

Experimentelle Übungen I

Versuchsprotokoll E5

Drehpendel nach Pohl

Hauke Hawighorst, Jörn Sievneck

Gruppe 9

`h.hawighorst@uni-muenster.de`

`j_siev11@uni-muenster.de`

betreut von

Martin Körsgen

22. November 2017

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	1
2. Methoden	1
3. Schwingung eines einzelnen Pendels	2
4. Grundschrwingungen	2
4.1. Gleichsinnige Bewegung	3
4.2. Gegensinnige Bewegung	5
5. Kopplungsgrad	6
6. Doppelpendel	6
7. Schlussfolgerung	7
A. Anhang	7
A.1. Verwendete Gleichungen	7

1. Zusammenfassung

2. Methoden

Betrachtet wurden zwei mithilfe einer Feder gekoppelten Stabpendel. Zunächst wurde die Pendellängen der beiden Pendel so eingestellt dass sie einzeln die gleichen Schwingungsdauern aufwiesen. Betrachtet man die Differentialgleichungen, welche das System der gekoppelten Pendel beschreiben, so besteht die allgemeine Lösung aus der Überlagerung von zwei Eigenschwingungen. Diese sind die gleichsinnige bzw. gegensinnige Eigenschwingung. Bei der gleichsinnigen Eigenschwingung schwingen die beiden Pendel synchron, während bei der gegensinnigen Eigenschwingung die Pendel einen Phasensprung von π aufweisen und folglich spiegelverkehrt laufen. Beide Lösungen zeichnen sich dadurch aus, dass die Feder keine Energie zwischen den Pendeln überträgt. Um diese Lösungen im Experiment beobachten zu können, wurden die Pendel zu ihren Eigenschwingungen angeregt.

Bei der gleichsinnigen Schwingung geschah dies dadurch, dass beide Pendel um den selben Winkel in die selbe Richtung ausgelenkt und zeitgleich losgelassen werden. Bei der gegensinnigen Schwingung geschah dies dadurch, dass beide Pendel um den selben Winkel in verschiedene Richtungen, hier beide zur Mitte, ausgelenkt und zeitgleich losgelassen wurden. Anschließend sollte die Überlagerung der beiden Lösungen, die Schwebung beobachtet werden. hierzu wurde nur eines der beiden Pendel ausgelenkt.

Die beschriebenen Versuche wurden jeweils mit zwei verschieden harten Federn durchgeführt. Die kupferfarbene Feder war augenscheinlich weicher als die Metallfarbene. Der besseren Lesbarkeit werden die Federn im folgenden als Kupfer- bzw. Edelstahlfeder bezeichnet. Des weiteren wurde der Kopplungsgrad statisch und aus den gewonnenen Daten über die relative Frequenzaufspaltung berechnet. Die Schwingungszustände wurden mit denen des Doppelpendels verglichen.

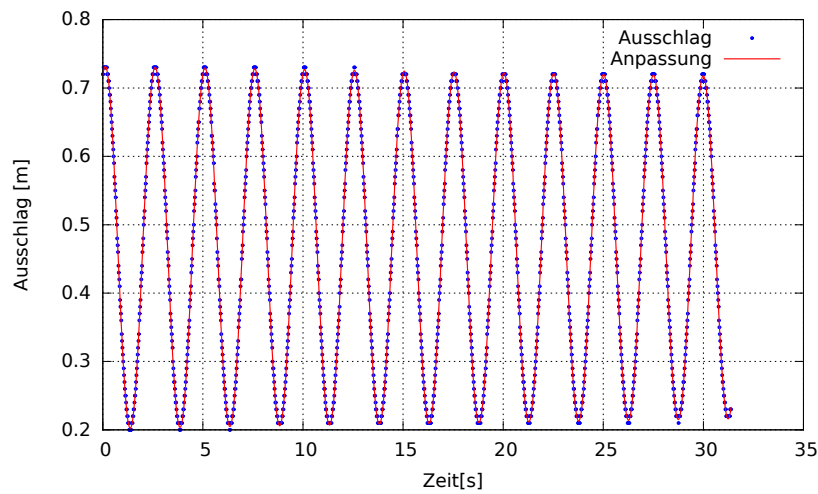


Abbildung 1: einzelnes Pendel....

