

VERSUCHSBERICHT ZU

M1 - DREHPENDEL NACH POHL

Gruppe 6Mi

Alexander Neuwirth (E-Mail: a_neuw01@wwu.de)
Leonhard Segger (E-Mail: l_segg03@uni-muenster.de)

durchgeführt am 21.11.2017
betreut von
Torsten Stiehm

26. November 2017

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	3
2	Methoden	3
2.1	Drehpendel ohne Dämpfung	3
2.2	Drehpendel mit Dämpfung	3
2.3	Drehpendel mit Exzenter und Dämpfung	3
2.4	Qualitative Beobachtungen und Vergleich zum Fadenpendel	4
2.5	Einführung einer Nichtlinearität	4
3	Ergebnisse und Diskussion	4
3.1	Drehpendel ohne Dämpfung	4
3.2	Drehpendel mit Dämpfung	5
4	Schlussfolgerung	5

1 Kurzfassung

Das Drehpendel nach Pohl ist ein Beispiel für schwingfähige Systeme.

2 Methoden

2.1 Drehpendel ohne Dämpfung

Zunächst haben wir, um die Eigenfrequenz des Drehpendels (annähernd) ohne Dämpfung zu bestimmen, erst mithilfe einer Stoppuhr die Periodendauer bestimmt. Um den Fehler, der durch die menschliche Reaktionszeit entsteht, zu minimieren, haben wir die Zeit, die das Drehpendel für 20 Schwingungen benötigt, gemessen, um dann über diese zu mitteln. Als Anfangs- und Endpunkt der Messung haben wir die Ruhelage der Scheibe gewählt, da sie sich an dieser Stelle mit näherungsweise konstanter Geschwindigkeit bewegt und man somit den Reaktionsfehler leichter ausgleichen kann. Alternativ hätte man den linken oder rechten Wendepunkt der Bewegung wählen können. An dieser Stelle bewegt sich das Pendel allerdings langsam und der Zeitraum, in dem das Pendel stillsteht, ist groß, weshalb das Ende der Bewegung schwer exakt zu erkennen ist. Dann haben wir dieselbe Messung erneut durchgeführt, diesmal allerdings als Messkurve mit dem Computer aufgezeichnet, wozu das Schwingrad über einen Faden mit einem Messrad, dessen Drehung digital erfasst werden konnte, verbunden wurde.

2.2 Drehpendel mit Dämpfung

Im Anschluss daran fügten wir eine Dämpfung in Form einer Wirbelstrombremse hinzu. Von dem sich ergebenden Schwingungsvorgang haben wir drei Messkurven mit jeweils unterschiedlichen Dämpfungen, also unterschiedlichem Stromfluss durch die Spulen der Wirbelstrombremse, aufgenommen. Hieraus konnten wir die jeweils die Eigenfrequenz und die Dämpfung aus der Abnahme der Amplitude bestimmen.

2.3 Drehpendel mit Exzenter und Dämpfung

Nun haben wir das Drehpendel mit einem Exzenter (in Form eines Motors, der die Spiralfeder ansteuert) und der Wirbelstrombremse betrieben. Hierbei haben wir darauf geachtet die Messung erst zu starten, nachdem das Pendel die Einschwingphase überwunden hatte, also sich Frequenz und Amplitude nicht mehr merklich änderten. Zunächst nahmen wir eine Kalibrierkurve auf, um den Zusammenhang zwischen der Frequenz der Anregung ω und der Spannung am Tacho-Ausgang des Motors zu quantifizieren. Anschließend haben wir für drei verschiedene Dämpfungen je 20 Messungen mit unterschiedlicher Anregungsfrequenz ω durchgeführt. Gemessen wurde jeweils für ca. 20 s.

2.4 Qualitative Beobachtungen und Vergleich zum Fadenpendel

Wir haben bei kleiner Dämpfung den Phasenunterschied zwischen Anregung und Drehpendel bei Frequenzen über, unter und nahe bei der Resonanzfrequenz beobachtet. Dann haben wir dieselbe Untersuchung bei einem Fadenpendel durchgeführt, um die Parallelen erkennen zu können.

2.5 Einführung einer Nichtlinearität

Zuletzt wurde noch eine Nichtlinearität in Form eines kleinen Gewichtes eingeführt. Dieses Gewicht haben wir am oberen Rand der Scheibe (eine Daumenbreite neben dem obersten Punkt) in Ruhelage befestigt. Dann haben wir das Verhalten des Drehpendels bei steigender sowie bei sinkender Anregungsfrequenz beobachtet. Anschließend haben wir näherungsweise die Resonanzfrequenz eingestellt und die Schwingung beobachtet.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Drehpendel ohne Dämpfung

Die Messung mit einer Stoppuhr ergibt eine Dauer von $T_{20} = 28,15\text{ s}$ für 20 Schwingungen, also pro Schwingung $T_{\text{Uhr}} = 1,41\text{ s}$. Für die Unsicherheit von T gilt:

