

Experimentelle Übungen I

Versuchsprotokoll M4

Stoßgesetze

Hauke Hawighorst, Jörn Sieveneck

Gruppe 9

`h.hawighorst@uni-muenster.de`

`j_siev11@uni-muenster.de`

betreut von

Semir Vrana

13. Dezember 2017

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	1
2. Methoden	1
3. Ballistisches Pendel	2
4. Gerader zentraler Stoß einer rollenden Kugel	3
5. Schlussfolgerung	4
A. Anhang	6
A.1. Verwendete Gleichungen	6
Literatur	7

1. Zusammenfassung

In den im folgendem beschriebenen Experimenten ging es um die Beschreibung verschiedener näherungsweise Elastischer Stoßprozesse. In dem ersten Teil wurden zwei in einer ebene hängenden Kugeln betrachtet, die nach Auslenkung einer Kugel gegeneinander stoßen. Von diesem Stoß wurde das Gewichtsverhältnis der Kugeln bestimmt.

2. Methoden

Balistisches Pendel

In diesem Teil des Experimentes wurde das Verhalten zweier Unterschiedlich großer Kugeln beim Zusammenprall beobachtet. Zu diesem Zweck wurden diese Kugeln so aufgehängt, dass ihr Schwerpunkt genau auf einer Ebene lag. Auf diese Weise konnte man den Stoßprozess durch einen idealen Elastischen Stoß nähern. Es wurden zwei Messreihen aufgenommen: Einmal wurde die kleine Kugel ausgelenkt und einmal wurde die große Kugel ausgelenkt. Für jede Kugel wurden fünf verschiedene Auslenkungen beobachtet und pro Auslenkung wurden fünf Messwerte aufgenommen. Um später beurteilen zu können wie gut die Ergebnisse sind wurden die Kugeln gewogen.

Rollende Kugel

Die Kugel wurde jeweils fünfmal aus verschiedenen Höhen auf einer Fallrinne, gemäß Abbildung 1, positioniert und gegen das Pendel am Ende der Fallrinne rollen gelassen. Gemessen wurde jeweils die Auslenkung des Pendels a in Abhängigkeit von S . Als Ablesehilfe wurde ein Reiter auf einem Messschieber genutzt welcher vor Beginn der Messung jeweils so justiert wurde, dass er etwas hinter der erwarteten Auslenkung a war. Die Auslenkung wurde anschließend gemittelt und gegen die Wurzel der Höhe aufgetragen, da die folgenden Zusammenhänge für die Näherung als vollkommen elastischen, zentralen Stoß erwartet wurden:

$$a = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \sqrt{\varepsilon 2lh} \quad (2.1)$$

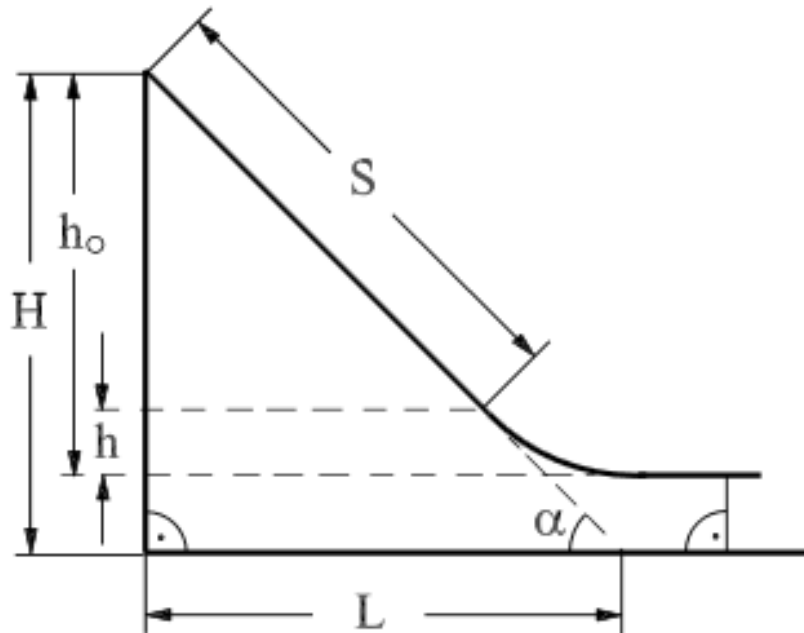


Abbildung 1: Abbildung der Fallrinne mit den für die Auswertung relevanten Abmessungen[1].