3. Schwingung eines einzelnen Pendels

$$a = (0,264\,874\,0 \pm 0,000\,224\,3) \text{ m}$$

$$\rho = (0,001\,779\,72 \pm 4,733\,000\,00) \cdot 10^{-5} / \text{s}$$

$$\omega = (2,524\,53 \pm 4,857\,00) \cdot 10^{-5} / \text{s}$$

$$\varphi = 1.25363 \pm 0.0008653$$

$$c = (0,466\,706 \pm 7,910\,000) \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

4. Grundschrwingungen

Die Grundschrwingungen stellen Schwingungszustände dar, in denen das System mit einer Frequenz schwingt. Dies lässt sich darstellen, durch eine Funktion der Art:

$$f(x) = a \cdot e^{-bt} \sin(\omega t + d) + c \quad (4.1)$$

Diese wird nun an die jeweiligen Messungen, mit Hilfe von „Gnuplot“ angepasst. Unsicherheiten entstehen durch das Auflösevermögen (1 cm) des Entfernungsmessers „Motion Sensor“ von „Pasco“ sowie der Zeitmessung. Die Quarzuhr des Computers hat eine Ungenauigkeit der Größenordnung ¹ 10^{-5} und ist somit gegenüber den statistischen Abweichungen der Größenordnung 10^{-4} zu vernachlässigen. Aus dem Auflösevermögen des Entfernungsmessers ergibt sich nach Gleichung A.2 eine Unsicherheit der Amplitude von $\Delta a = 0,003$ m

4.1. Gleichsinnige Bewegung

Kupferfeder

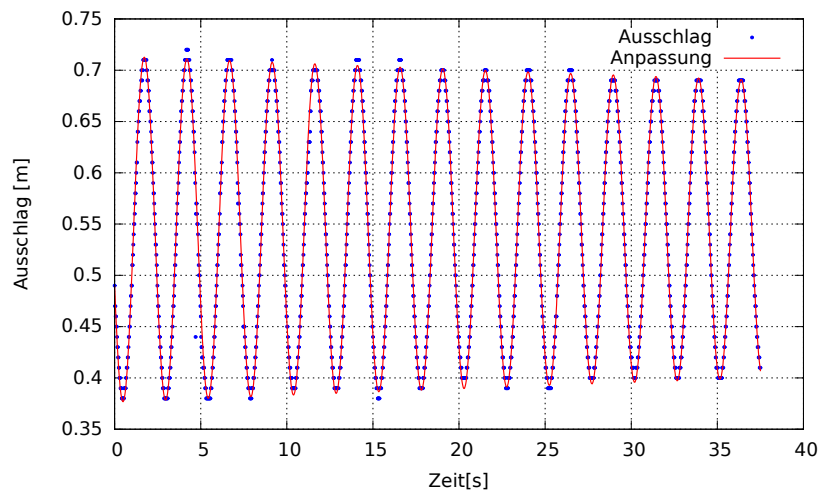


Abbildung 2: Die Abbildung zeigt die Auslenkung des rechten Pendels, bei Koppelung durch eine Kupferfeder, in der Horizontalen. Beide Pendel wurden zu Beginn so ausgelenkt, dass sie gleichsinnig, also in Phase, Schwingen.

