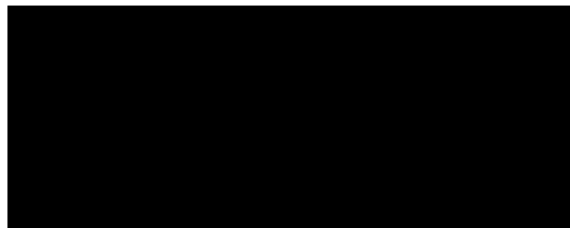


Physiklabor für Anfänger*innen
Sommersemester 2025

Versuch 18: Reversionspendel

Durchgeführt am 17.9.2025



18. September 2025

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel des Versuchs	1
2	Aufbau	1
3	Durchführung	1
3.1	Periodendauern für beide Aufhängungen	1
3.2	Korrektur der Kleinwinkelnäherung	2
3.3	Einfluss der Dämpfung	2
4	Auswertung und Fehleranalyse	2
4.1	Bestimmung der Erdbeschleunigung	2
4.2	Korrektur für große Winkel φ	5
4.3	Einfluss der Dämpfung und Auftriebskraft	7
5	Diskussion	8
5.1	Bestimmung der Erdbeschleunigung	8
5.2	Korrektur für größere Winkel	9
5.3	Weitere mögliche systematische Verschiebung	9
5.4	Verbesserungsvorschläge zu den Messmethoden	10
6	Erklärung zur Autorenschaft	10
7	Laborheftnotizen	II

Abbildungsverzeichnis

1	Skizze des Versuchsaufbaus	1
2	Plot der Periodendauern über x	3
3	Plot der linearen Regression in gewähltem Ausschnitt	4
4	Skizze zur Bestimmung des Winkels φ aus der Auslenkung s	5
5	Auftragung von T über φ^2 mit Ausgleichsgerade	7

1 Ziel des Versuchs

Der Versuch hat die Bestimmung der Erdbeschleunigung g mit einem maximalen Fehler der Größenordnung 10^{-3} zum Ziel. Dafür wird ein Reversionspendel verwendet und auf Einflüsse von Kleinwinkelnäherung, Dämpfung und Auftriebskraft untersucht.

relativen!



2 Aufbau

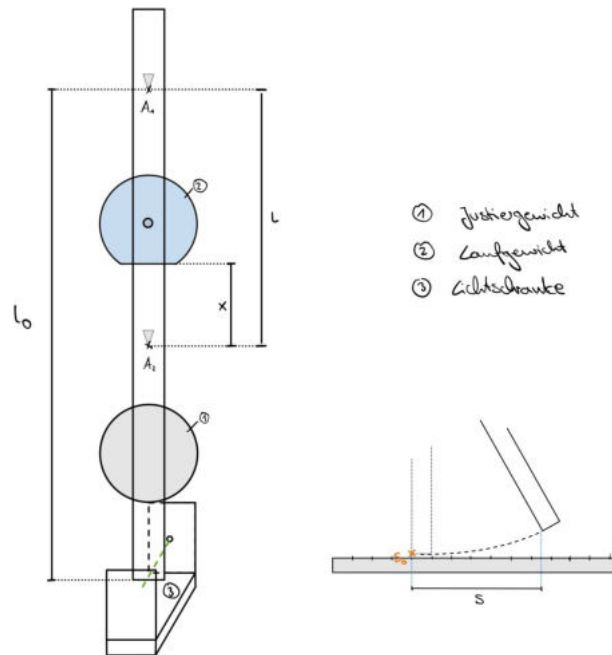


Abbildung 1: Skizze des Versuchsaufbaus

Wie aus Abb. 1 zu erkennen, besteht der Aufbau aus einem Pendel mit zwei Gewichten und zwei Aufhängepunkten. Das Gewicht (1) außerhalb der Aufhängepunkte ist ein Justiergewicht, dessen Position nicht verändert wird. Der Abstand x zwischen dem anderen Gewicht (2) (Laufgewicht) und dem, von beiden Gewichten eingeschlossenen, Aufhängepunkt A_2 wird während des Versuchs variiert. An der Pendelstange ist hierbei eine Längenskala in Zentimeter-Schritten aufgetragen. Die Periodendauer T wird mithilfe einer Lichtschranke am unteren Ende des Pendels gemessen. Rechts unten in der Skizze ist verdeutlicht, wie die Auslenkung s zur Untersuchung größerer Winkel gemessen wurde. ✓

3 Durchführung

3.1 Periodendauern für beide Aufhängungen

Zunächst wird die Messskala zur Einstellung des Laufgewichts mit einem Messschieber überprüft. Danach werden die Strecke l zwischen den Aufhängepunkten A_1 und A_2 und l_0 zwischen A_1 und

dem gegenüberliegenden Ende des Pendels bei s_0 mit einem großen Messschieber gemessen. Nun wird der Abstand x zwischen Laufgewicht und Aufhängepunkt A_1 in 10 cm-Schritten zwischen 15 cm und 85 cm variiert. Für jedes x wird das Pendel jeweils an A_1 und A_2 aufgehängt und um einen kleinen Winkel ausgelenkt. Mit der Lichtschranke wird die Zeit t_{10} für exakt 10 Perioden in jeder Konfiguration gemessen. Die beiden Bereiche von x in denen sich die Periodendauern für beide Aufhängungen stark annähern, werden in cm-Schritte unterteilt und es wird nach gleichem Schema für die feinere Unterteilung gemessen.

