



Grundpraktikum I

M.9 Reversionspendel

Santiago Rodriguez

12.Mai 2019

Student: Santiago Rodriguez
santiagorodriguez450@gmail.com

Partner: Yusuf Cantürk

Betreuer: Dr. Wouter Van den Broek

Raum: N.316

Messplatz: N.1

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	1
2	Aufgabe 1) Aufbau und Messung des Schneideabstandes des Reversionspendels	2
3	Aufgabe 2) Messung der Periodendauer des Pendels als Funktion der Stellung der beweglichen Masse	3
4	Aufgabe 3) Präzisionsbestimmung der Periodendauer für beide Pendelbewegungen am Schnittpunkt $x_s \approx 90mm$ der Reversion	5
5	Aufgabe 4) Messung der Amplitudenabhängigkeit der Periodendauer	6
6	Aufgabe 5) Berechnung der Erdbeschleunigung	7
7	Literaturverzeichnis	7

1 Abstract

Der Reversionspendel ist ein Versuch, bei dem der physikalische Zusammenhang der Pendelbewegungen eines beidseitig gewichtetes Pendels untersucht wird. Der Pendel hängt hierbei mithilfe einer sogenannten Schneide auf solcher Weise an einem Halter, das sich das eine Gewicht am oberen Ende und das andere am unteren Ende des Pendels befindet. Die Stellung beider Gewichte kann durch das Umdrehen des Pendels vertauscht werden. Der Pendel wird dann durch eine beliebig messbare Auslenkung zur Pendelbewegung angeregt. Zwischen Messungen kann eins der beiden Massenstücke entlang der Metallstange verschoben werden, um die Auswirkung der Lage der Gewichte auf die beiden periodischen Pendelbewegungen zu ermitteln. Ziel des Versuchs ist es, die genaue Lage der zwei Gewichte zu ermitteln, bei dem die Periodendauer beider Pendelbewegungen der Schneiden identisch sind. Anschließend soll auch die Fallbeschleunigung mithilfe der experimentell ermittelten Werte berechnet werden können.

2 Aufgabe 1) Aufbau und Messung des Schneideabstandes des Reversionspendels

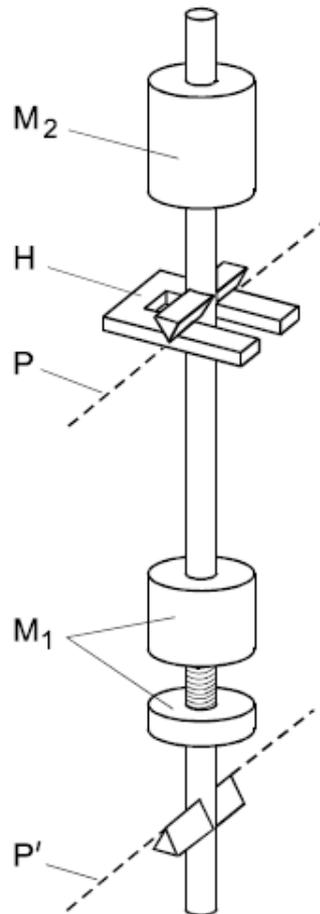


Abbildung 1: Aufbauskinne

Der Reversionspendel besteht im wesentlichen aus einer ca. 1,5m langen Stahlstange mit zwei Schneiden P und P' an beiden Enden, die es den Pendel ermöglichen auf eine Halterung H eingehängt zu werden und an dieser nach einer beliebigen Auslenkung um einen Winkel φ frei zu schwingen. Entlang dieser Stahlstange sind außerdem zwei Gewichte M_2 und M_1 angelegt, von denen das erste fest und das zweite frei beweglich ist. Nun soll die exakte Länge zwischen beiden Schneiden des Pendels experimentell ermittelt werden, um später daraus zusammen mit dem anderen Messwerten die Fallbeschleunigung bestimmen zu können.