¹entnommen aus: <https://de.wikipedia.org/wiki/Quarzuhr>

$$\begin{aligned}
 a &= (-0,168\,666 \pm 0,000\,427) \text{ m} \\
 \rho &= (0,004\,014\,6 \pm 0,000\,122\,1) \text{ }^1/\text{s} \\
 \omega &= (2,537\,820\,0 \pm 0,000\,122\,4) \text{ }^1/\text{s} \\
 \varphi &= 0.338584 \pm 0.002559 \\
 c &= 0.545177 \pm 0.0001464
 \end{aligned}$$

Es ist zu erkennen, dass die Messpunkte nahezu vollständig in zu der Anpassung passen. Bis auf einen Punkt sind alle Ausreißer um weniger als eine Anzeigeschritt von der Kurve entfernt. Bei dem Punkt um $t = 5 \text{ s}$ ist von einem Datenverarbeitungsfehler seitens des Programms auszugehen, diese nahmen mit steigender Frequenz zu, kamen jedoch auch schon bei 50 Hz vor. Wir erhalten nach Gleichung A.1 eine Periodendauer von $T_{gl} = (2,475\,82 \pm 0,000\,12) \text{ s}$

Edelstahlfeder

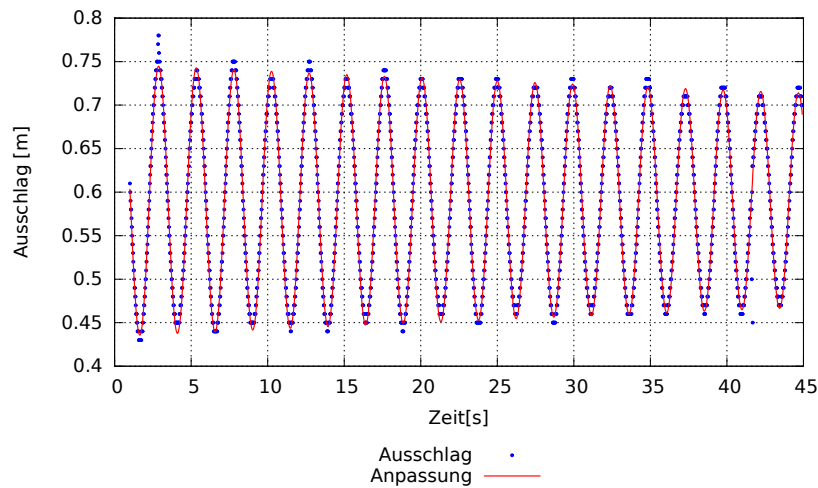


Abbildung 3: Die Abbildung zeigt die Auslenkung des rechten Pendels, bei Koppelung durch eine Edelstahlfeder, in der Horizontalen. Beide Pendel wurden zu Beginn so ausgelenkt, dass sie gleichsinnig, also in Phase, Schwingen.