Wie groß ist „klein“ ungefähr?

3.2 Korrektur der Kleinwinkelnäherung

Nun bleibt das Pendel durchgängig an A_1 aufgehängt. Die Auslenkung wird über die Kleinwinkelnäherung $\alpha \geq 5^\circ$ erhöht und mit einer wie in Abb. 1 dargestellten Skala ausgemessen. Für Auslenkungen zwischen 15 cm und 51 cm, unterteilt in 2 cm-Schritte wird erneut die Zeit t_{10} für 10 Perioden gemessen. ✓

3.3 Einfluss der Dämpfung

Das Pendel wird um $\hat{s} = 12$ cm ausgelenkt und $\hat{t} = 800$ s lang schwingen lassen, wobei die Abnahme der Amplitude betrachtet wird. ✓

4 Auswertung und Fehleranalyse

4.1 Bestimmung der Erdbeschleunigung

Das Nachmessen der angebrachten Skala ergab eine Genauigkeit von 0,02 mm, was der Ungenauigkeit des Messschiebers, nach Anwenden einer Dreiecksverteilung, entspricht. Allerdings müssen wir zusätzlich noch den Fehler beim Einstellen des Gewichtes berücksichtigen, da wir nicht bei jeder Änderung mit dem Messschieber nachgemessen haben. Diesen schätzen wir mit einer Dreiecksverteilung mit Breite $2a = 2$ mm auf

$$\Delta x = 0,08 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Außerdem schätzen wir die Ungenauigkeit der Messung für den mit dem großen Messschieber gemessenen Abstand l zwischen den Aufhängepunkten ebenfalls mit einer Dreiecksverteilung mit Breite $2a = 2$ mm:

$$\Delta l = \frac{1 \text{ mm}}{\sqrt{6}} = 0,41 \text{ mm} \approx 0,0004 \text{ m} \quad \checkmark$$

Für die Periodendauer T_{10} ist unser Fehler in diesem Versuch lediglich durch die ungenaue Anzeige der Messvorrichtung gegeben. Dies kommt daher, dass die Verzögerung, die durch die Distanz, die das Licht zurücklegen muss, entsteht, viele Größenordnungen zu klein ist, als dass sie für uns von Relevanz wäre. Daher ergibt sich der Fehler für unsere Zeitmessung:

$$\Delta T_{10} = \frac{0,01 \text{ s}}{\sqrt{3}} = 0,006 \text{ s} \quad \checkmark$$

Dadurch ergibt sich der Fehler unserer Einzelmessung zu

$$\Delta T = 0,0006 \text{ s}$$

Ich glaub da fehlt noch ein Faktor 2, da ja die Lichtschranke pro T zweimal zählt, sich die geschätzte Unsicherheit also auf $2 \cdot T \cdot 10$ bezieht...

Aus unserer ersten Messreihe zur genaueren Bestimmung der Bereiche, in denen beide Periodendauern übereinstimmen, konnten wir diese auf $5 \text{ cm} \leq x \leq 15 \text{ cm}$ und $75 \text{ cm} \leq x \leq 85 \text{ cm}$ einschränken (siehe Abschnitt 7).

Daraufhin führten wir Messungen mit kleinerer Variation von x in den gegebenen Bereichen durch.

In Abb. 2 sind alle Werte eingezeichnet.