3 AUFGABE 2) MESSUNG DER PERIODENDAUER DES PENDELS ALS
FUNKTION DER STELLUNG DER BEWEGLICHEN MASSE

	Messungsnummer	Pendellänge in m
1	1	0,97673
2	2	0,97679
3	3	0,97667
4	4	0,97643
5	5	0,9764
6	M	0,976604

Abbildung 2: Messtabelle für die Pendellänge

Aus den obigen Messwerten ergibt sich für die Pendellänge der Mittelwert

$$I_r = 0,976604m \pm 1,0114 \cdot 10^{-4}m$$

wobei sich die Unsicherheit $u_{I_r} = 1,0114 \cdot 10^{-4}m$ aus der pythagoräischen Summe $u_{I_r} = \sqrt{u_{mga}^2 + u_{mg}^2 + s_v^2}$ der Unsicherheiten von der Messgabel u_{mga} , dem Messgerät u_{mg} und dem Vertrauensbereich s_v ergibt mit

$$u_{mga} = 3 \cdot 10^{-5}m \quad ; \quad u_{mg} = 6,88 \cdot 10^{-5}m \quad ; \quad s_v = 6,78 \cdot 10^{-5}m$$

3 Aufgabe 2) Messung der Periodendauer des Pendels als Funktion der Stellung der beweglichen Masse

Durch das Anlegen des Pendels am bereitgestellten Aufhänger H können nun die unterschiedlichen Periodendauern für die Pendelbewegungen der Schneiden mithilfe eines elektronischen Messegeräts gemessen werden. Durch das Verschieben der beweglichen Masse und die darauffolgende Ermittlung der neuen Periodendauern T entstehen dann zwei Funktionen für die Periodendauern beider Pendelbewegungen in Abhängigkeit von dem Abstand der beweglichen Masse zur Schneide. Die Pendelbewegung wird hierbei stets unter einem Auslenkungswinkel φ von ca. $\varphi = 2,327^\circ$ angeregt und die Periodendauer für $n=10$ vollzogene Perioden elektronisch gemessen.