Aus energetischen Betrachtungen und dem Trägheitsmoment der Kugel um die Rotationsachse folgt $\varepsilon = 5/9$, da nur die kinetische Energie bei dem Stoßprozess übertragen wird und die Rotationsenergie keinen Beitrag liefert. Des weiteren gilt nach Abbildung 1:

$$\sin \alpha = \frac{H}{H^2 + L^2} = \frac{h_0 - h}{S} \quad (2.2)$$

$$\Rightarrow h(S) = h_0 - \frac{S}{1 + \frac{L^2}{H^2}} \quad (2.3)$$

3. Ballistisches Pendel

Beobachtung und Analyse

Beobachtet wurde das bei Auslenkung der kleinen Kugel die große Kugel erwartungsgemäß im Vergleich zur Auslenkung der kleinen Kugel bei Aufprall ausgelenkt wurde während die kleine Kugel beim Zusammenstoß mit der kleinen Kugel deutlich stärker ausgelenkt wurde als die große Kugel.

Die bei den fünf Messreihen erhaltenen Messwerte wurden jeweils gemittelt und sind in den Abbildungen 2 und 3 zu sehen. Die Fehlerbalken ergeben sich aus den Gleichungen A.2, A.3 und A.4. Man erkennt, dass die Messwerte linear ansteigen. Da dies mit der Theorie übereinstimmt (Die Auslenkung nach dem Stoß ist durch

$$a_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} a_1 \quad (3.1)$$

gegeben wobei m_1 die Masse der ausgelenkten Kugel ist und a_1 die Auslenkung von m_1) wurden die Messwerte mit der Linearen Anpassung $a_2 = b \cdot a_1$ angepasst. Und die Unsicherheit der Anpassung wurde aus Gnuplot entnommen. Um die Ergebnisse zu überprüfen wurde die Steigung b aus den Massen der Kugeln bestimmt. Die Unsicherheit der Masse, ist durch die Anzeigeungenauigkeit der Digitalen Waage, die auf zwei Nachkommastellen genau anzeigt, gegeben. Und somit folgt mit den Gleichungen A.1 und A.4. Der Vergleich der Werte ist in Tabelle 1 zu sehen. Man erkennt, dass die Werte zwar voneinander abweichen jedoch nur um ca. 3% (Groß gegen Klein) bzw. um ca. 2% (Klein gegen Groß). Dies ist darauf zurückzuführen, dass es sich bei dem untersuchten Stoß nicht um einen perfekten elastischen Stoß handelte bzw. dass die Pendel nicht immer tatsächlich vollkommen ruhig hingen. Über das Verhältnis der Steigungen der Anpassungsfunktion erhält man ein auch das Gewichtsverhältnis, dass sich über:

$$\frac{b_1}{b_2} = \frac{m_1}{m_2} \quad (3.2)$$

(b_1, m_1 Steigung bzw. ausgelenktes Gewicht aus Abb. 2 und b_2, m_2 Steigung bzw. ausgelenktes Gewicht aus Abb. 3) berechnen lässt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zu sehen. Man sieht, dass das aus den Massen berechnete Gewichtsverhältnis noch innerhalb der Unsicherheit des aus den Steigungen berechneten Verhältnisses liegt. Dies lässt darauf schließen, dass dieses Verfahren recht genau ist.

4. Gerader zentraler Stoß einer rollenden Kugel

Die Auslenkung des Pendels in Abhängigkeit der Höhe wurde

⁰Die Anpassung wurde durch „Gnuplot“ mit dem Levenberg–Marquardt Algorithmus vorgenommen.

	Steigung Theoretisch bestimmt	Steigung Experimentell bestimmt
Groß gegen Klein	$1,4870 \pm 0,0002$	$1,453 \pm 0,016$
Klein gegen Groß	$0,513 \pm 6 \cdot 10^{-5}$	$0,502 \pm 0,006$

Tabelle 1: Zu sehen sind die Steigungen der in Abb. 2 und 3 zu sehenden Anpassungsgeraden.

Gewichtsverhältnis aus den Gewichten	Gewichtsverhältnis aus der Steigung
$0,3451 \pm 6 \cdot 10^{-6}$	$0,3455 \pm 0,0040$

Tabelle 2: Zu sehen ist hier das Gewichtsverhältnis der Kleinen Kugel zur Großen Kugel.