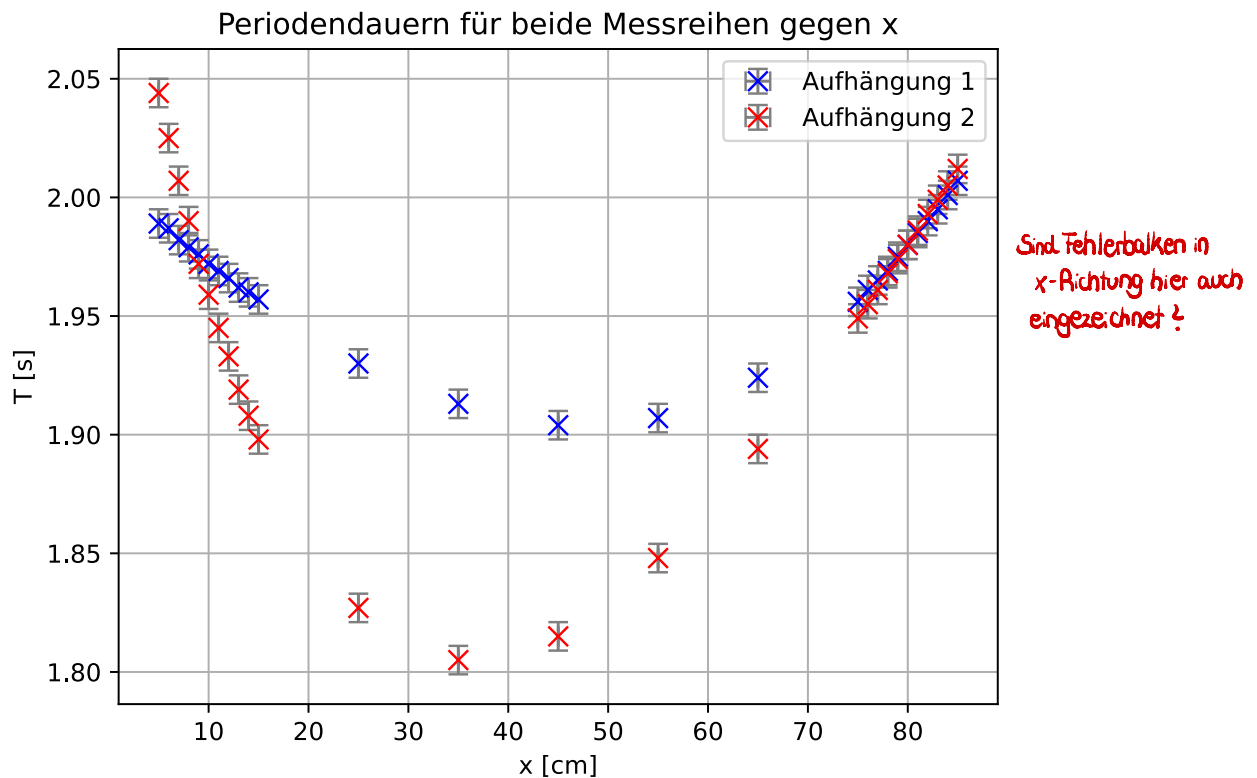


Abbildung 2: Plot der Periodendauern über x

Hier lässt sich außerdem erkennen, dass sich die Werte in den Bereichen um die Schnittpunkte gut durch Ausgleichsgeraden nähern lassen. ✓

Könntet ihr auch anhand der Steigungsdifferenzen eurer Messwerte begründen

Aus praktischen und aufwandstechnischen Gründen entschieden wir uns, nur die Werte für $5 \text{ cm} \leq x \leq 15 \text{ cm}$ zu betrachten. Hierfür zeichnen wir Ausgleichsgeraden mithilfe von Python (Abb. 3) und erhielten folgende Parameter:

$$\begin{aligned} a_1 &= (2,0055 \pm 0,0008) \text{ s} & b_1 &= (-0,0033 \pm 0,0001) \frac{\text{s}}{\text{cm}} \\ a_2 &= (2,1034 \pm 0,0048) \text{ s} & b_2 &= (-0,0141 \pm 0,0004) \frac{\text{s}}{\text{cm}} \end{aligned}$$

Damit ermittelten wir den Schnittpunkt, damit unseren Bestwert für T^* und anschließend mittels

- Wie gut beschreibt das lineare Modell eure Daten?
- kommentiert das bitte irgendwie (z.B. anhand eines Residuenplots)

der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung die Unsicherheiten.

$$x^* = \frac{a_1 - a_2}{b_2 - b_1}$$

$$\Rightarrow T^* = a_1 + b_1 \cdot x^* = 1,976 \text{ s}$$

$$\Delta x^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta a_2}{b_2 - b_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a_1}{b_2 - b_1}\right)^2 + \left(\frac{(a_1 - a_2)}{(b_2 - b_1)^2} \cdot \Delta b_2\right)^2 + \left(\frac{(a_1 - a_2)}{(b_2 - b_1)^2} \cdot \Delta b_1\right)^2} = 0,5681 \text{ cm}$$

$$\Delta T^* = \sqrt{(\Delta a_1)^2 + (b_1 \cdot \Delta x^*)^2 + (x^* \cdot \Delta b_1)^2} = 0,0042 \text{ s}$$

Für die Lineare Regression verwenden wir die im Material [2] angegebenen Formeln. Hiermit können wir die Parameterbestwerte und deren Unsicherheiten bestimmen. Außerdem wurde damit das 1- σ Konfidenzband erstellt.