3 AUFGABE 2) MESSUNG DER PERIODENDAUER DES PENDELS ALS
 FUNKTION DER STELLUNG DER BEWEGLICHEN MASSE

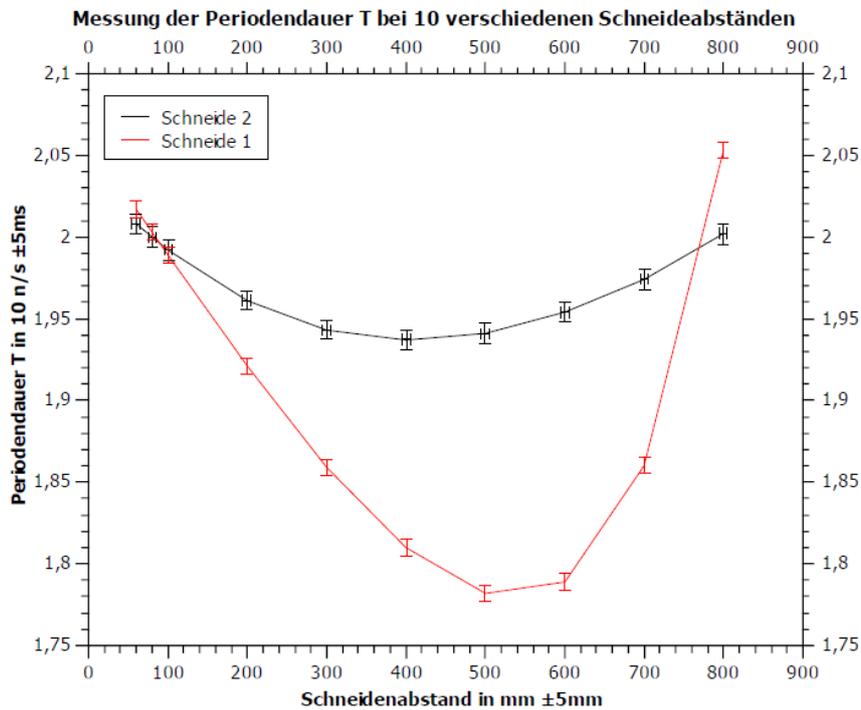


Abbildung 3: Messwerte der Periodendauer

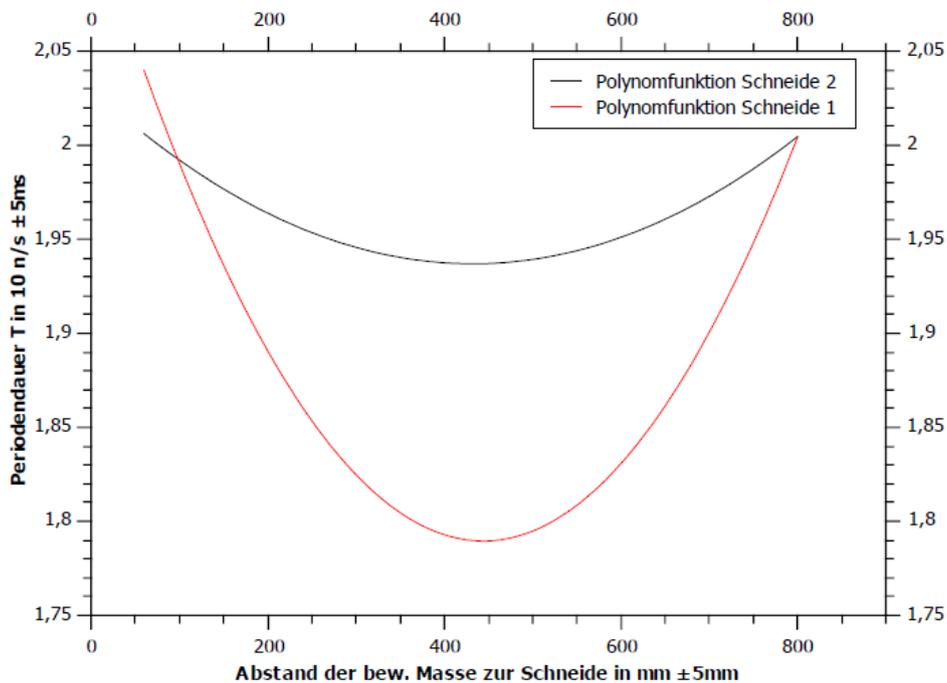


Abbildung 4: Annähernde Polynomfunktionen

Durch Auswertung der obigen Figuren kann man erkennen, dass der kleinste Abstand zwischen der beweglichen Masse M1 und die Schneide P', bei dem die Periodendauern der zwei Pendelbewegungen miteinander übereinstimmen, im Bereich von [80mm,100mm]

4 AUFGABE 3) PRÄZISIONSBESTIMMUNG DER PERIODENDAUER FÜR
BEIDE PENDELBEWEGUNGEN AM SCHNITTPUNKT $x_s \approx 90\text{MM}$ DER
REVERSION

liegen sollte. Der Schnittpunkt kann somit nun näherungsweise mithilfe der Messwerte für die unmittelbar nächstliegenden Punkte bestimmt werden.

$$t_s = \frac{t_{1,1}t_{2,2} - t_{1,2}t_{2,1}}{t_{1,1} + t_{2,2} - t_{1,2} - t_{2,1}} \quad x_s = \frac{(t_{2,2} - t_{2,1})x_1 + (t_{1,1} - t_{1,2})x_2}{t_{1,1} + t_{2,2} - t_{1,2} - t_{2,1}}$$

Durch Einsetzen der Messwerte

$$t_{1,1} = 1,989s \quad t_{1,2} = 1,992s \quad t_{2,1} = 2,003s \quad t_{2,2} = 2s \quad x_1 = 100\text{mm} \quad x_2 = 80\text{mm}$$

auf diese Formeln erhält man für den Abstand der beweglichen Masse zur Schneide $x_s \approx 90\text{mm}$. Dieser ist der Schnittpunkt der Reversion. Die Periodendauer beider Pendelbewegungen für $n = 10$ Perioden beträgt dann hier in etwa $t_s \approx 1,96s$.

