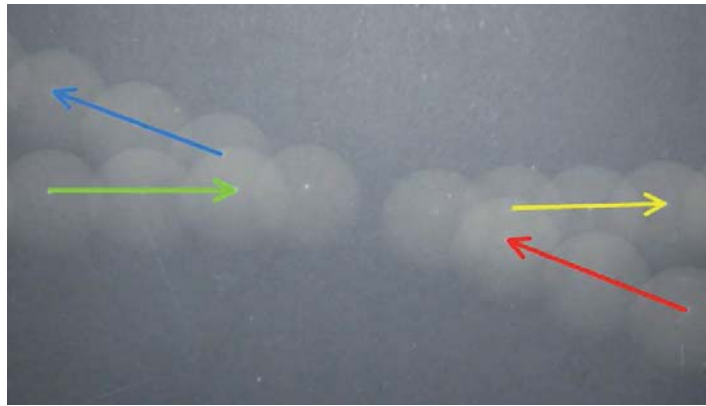
Vergleich der Summen der kinetischen Energien vor und nach dem Stoß:

$$E_{kin_v} = \frac{1}{2} 0,164kg \left[(2,38 \pm 0,02) \frac{m}{s} \right]^2 + \frac{1}{2} 0,174kg \left[(1,28 \pm 0,03) \frac{m}{s} \right]^2 = (0,61 \pm 0,01)J$$

$$E_{kin_n} = \frac{1}{2} 0,164kg \left[(2,01 \pm 0,03) \frac{m}{s} \right]^2 + \frac{1}{2} 0,174kg \left[(1,38 \pm 0,03) \frac{m}{s} \right]^2 = (0,50 \pm 0,02)J$$

$$\Delta E_{kin} = E_{kin_n} - E_{kin_v} = -(0,11 \pm 0,03)J$$

Versuch 2:



v_{1v} in $\frac{m}{s}$	2,37; 2,39; 2,41; 2,41; 2,42 $2,40 \pm 0,03$	v_{2v} in $\frac{m}{s}$	2,45; 2,45; 2,46; 2,49; 2,51 $2,47 \pm 0,04$
δ_{1v}	0°	δ_{2v}	160°
v_{1n} in $\frac{m}{s}$	2,30; 2,31; 2,33; 2,34; 2,36 $2,33 \pm 0,03$	v_{2n} in $\frac{m}{s}$	1,96; 1,97; 2,01; 2,02; 2,03 $2,00 \pm 0,04$
δ_{1n}	160°	δ_{2n}	2°

Berechnung von v_{1n} und v_{2n} :

$$v_{1n} =$$

$$\frac{0,174kg(2,47 \pm 0,04) \frac{m}{s} \sin 160^\circ \cos 2^\circ - (0,164kg(2,40 \pm 0,03) \frac{m}{s} + 0,174kg(2,47 \pm 0,04) \frac{m}{s} \cos 160^\circ) \sin 2^\circ}{0,164kg(\sin 160^\circ \cos 2^\circ - \sin 2^\circ \cos 160^\circ)} =$$

$$(2,40 \pm 0,05) \frac{m}{s}$$

$$v_{2n} =$$

$$\frac{0,174kg(2,47 \pm 0,04) \frac{m}{s} \sin 160^\circ \cos 160^\circ - (0,164kg(2,40 \pm 0,03) \frac{m}{s} + 0,174kg(2,47 \pm 0,04) \frac{m}{s} \cos 160^\circ) \sin 160^\circ}{0,174kg(\sin 2^\circ \cos 160^\circ - \sin 160^\circ \cos 2^\circ)} =$$

$$(2,07 \pm 0,03) \frac{m}{s}$$

Vergleich der Summen der kinetischen Energien vor und nach dem Stoß:

$$E_{kin_v} = \frac{1}{2} 0,164kg \left[(2,40 \pm 0,03) \frac{m}{s} \right]^2 + \frac{1}{2} 0,174kg \left[(2,47 \pm 0,04) \frac{m}{s} \right]^2 =$$

$$(1,00 \pm 0,03) J$$

$$E_{kin_n} = \frac{1}{2} 0,164kg \left[(2,33 \pm 0,03) \frac{m}{s} \right]^2 + \frac{1}{2} 0,174kg \left[(2,00 \pm 0,03) \frac{m}{s} \right]^2 =$$