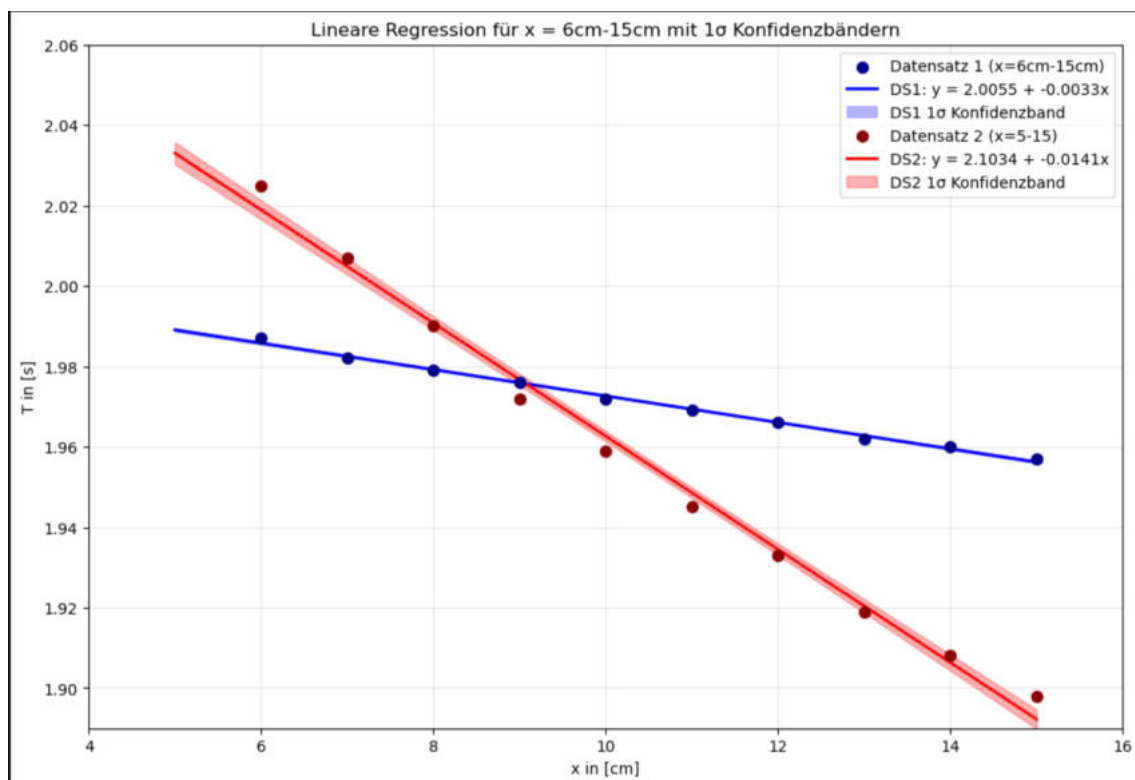


Abbildung 3: Plot der linearen Regression in gewähltem Ausschnitt

Aus dem Zusammenhang

$$T^* = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} \Rightarrow g = \frac{4\pi^2 \cdot l}{T^{*2}} \quad \checkmark \quad (1)$$

(ausführliche Herleitung in [3]) errechnen wir nun die Erdbeschleunigung g und deren Fehler mittels Gauß:

$$g = 9,8075 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{4\pi^2}{T^{*2}} \cdot \Delta l\right)^2 + \left(\frac{-8\pi^2 \cdot l}{T^{*3}} \cdot \Delta T^*\right)^2} = 0,0419 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (2)$$

Vergleich Fehlerbeiträge ⁴ fehlt!

1-2 zählende Stellen rechnen!

Ihr solltet unbedingt lernen, sinnvoll zu runden!

4.2 Korrektur für große Winkel φ

Da Gleichung (1) nur für kleine Winkel bzw. kleine Auslenkungen Gültigkeit besitzt, muss für größere Auslenkungen eine Korrektur der Formel vorgenommen werden. Damit ergibt sich laut [3] für die gemessene Periode t mit der "wahren" Periodendauer T : **bzw $T(\varphi=0)$**

$$t = T \cdot \left(1 + \frac{1}{16} \cdot \varphi^2 \right) \quad \checkmark \quad (3)$$

Hierbei beschreibt $\varphi \geq 5^\circ$ den Auslenkwinkel außerhalb des Bereiches, für den die Kleinwinkelnäherung gilt. Der Winkel φ wird wie in Abb. 4 aus den gemessenen Strecken s und l_0 errechnet.

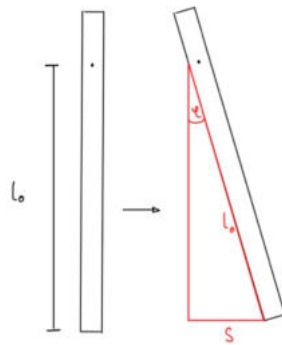


Abbildung 4: Skizze zur Bestimmung des Winkels φ aus der Auslenkung s

$$\varphi = \arcsin \frac{s}{l_0} \quad (4)$$

$$\Delta\varphi = \sqrt{\left(\frac{\frac{\Delta s}{\sqrt{1 - \left(\frac{s}{l_0}\right)^2} l_0}}{\sqrt{1 - \left(\frac{s}{l_0}\right)^2} l_0} \right)^2 + \left(\frac{-s \Delta l_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{s}{l_0}\right)^2} l_0^2} \right)^2} \quad (5)$$