4 Aufgabe 3) Präzisionsbestimmung der Periodendauer für beide Pendelbewegungen am Schnittpunkt $x_s \approx 90\text{mm}$ der Reversion

Im Anschluss auf das Ergebnis von Aufgabe 2 muss nun die Präzision der vorhin ungefähr angegebenen Periodendauer $t_s \approx 1,96s$ für $n = 10$ Perioden am Schnittpunkt der Reversion experimentell gemessen werden. Hierfür werden mit dem Schneideabstand von $x_s \approx 90\text{mm}$ und den gleichen Auslenkungswinkel von $\varphi = 2,327^\circ$ nochmals 10 Versuche an beiden Schneiden durchgeführt

	Versuchsnummer	Periodendauer T in s an Schneide 2	Periodendauer T in s an Schneide 1
1	1	19,958	19,961
2	2	19,957	19,961
3	3	19,959	19,966
4	4	19,958	19,965
5	5	19,958	19,962
6	6	19,958	19,964
7	7	19,958	19,964
8	8	19,951	19,963
9	9	19,958	19,964
10	10	19,957	19,965

Abbildung 5: Messwerttabelle für die Präzision der Periodendauer an beiden Schneiden

Aus der Tabelle kann man entnehmen, dass die Messwerte für die zweite Schneide deutlich weniger Streuen, als die bei der ersten. Durch Anwendung der Formeln

$$T_M = \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_n}{n} \quad \text{und} \quad u_t = \sqrt{s^2 + u_m^2} \quad \text{mit} \quad u_m = 0,001s \leftarrow \text{Unsicherheit der Messuhr}$$

ergeben sich dann für beide Schneiden die mittlere Periodendauern T_{M_a} für $n = 10$ Perioden und die dazugehörigen Zeitunsicherheiten u_t

$$T_{S_1} = 19,957 \pm 0,002s$$

$$T_{S_2} = 19,963 \pm 0,002s$$

Die Mittelwerte für die Periodendauer der ersten und zweiten Schneide ergeben hierbei eine Differenz von ca. $\Delta T_M = 6 \pm 2\text{ms}$ für $n=10$ Perioden, was an dieser Stelle auf eine

relativ hohe Übereinstimmung beider Periodendauern für den angegebenen Schnittpunkt der Reversion hindeutet.

5 Aufgabe 4) Messung der Amplitudenabhängigkeit der Periodendauer

Es soll nun eine Messung der Amplitudenabhängigkeit der Periodendauer durchgeführt werden, um hiermit auch die in der Aufgabenstellung angegebenen Gleichung

$$T(\varphi_0) = T(1 + (\frac{1}{2})^2 \sin^2 \frac{\varphi_0}{2} + (\frac{1,3}{2,4})^2 \sin^4 \frac{\varphi_0}{2} \dots$$

auf dessen Gültigkeit zu überprüfen. Nach dieser Gleichung wäre ein in etwa Polynom-ähnlicher Anstieg der Periodendauer bei kleinen Auslenkungswinkel von φ zu erwarten. Die Amplitude kann hierbei durch das Verändern des Auslenkungswinkels beliebig eingestellt werden und soll auf insgesamt 6 unterschiedliche Periodendauern $T(\varphi)$ geprüft werden.