$$(0,79 \pm 0,02) J$$

$$\Delta E_{kin} = E_{kin_n} - E_{kin_v} = -(0,21 \pm 0,05) J$$

4. Beurteilung der Auswertung

Bei allen fünf Stoßversuchen zeigt der Vergleich der gemessenen Geschwindigkeiten v_{1n} und v_{2n} , mit den theoretisch Ermittelten, eine Überlappung der Bereiche der möglichen Werte. Diese Tatsache bestätigt die Gültigkeit der zuvor erarbeiteten Theorie, vor allem der unter 2.6.2. hergeleiteten Gleichungen.

Beim Vergleich der Summen der kinetischen Energien vor und nach dem Stoß fällt hingegen eine relativ große Differenz auf, es geht ein Teil der kinetischen Energien verloren. Dabei sollte jedoch beachtet werden, dass hier die Messungsungenauigkeiten sehr stark auffallen. Der Bereich der möglichen Werte fällt verhältnismäßig groß aus. Daher ist es zu empfehlen von der Betrachtung des Stoßes als annähernd elastisch, soweit möglich, abzusehen. Sollte jedoch die Gleichung des Energieerhaltungssatzes nötig sein, um unbekannte Größen aus den bekannten Größen zu berechnen und eine Berechnung des Verlustes der kinetischen Energie nicht möglich sein, kann der Stoß als elastisch angesehen werden. Wobei bei den errechneten Größen mit einer größeren Abweichung zu rechnen ist. Sollte der Energieverlust ungefähr bekannt sein, zum Beispiel von ähnlichen Stoßversuchen, kann dieser in die Gleichung des Energieerhaltungssatzes mit einberechnet werden und somit das Ergebnis der theoretisch errechneten Werte zu verbessern. Sind nur zwei Größen beim zweidimensionalen Stoß unbekannt, wie in der Auswertung angenommen, ist von der Betrachtung als annähernd elastischer Stoß prinzipiell abzuraten.

Allgemein stellen die Messungsungenauigkeiten und andere Faktoren, die in der Berechnung nicht berücksichtigt werden, das größte Problem bei der Auswertung dar. Die Stoßversuche wurden daher so ausgewählt beziehungsweise durchgeführt, um möglichst geringe Abweichungen bei den Messungen zu erhalten sowie alle anderen Faktoren zu minimieren. Um damit eine möglichst genaue Berechnung, und eine Überprüfung der Theorie, zu ermöglichen.

5. Anhang:

5.1. Literatur- und Hilfsmittelverzeichnis

Literatur:

- [1] Halliday, D. , Resnick. R., Walker. J., Koch, S., Physik, Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA Verlag, 2003; S. 247-272
- [2] Hammer, A., Hammer, H., Hammer, K., Physikalische Formeln und Tabellen, J. Lindauer Verlag München, 2002⁸
- [3] Barth, F., Mühlbauer, P., Nikol, F., Wörle, K., Mathematische Formeln und Definitionen, J. Lindauer Verlag München, Bayerischer Schulbuch-Verlag, 2004⁸

Hilfsmittel:

- Zwei Billardkugeln
- Zwei selbstgebaute Holzrampen
- Stroboskop
- Spiegelreflexkamera
- Digitales Bildbearbeitungsprogramm IrfanView (Irfan Skiljan; www.irfanview.net)

5.2. Inhaltsverzeichnis des beigelegten Datenträgers

- .\Aufbau*.jpg
Bilder der für die Versuchsdurchführung nötigen Hilfsmittel.
- .\Bearbeitet*.jpg
Alle verwendeten Stroboskopaufnahmen in bearbeiteter Form.
- .\Skizzen*.jpg
Alle verwendeten Skizzen.
- .\Unbearbeitet*.jpg
Alle verwendeten Stroboskopaufnahmen in unbearbeiteter Form.
- .\Maßstab.jpg
Bild des Maßbands zur Bestimmung des Maßstabes.
- .\Facharbeit.pdf
Facharbeit in digitaler Form.

Erklärung

„Ich erkläre hiermit, dass ich die Facharbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benützt habe.“

....., den

Ort

Datum

.....
Unterschrift des Schülers