$$\Delta\varphi^2 = 2 \cdot \varphi \cdot \Delta\varphi \quad (6)$$

Um diese Fehler auszurechnen, verwenden wir folgende Unsicherheiten:

$$\Delta s = \frac{1}{\sqrt{6}} \text{cm} = 0,41 \text{cm}$$

$$\Delta l_0 = \frac{0,1}{\sqrt{6}} \text{cm} = 0,041 \text{cm}$$

**Wie kommen die Zustand?
Sind das Ableseunsicherheiten
an Lineal/Messschieber?**

Dadurch kommen wir auf folgende Werte:

s [cm]	φ [rad]	φ^2 [rad ²]	$\Delta\varphi^2$ [rad ²]
15	0,113	0,013	0,0007
17	0,129	0,017	0,0008
19	0,144	0,021	0,0009
21	0,159	0,025	0,0010
23	0,174	0,030	0,0010
25	0,190	0,036	0,0011
27	0,205	0,042	0,0012
29	0,221	0,049	0,0013
31	0,236	0,056	0,0014
33	0,252	0,063	0,0015
35	0,267	0,071	0,0016
37	0,283	0,080	0,0017
39	0,299	0,089	0,0018
41	0,315	0,099	0,0019
43	0,331	0,109	0,0020
45	0,347	0,120	0,0021
47	0,363	0,131	0,0022
49	0,379	0,143	0,0023
51	0,395	0,156	0,0024

Tabelle 1: Werte für die Auslenkungswinkel

Die im Versuch ermittelten Periodendauern t werden in ein Diagramm über φ^2 aufgetragen. Aus den Werten wird ein klarer linearer Zusammenhang zwischen der Periodendauer t und dem quadrierten Auslenkwinkel φ^2 deutlich. Um diese zu beschreiben, nutzen wir die Standard lineare Gleichung:

$$y = a + b \cdot \varphi^2$$

Die Parameter bestimmen wir über die in [2] erklärten numerischen Methoden. Wie im Plot zu sehen, erhalten wir:

Die Gleichungen für die Parameterbestwerte ergeben sich analytisch, nicht numerisch!

$$\hat{a} = 1,9759$$

$$\hat{b} = 0,1182$$

Für die Parameterunsicherheiten ermitteln wir:

$$\Delta a = 0.0003$$

$$\Delta b = 0.0035$$

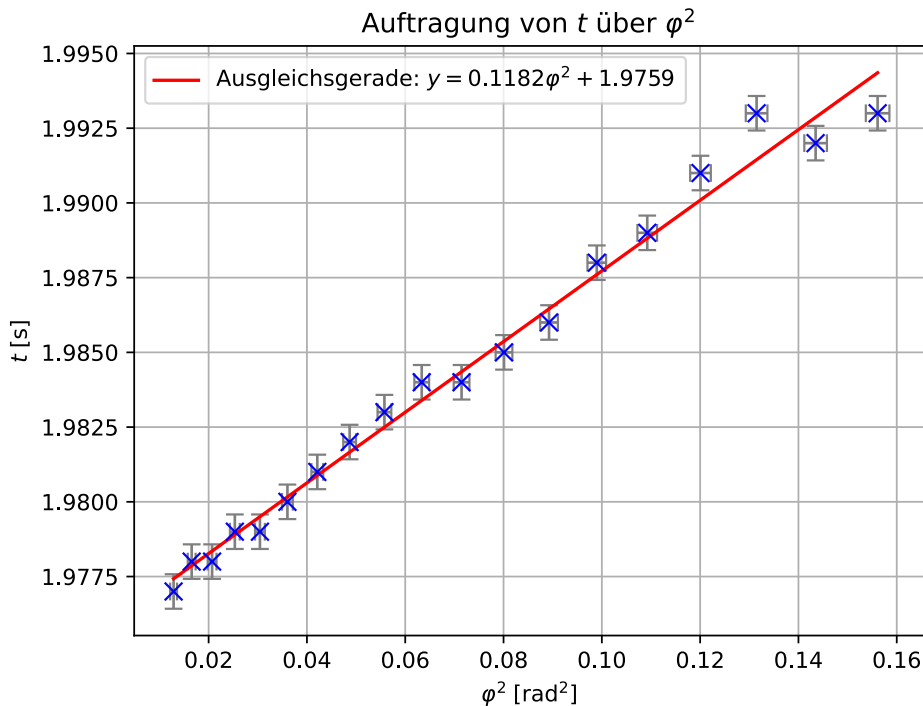


Abbildung 5: Auftragung von T über φ^2 mit Ausgleichsgerade

Es ergibt sich also:

$$y = (0,1182 \pm 0,0035)\varphi^2 + (1,9759 \pm 0,0003) \quad (7)$$

Um nun unsere "wahre" Periodendauer T zu bestimmen, verwenden wir die in [3] mittels Taylor hergeleitete Gleichung (3). Multipliziert man diese aus, erhält man:

$$t = \frac{T_{\text{Steigung}}}{16} \varphi^2 + T_{\text{Achse}}$$

Vergleicht man also Gleichung (7) mit Gleichung (8), erhält man:

$$\begin{aligned} T_{\text{Achse}} &= (1,9759 \pm 0,0003) \text{ s} \\ \frac{T_{\text{Steigung}}}{16} &= (0,1182 \pm 0,0035) \text{ s} \\ \Rightarrow T_{\text{Steigung}} &= (1,8912 \pm 0,056) \text{ s} \end{aligned}$$