- Digitalanzeige der Stoppuhr $\pm 0,005\text{ s}$, (Typ B): $u_B(T) = \frac{2 \cdot 0,005\text{ s}}{2 \cdot 20\sqrt{3}} = 0,00014\text{ s}$
- Reaktionszeit $\pm 0,1\text{ s}$, (Typ B): $u_B(T) \approx \frac{2 \cdot 0,1\text{ s}}{2 \cdot 20\sqrt{3}} = 0,0029\text{ s}$
- Komb. Unsicherheit: $u_{\text{Uhr}}(T) = \sqrt{(0,00014\text{ s})^2 + (0,0029\text{ s})^2} \approx 0,0029\text{ s}$

$$\Rightarrow T_{\text{Uhr}} = (1,4100 \pm 0,0029)\text{ s}$$

Für die Frequenz ergibt sich daraus $f_{\text{Uhr}} = \frac{1}{T_{\text{Uhr}}} = 0,71\text{ s}^{-1}$ und für die Unsicherheit:

$$u_{\text{Uhr}}(f) = \left| \frac{\partial f}{\partial T_{\text{Uhr}}} u_{\text{Uhr}}(T_{\text{Uhr}}) \right| = \left| -\frac{1}{T_{\text{Uhr}}^2} u_{\text{Uhr}}(T_{\text{Uhr}}) \right| \approx 0,0015\text{ s}^{-1} \quad (1)$$

Insgesamt: $f_{\text{Uhr}} = (0,7100 \pm 0,0015)\text{ s}^{-1}$ In Abb. 1 wurden die Messergebnisse der (näherungsweise) ungedämpften Schwingung aufgetragen. Dann wurde ein Fit gemäß dem „Scaled Levenberg-Marquardt algorithm“ mit einer zugrunde liegenden Funktion

$$a \sin((x - b)2\pi f) \exp^{-x \cdot b} + c \quad (2)$$

durchgeführt.

Dieser ergibt für die Frequenz $f = (0,67308 \pm 0,00009)\text{ s}^{-1}$. Dies ist eine rein statistische Unsicherheitsangabe. Zusätzlich entsteht eine Unsicherheit durch ein mögliches Mitrutschen des Seils an beiden Scheiben und die Unsicherheit des Messgerätes. Außerdem

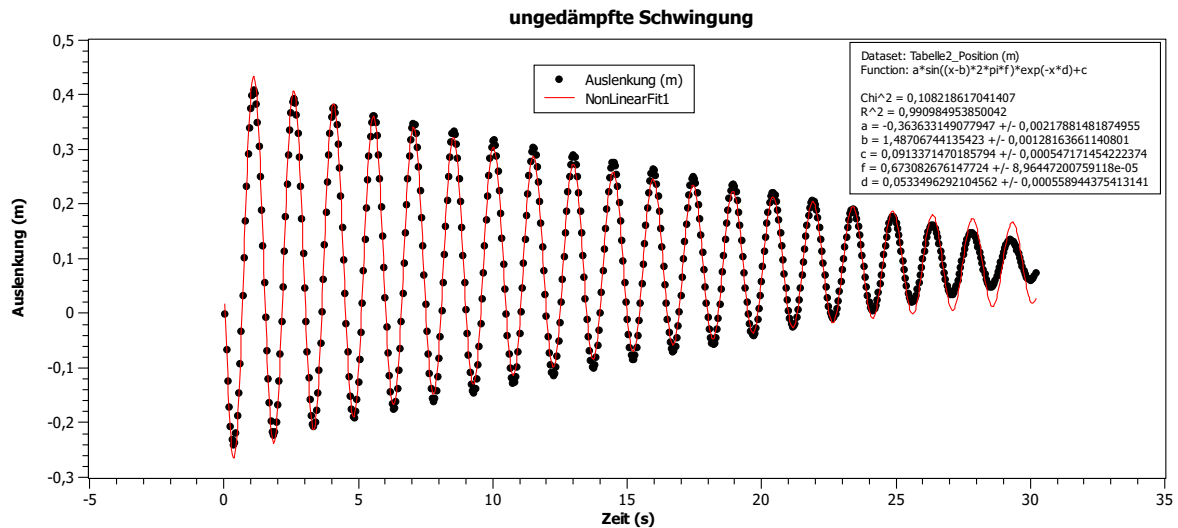


Abbildung 1: Das Ergebnis der mit dem Computer aufgezeichneten Messkurve für die ungedämpfte Schwingung

lässt sich anhand des Diagramms erkennen (und an der aus dem Fit folgenden Dämpfung $d = 0,05 \text{ s}^{-1}$), dass die Annahme, die Schwingung sei ungedämpft, recht unpräzise ist.

3.2 Drehpendel mit Dämpfung

Eine Durchführung desselben Fits für die Messungen mit einer Wirbelstrombremse, durch die ein Strom I fließt, liefert folgendes Ergebnis für die Frequenz f und die Dämpfung d :

Tabelle 1: Ergebnisse der Messung der Frequenz f und der Dämpfung d bei unterschiedlichen Stromstärken der Wirbelstrombremse

I/A	0,2	0,3	0,5
f/s^{-1}	0,67	0,67	0,67
d/m^{-1}	0,11	0,16	0,34

4 Schlussfolgerung