5. Schlussfolgerung

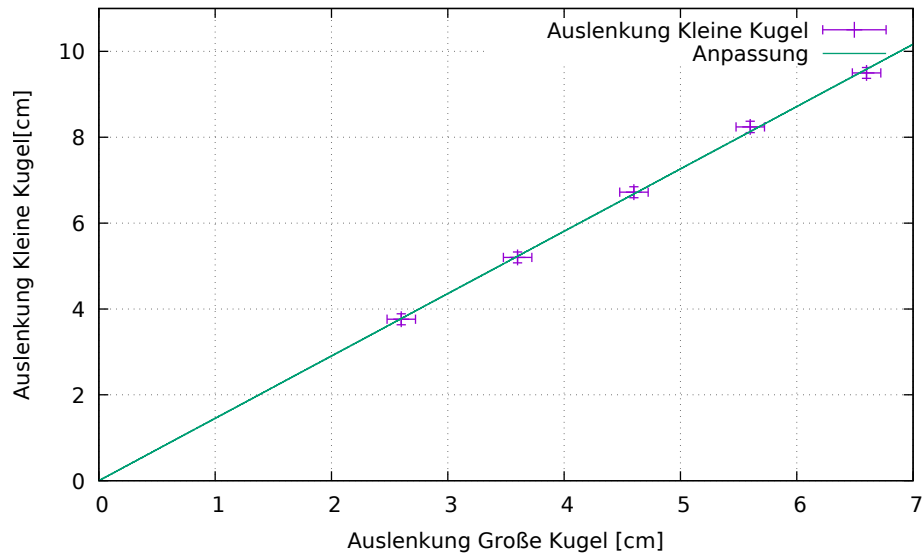


Abbildung 2: Zu sehen ist die Auslenkung der kleinen Kugel in Abhängigkeit von der Auslenkung der großen Kugel.

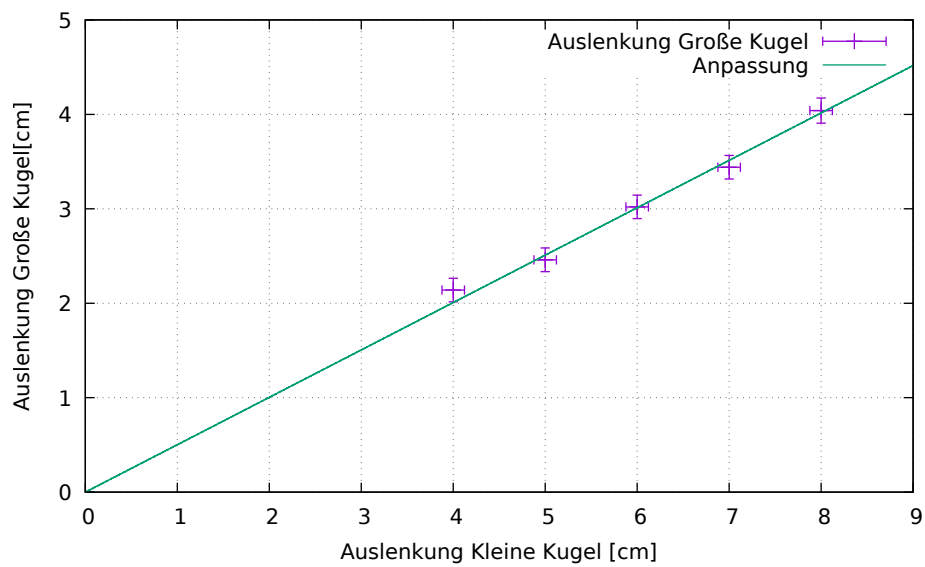


Abbildung 3: Zu sehen ist die Auslenkung der großen Kugel in Abhängigkeit von der Auslenkung der kleinen Kugel.

A. Anhang

A.1. Verwendete Gleichungen

Standardunsicherheit der Rechteckverteilung u für die Intervallbreite a :

$$u = \frac{a}{2\sqrt{3}} \quad (\text{A.1})$$

Standardunsicherheit der Dreieckverteilung u :

$$u = \frac{a}{2\sqrt{6}} \quad (\text{A.2})$$

Standardunsicherheit des Mittelwertes der Normalverteilung u für die Messwerte x_i und den Mittelwert \bar{x} :

$$u(\bar{x}) = t_p \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (\text{A.3})$$

Kominierte Standardunsicherheit der Messgröße $g(x_i)$

$$u(g(x_i)) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial x_i} u(x_i) \right)^2} \quad (\text{A.4})$$

Literatur

- [1] Markus Donath und Anke Schmidt. *Anleitung zu den Experimentellen Übungen zur Mechanik und Elektrizitätslehre*. Auflage Wintersemester 2017/2018. Westfälische Wilhelms-Universität Münster. Physikalisches Institut, Oktober 2017.