Gleichung (3): $t = T_0 \left(1 + \frac{\varphi^2}{16}\right)$
 $= T_0 + T_0 \frac{\varphi^2}{16}$
 $\Rightarrow T_0$ ist der y-Achsenabschnitt
 eurer Regression,
 nichts anderes

$$\Rightarrow \text{Korrekturfaktor } f_\varphi = \frac{T_0}{T(\varphi_{\text{typ}})}$$

$$\Rightarrow T_{\text{kor}} = f_\varphi \cdot T^*$$

T bei Winkel den ihr
 typischerweise verwendet
 habt

Für die beiden so bestimmten Periodendauern errechnen wir mit Gleichung (1) erneut die Fallbeschleunigungen $\hat{g}$ und mit Gleichung (2) die Standardunsicherheit Δg . Damit ist:

$$\begin{aligned} T_{\text{Achse}} &\Rightarrow g = (9,8085 \pm 0,0050) \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ T_{\text{Steigung}} &\Rightarrow g = (10,7067 \pm 0,6341) \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

4.3 Einfluss der Dämpfung und Auftriebskraft

Unsere Messung der Halbwertszeit $T_{1/2}$ konnte aus Zeitgründen nicht ganz zu Ende geführt werden. Allerdings betrug unser Messumfang ca. 800 Sekunden, was für eine Einordnung reichen sollte. Nach

besagten 800 Sekunden betrug die Amplitude immer noch ca. 10 cm von anfänglichen 12 cm. Daher rechnen wir im Folgenden mit einer Halbwertszeit von 800 s, da wir eine nicht relevante Größenordnung vermuten und so eine Abschätzung tätigen können. ✓

Wir bestimmen unseren Dämpfungsparameter γ zu

$$\frac{1}{2} \cdot A = A \cdot e^{-\frac{T_{1/2}}{\gamma}} \quad (9)$$

$$\Rightarrow \gamma = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = 0,0009 \text{ s}^{-1} \quad \checkmark \quad (10)$$

Die theoretischen und gemessenen(gedämpften) Periodendauern stehen wie folgt in Zusammenhang:

$$\begin{aligned} \omega^2 - \gamma^2 &= \omega^{*2}, \\ \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 &= \left(\frac{2\pi}{T^*}\right)^2 + \gamma^2, \\ \Rightarrow T &= \frac{2\pi}{\sqrt{\left(\frac{2\pi}{T^*}\right)^2 + \gamma^2}}. \end{aligned}$$

Verwendet man nun unseren Messwert für $T^* = 1,976 \text{ s}$ und unser γ , so stellt sich heraus, dass der Unterschied in den Periodendauern $\approx 10^{-7} \text{ s}$ beträgt. ✓

Unser Fehler für die Messung der Periodendauer beträgt $\Delta T = 6 \cdot 10^{-4} \text{ s}$, liegt also 3 Größenordnungen über der gemessenen Dämpfung. Somit kann und muss eine Dämpfung nicht vernünftig einberechnet werden, da der Fehler jeglichen Einfluss überdeckt. ✓

Schön!

Die Auftriebskraft ist ebenfalls deutlich zu klein, um relevant die Ergebnisse verfälschen zu können. Der in der Versuchsbeschreibung genannte Faktor $1 - (\rho_L / \rho_P)$ liegt mit 0,9999 deutlich in dem vom Fehler überdeckten Bereich. Als Referenzwert für die Dichte des Pendels wurde jene von Messing angenommen ($8,73 \text{ g/cm}^3$), da uns nur das Material der Messinggewichte bekannt ist.

Joa, der Hauptanteil des Pendels ist Stahl, aber die Argumentation passt soweit

5 Diskussion

Im folgenden Abschnitt werden die jetzt analysierten Daten hinsichtlich ihrer Aussagekraft eingeordnet und mit den Versuchszielen verglichen

5.1 Bestimmung der Erdbeschleunigung

Das Ziel dieses Versuchsteils ist eine sehr genaue Bestimmung der Erdbeschleunigung g gewesen. Hierfür haben wir die Eigenschaften des mathematischen und des physikalischen Pendels vereint. Dies führte uns zu einem Ergebnis von $g = 9,8075 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Der entsprechende Literaturwert beträgt für Freiburg im Breisgau auf einer Höhe von 276 Metern über Normalnull(wir befanden uns beim

Unsicherheit !!!