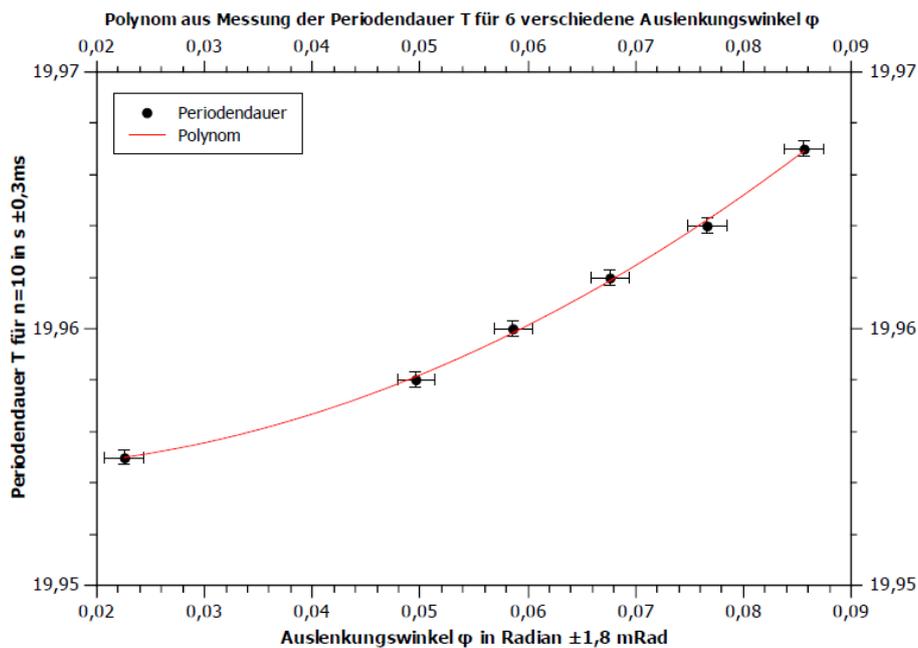


Abbildung 6: Messwerte und annäherndes Polynom für die Amplitudenabhängigkeit

Das in obiger Tabelle aus den Messwerten numerisch hergeleitete Polynom beschreibt eine Funktionskurve, die sehr stark der in der Gleichung vorgesehenen Sinuskurve ähnelt. Die für die Auslenkungswinkel angegebene Unsicherheit von $1,8 \cdot 10^{-3}$ Radian ergibt sich aus der Messunsicherheit von ± 2 mm des Ablenkungsabstandes.

6 Aufgabe 5) Berechnung der Erdbeschleunigung

Bei Beschränkung auf sehr kleine Winkel von φ , bei denen $\sin\varphi \approx \varphi$ gilt, kann die Erdbeschleunigung näherungsweise durch die in Aufgabe 3 ermittelten Werte für die Periodendauer von $n=1$ Perioden $T_{SM} = 0,196s$ ausgerechnet werden. Die zu diesem Zweck angegebene Formel lautet

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I_r}{g_c}} \Leftrightarrow g_c = \frac{4\pi^2 I_r}{T^2}$$

Es folgt somit für den Auslenkungswinkel $\varphi = 2,327^\circ$ und die Pendellänge $I_r = 0,976604m$

$$g_c \approx 9,6793 \frac{m}{s^2}$$

Es sollte an dieser Stelle erläutert werden, dass der hier ermittelte Wert für die Erdbeschleunigung mit einer besonders großen Unsicherheit versehen ist und tatsächlich auch stark vom Sollwert mit $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$ abweicht. Zwischen den mehreren Gründen hierfür sind unter anderem wahrscheinlich die Unsicherheit bei der Kalibrierung des Pendels, die Vernachlässigung der Luftreibung bei der Pendelbewegung, die Unsicherheit bei der Messung des Auslenkungswinkels sowie alle vorhin angegebenen Messabweichungen für T_{SM} und I_r .

7 Literaturverzeichnis

- [1] Dr. Uwe Müller: *Physikalisches Grundpraktikum: Mechanik und Thermodynamik*, 2012
- [2] Dr. Uwe Müller: *Physikalisches Grundpraktikum: Einführung in die Messung, Auswertung und Darstellung experimenteller Ergebnisse in der Physik*, 2007
- [3] Dr. Peter Schaefer: *Physikalisches Grundpraktikum, M9-Reversionspendel*, 2018