$$a = (-0,126\,32 \pm 0,002\,10) \text{ m}$$

$$\rho = (-0,001\,771\,49 \pm 0,000\,627\,30) \text{ /s}$$

$$\omega = (2,557\,530\,0 \pm 0,000\,642\,3) \text{ /s}$$

$$\varphi = 3.59422 \pm 0.01692$$

$$c = (0,586\,199\,0 \pm 0,000\,764\,4) \text{ m}$$

4.2. Gegensinnige Bewegung

Kupferfeder

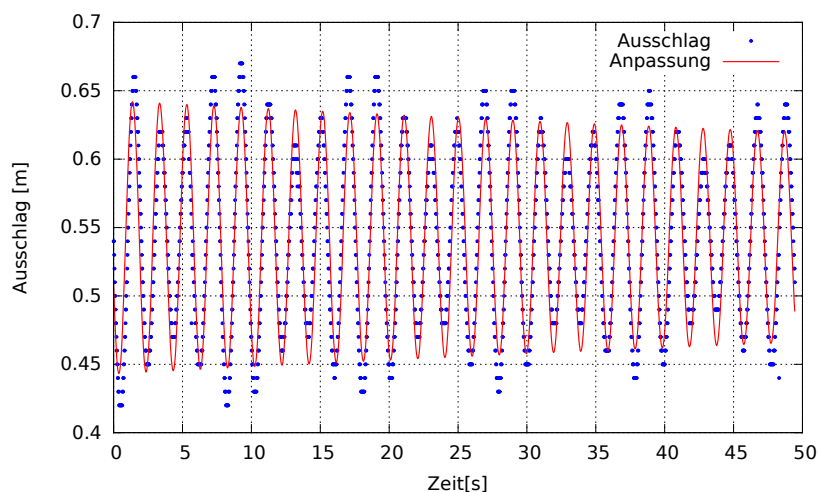


Abbildung 4: Die Abbildung zeigt die Auslenkung des rechten Pendels, bei Koppelung durch eine Kupferfeder, in der Horizontalen. Beide Pendel wurden zu Beginn so ausgelenkt, dass sie gegensinnig Schwingen.

$$a = (-0,099\,761\,4 \pm 0,001\,289\,0) \text{ m}$$

$$\rho = (0,005\,286\,63 \pm 0,000\,487\,70) \text{ /s}$$

$$\omega = (3,185\,700\,0 \pm 0,000\,486\,7) \text{ /s}$$

$$\varphi = 0.355226 \pm 0.013$$

$$c = (0,542\,896 \pm 0,000\,429) \text{ m}$$

Edelstahlfeder

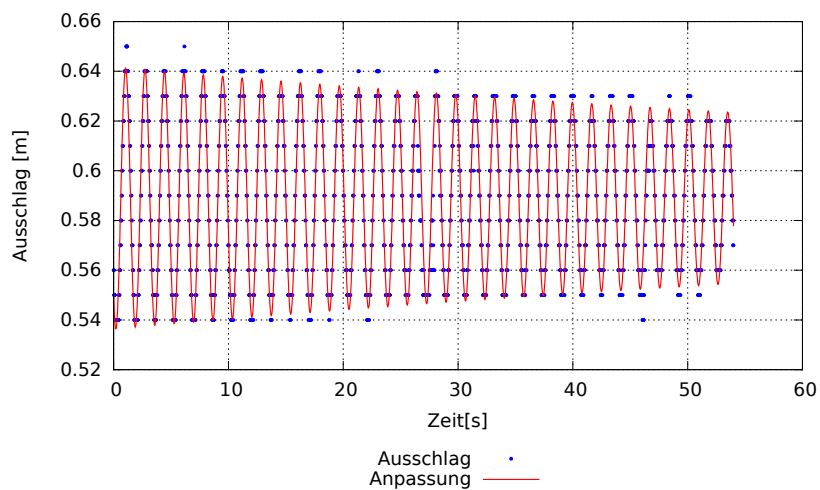


Abbildung 5: Die Abbildung zeigt die Auslenkung des rechten Pendels, bei Koppelung durch eine Edelstahlfeder, in der Horizontalen. Beide Pendel wurden zu Beginn so ausgelenkt, dass sie gegensinnig Schwingen.

$$a = (-0,052\,735\,6 \pm 0,000\,390\,0) \text{ m}$$

$$\rho = (0,007\,901\,9 \pm 0,000\,268\,1) / \text{s}$$

$$\omega = (3,714\,090\,0 \pm 0,000\,269\,2) / \text{s}$$

$$\varphi = 0.829914 \pm 0.007483$$

$$c = (0,589\,040\,0 \pm 0,000\,125\,2) \text{ m}$$

5. Kopplungsgrad

Statisch

Dynamisch

6. Doppelpendel

Beobachten Verhalten Doppelpendel gegenüber gekoppeltem Pendel

7. Schlussfolgerung

A. Anhang

A.1. Verwendete Gleichungen

Zusammenhang zwischen Kreisfrequenz ω und Schwingungsdauer T :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \pm \frac{2\pi}{\omega^2} \cdot \Delta\omega \quad (\text{A.1})$$

Standardunsicherheit der Rechteckverteilung u für die Intervallbreite a :

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