Habt ihr hier wirklich die WELMEC Formel verwendet?

Versuch im Keller) $g_{Freiburg} = 9,8082 \frac{m}{s^2}$ (siehe [1]) und unterscheidet sich damit um $7 \cdot 10^{-4}$ von unserem Wert. Somit eignet sich unser Wert sehr gut als Näherung für den wahren Wert.

Der z-Wert für diese Abweichung und unseren Fehler von $\Delta g = 0,0419 \frac{m}{s^2}$ beträgt 0,017 und weist damit höchst eindeutig keine Signifikanz auf. Dadurch können wir mit Sicherheit sagen,

dass keine groben Fehler begangen wurden. Andererseits zeigt es auch, dass der Fehler relativ groß ($\frac{\Delta g}{g} = 0,4\%$) ist und es sich bei der Genauigkeit unseres Bestwertes auch um Zufall handeln kann. Ein Wert von $9,84 \frac{m}{s^2}$ hätte beispielsweise ebenfalls keine Signifikanz hervorgerufen. Deshalb

kann unsere Messung, wegen der extremen Genauigkeit des Bestwertes, zwar den Literaturwert bestätigen, diesen allerdings nicht auf die gefragte Genauigkeit von 10^{-3} als Referenzwert ersetzen. Ja, genau

Als Grund hierfür vermuten wir, dass wir beim loslassen des Pendels entweder ganz leicht Schwung gegeben oder es etwas abgebremst haben. Dies erklärt auch, wieso zwar unser Bestwert sehr gut sein kann, unser Fehler gleichzeitig aber nicht besonders klein ist, denn wir haben vermutlich in den verschiedenen Messungen teilweise "abgebremst" und teilweise "angeschubst" haben, sodass es sich über die gesamte Messreihe ausgleicht.

Wie kommt denn euer Fehler auf g zustande? Wie groß sind die verschiedenen Fehlerbeiträge? Dominiert einer von ihnen?

5.2 Korrektur für größere Winkel

Um die Kompatibilität zwischen den Werten $T_{Abschnitt}$ und $T_{Steigung}$ zu prüfen führen wir einen Signifikanztest durch. Hierbei ergibt sich ein z-Wert von $z = 0,15$. Die beiden T Werte sind also kompatibel. Dennoch ist ersterer Wert für g im Vergleich zum Literaturwert $g = 9,8082$ [1] mit einer minimalen Abweichung und einem z-Wert von $z = 0,06$ ein deutlich besseres Messergebnis, als der zweite mit $z = 1,42$, größerer Abweichung und sehr großer Unsicherheit. Um die Ergebnisse besser beurteilen zu können, muss zunächst betrachtet werden, dass die Auslenkwinkel zwar nicht mehr der Kleinwinkelnäherung gerecht waren, aber dennoch mit $0,11 \leq \varphi \leq 0,39$ keine sehr großen Auslenkungen untersucht wurden. Die kleinsten Auslenkungen waren der Kleinwinkelnäherung noch sehr nahe. Extrapoliert man nun die Werte, ist verständlich, dass für verschwindende Auslenkungen $\varphi \rightarrow 0$ die Periodendauer gut als Achsenabschnitt bestimmt werden kann.

Auch wenn die Steigung der Ausgleichsgeraden nicht ganz dem erwarteten Wert entspricht, hat dieser Versuchsteil dennoch das aus der Literatur erwartete Verhalten für größere Auslenkungen bestätigt. Der erste für g bestimmte Wert liegt mit einer relativen Unsicherheit von $5,1 \cdot 10^{-4}$ im Bereich der gewünschten Genauigkeit. Die Berechnung von g über die Steigung hat eine größere relative Unsicherheit von $5,92 \cdot 10^{-2}$. Das kann verschiedene Ursachen, wie das mit zunehmender Auslenkung ungenaue Nähern durch die Taylorentwicklung, haben.

5.3 Weitere mögliche systematische Verschiebung

Nach Betrachtung der Dämpfung kommen wir zu dem Schluss, dass diese im Rahmen unseres Versuchs und der vermuteten Messfehler keinen Einfluss in relevanter Größenordnung auf das Pendel genommen hat und damit nicht berücksichtigt werden muss. Ebenso ist die, auf die Messinggewichte wirkende, Auftriebskraft für die gegebene Versuchsgenauigkeit von keiner Relevanz und ist

Das ist wichtig, da es zeigt, dass ihr die angestrebte Genauigkeit von 10^{-3} knapp nicht erreicht habt

Das ist Quatsch => Folgefehler

kommt halt voll drauf an, was ihr noch als solche akzeptieren wollt

Sa! Warum habt ihr das nicht einfach gemacht?

ebenso nicht zu berücksichtigen. ✓

5.4 Verbesserungsvorschläge zu den Messmethoden

Zwar sind unsere Messergebnisse und errechneten Werte für die Erdbeschleunigung g sehr exakt, dennoch fallen bei dem Versuch Messmethoden auf, die verbessert werden könnten.

Vor allem fällt die ungenaue Winkelbestimmung auf. Unser Versuchsaufbau ermöglichte nur ungenaues bestimmen der Strecke s . Dies beeinträchtigt maßgeblich auch die Winkelbestimmung, und damit auch den Fehler. Um die Winkel genauer zu bestimmen, könnte man ein digitales Winkelmessgerät anlegen. Einfacher wäre das anbringen eines höher eingespannten Lineals, um so s genauer ablesen zu können. *ok*

Auch bei der Zeitbestimmung fallen Fehler an. Da die Lichtschranke nur auf zwei Nachkommastellen genau die Zeit misst, fallen auch hier Fehler an. Zwar sind diese sehr gering, um das Ergebnis aber noch genauer zu machen, wären mehr Nachkommastellen sinnvoll. *ok*

Was sind die wirklich dominanten Fehlerquellen?

6 Erklärung zur Autorenschaft ✓

Alle Autoren haben zu allen Inhalten des Protokolls zu gleichen Teilen beigetragen.

Literatur



- [1] BKG. *Onlineberechnung des Schwerewertes g*. Zugriff am 18. September 2025. URL: <https://gibs.bkg.bund.de/geoid/gscomp.php?p=s>.
- [2] Universität Freiburg. *Datenanalyse Physik AP-1*. Zugriff am 17. September 2025. 2025. URL: https://ilias.uni-freiburg.de/ilias.php?baseClass=ilrepositorygui&cmdNode=10q:p7&cmdClass=ilObjFileGUI&cmd=sendfile&ref_id=3976160.
- [3] Jürgen Sahm Hans Joachim Eichler Heinz-Detlef Kronfeldt. *Das neue Physikalische Grundpraktikum*. 3st. Springer.

7 Laborheftnotizen

17.09.25

Versuch 19 - Reversionspendel

Aufbau:

Messung:

normal:	x [cm]	15	25	35	45	55	65	75	85	5
T_0 [s]		19,57	19,30	19,23	19,04	19,07	19,24	19,56	20,07	19,84
T [s]		1,957	1,930	1,913	1,904	1,907	1,924	1,956	2,007	1,984

revers:	x [cm]	15	25	35	45	55	65	75	85	5
T_0 [s]		19,98	19,27	18,05	18,15	18,48	18,94	19,49	20,12	20,44
T [s]		1,998	1,827	1,805	1,815	1,848	1,894	1,949	2,012	2,044

Schnittpunkte werden ~~zuerst~~ für $5 \leq x \leq 15$ und $75 \leq x \leq 85$ erwartet:

Grobe Messung:

revers:	x [cm]	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T_0 [s]		20,25	20,07	19,90	19,72	19,59	19,45	19,33	19,19	19,08
T [s]		2,025	2,007	1,990	1,972	1,959	1,945	1,933	1,919	1,908

normal:	x [cm]	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T_0 [s]		19,87	19,82	19,79	19,76	19,72	19,69	19,66	19,62	19,60
T [s]		1,987	1,982	1,979	1,976	1,972	1,969	1,966	1,962	1,960

normal:	x [cm]	76	77	78	79	80	81	82	83	84
T_0 [s]		19,61	19,65	19,69	19,75	19,80	19,85	19,90	19,95	20,01
T [s]		1,961	1,965	1,969	1,975	1,980	1,985	1,990	1,995	2,001

revers:	x [cm]	76	77	78	79	80	81	82	83	84
T_0 [s]		19,55	19,61	19,68	19,74	19,80	19,86	19,93	19,99	20,05
T [s]		1,955	1,961	1,968	1,974	1,980	1,986	1,993	1,999	2,005

ΔT_0 Dreiecksverteilung
 $2\sigma = 2\text{mm}$

ΔT_0 rechtecksverteilung
 $2\sigma = 0,01\text{s}$

$l_0 = 132,5\text{cm}$
 $\Delta l_0 : 2\sigma = 1\text{mm}$ Dreiecksverteilung

$l = 97\text{cm}$
 $\Delta l : 2\sigma = 2\text{mm}$ Dreiecksverteilung

Position des Partels: normal mit $\lambda = 9\text{cm}$

Δs deckungsweite mit $2a = 2\text{cm}$

$s[\text{cm}]$	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47
$T[\text{s}]$	19,77	19,78	19,79	19,79	19,79	19,80	19,81	19,82	19,83	19,84	19,84	19,85	19,86	19,88	19,89	19,91	19,92
	49	51															
	19,92	19,93															

Hallweite

$t_{1/2}$	$>> 800\text{s}$
Amplitude A_1	12cm

nach 800s Auslenkung von mind. 10cm

