

Physikpraktikum für Naturwissenschaftler

Versuch: Drehschwingungen

Durchgeführt am 18. Oktober 2018

Betreuer: Christian Ganslmayer

Gruppe 13

Felix Burr: felix.burr@uni-ulm.de

Johannes Spindler: johannes.spindler@uni-ulm.de

Wir bestätigen hiermit, das Protokoll selbstständig erarbeitet zu haben und in genauer Kenntnis über dessen Inhalt zu sein.

Felix Burr

Johannes Spindler

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Versuch 1: Frequenz und Dämpfung der freien Schwingung	3
2.1	Versuchsdurchführung	3
2.2	Messwerte und Ergebnisse	4
2.3	Fehlerrechnung	4
2.4	Ergebnisdiskussion	5
3	Versuch 2: Erzwungene Schwingungen	5
3.1	Versuchsdurchführung	5
3.2	Messwerte und Ergebnisse	6
3.3	Fehlerrechnung	7
3.4	Ergebnisdiskussion	7
4	Versuch 3: Computersimulation	8
4.1	Versuchsdurchführung	8
4.2	Ergebnis und Diskussion	8

1 Einleitung

Schwingungen sind uns aus vielfachen Alltagssituationen bekannt. Etwa beim Spielen eines Klaviers: Der Ton kommt durch das Schwingen der Saiten zustande und mithilfe der Pedale kann eine Dämpfung der Saitenschwingung eingestellt werden. Auch in der Architektur müssen mögliche Schwingungen bedacht werden. Erdbeben und Sturm können starke erzwungene Schwingungen an Hochhäusern und Brücken verursachen. Im schlimmsten Fall, einer Resonanz zwischen Anregungs- und Systemfrequenz kommt es zu extremen Auslenkungen und Konstruktionen stürzen womöglich ein. Deshalb werden wir uns in diesem Versuch mit Drehschwingungen beschäftigen, vor allem mit Dämpfung, erzwungener Schwingung und Resonanz.

2 Versuch 1: Frequenz und Dämpfung der freien Schwingung

2.1 Versuchsdurchführung

Wir verwenden für diesen Versuch ein Drehpendel. Dieses ist folgendermaßen aufgebaut: Ein Kupferring und ein Hebel liegen drehbar auf einer Achse und sind miteinander durch eine Spiralfeder verbunden. Der Hebel kann von einem einstellbaren Motor periodisch ausgelenkt werden, was eine Schwingung des Kupferrades erzwingt. Der Kupferring läuft außerdem durch die Polschuhe eines Elektromagneten, der als Wirbelstrombremse fungiert. Der Strom durch diesen kann eingestellt werden und abhängig von der Spulenspannung erfährt das Rad eine Dämpfung. Die Auslenkung des Rades kann an einer das Rad umrundenden Skala abgelesen werden.

Nun wird die Frequenz der freien Schwingung des Drehpendels ohne Dämpfung bestimmt. Dazu messen wir mit einer Stoppuhr, die Zeit, die das Pendel für 10 Perioden benötigt. Mit der Periodendauer T können wir dann die Kreisfrequenz berechnen:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

Im zweiten Teil des Versuchs wollen wir die Auswirkung der Dämpfungsspannung untersuchen. Wir führen also zwei Messreihen durch, einmal bei 2V Bremsspannung und einmal bei 4V. Wir messen jeweils den Maximalausschlag des Rades nach links in der ersten Periode, $x_{max}(1)$ [Skaleneinheiten SE], und denselben in der zweiten Periode, $x_{max}(2)$ [SE]. Damit können wir das logarithmische Dekrement K bestimmen:

$$K = \frac{x_{max}(1)}{x_{max}(2)}$$

K benötigen wir um die Dämpfung β [1/s] zu ermitteln:

$$e^{\beta T} = K$$
$$\beta = \frac{\ln(K)}{T}$$

Wir messen außerdem bei beiden Messreihen die Periode. Da die im Pendel eingebaute Zeitmessung mittels Lichtschranke nur Halbperioden messen kann, messen wir die linke und die rechte Halbperiode T_{links} und T_{rechts} .

2.2 Messwerte und Ergebnisse

Die gemessenen Werte für die Periodendauer und für die Kreisfrequenz ω des Drehpendels ohne Dämpfung:

Messung	$10T$ [s]	ω [1/s]
1	19,75	3,18
2	19,81	3,17
3	19,87	3,16
4	19,62	3,20
5	19,78	3,18
Mittelwert	19,77	3,18

Die Messreihe zur Bestimmung der Dämpfungskonstante bei 2V Dämpfungsspannung:

Messung	$x_{max}(1)$ [SE]	$x_{max}(2)$ [SE]	T_{links} [s]	T_{rechts} [s]	K [1]	β [1/s]	ω [1/s]
1	16,0	14,2	1,024	0,954	1,127	0,060	3,177
2	16,0	14,4	1,024	0,954	1,111	0,053	3,177
3	16,0	14,4	1,024	0,954	1,111	0,053	3,177
4	16,0	14,2	1,024	0,954	1,127	0,060	3,177
Mittelwert	16,0	11,3	1,024	0,954	1,119	0,057	3,177

Die Messreihe zur Bestimmung der Dämpfungskonstante bei 4V Dämpfungsspannung:

Messung	$x_{max}(1)$ [SE]	$x_{max}(2)$ [SE]	T_{links} [s]	T_{rechts} [s]	K [1]	β [1/s]	ω [1/s]
1	16,0	11,0	1,025	0,955	1,455	0,189	3,173
2	16,0	11,2	1,025	0,955	1,429	0,180	3,173
3	16,0	11,2	1,025	0,955	1,429	0,180	3,173
4	16,0	11,2	1,025	0,955	1,429	0,180	3,173
Mittelwert	16,0	11,15	1,025	0,955	1,435	0,182	3,173

2.3 Fehlerrechnung

$$\Delta\omega = \left| \frac{\partial\omega}{\partial T} \right| \Delta T = \left| -\frac{2\pi}{T^2} \right| \Delta T = \frac{2\pi}{T^2} \Delta T$$

$$\Delta K = \left| \frac{\partial K}{\partial x_{max}(1)} \right| \Delta x_{max}(1) + \left| \frac{\partial K}{\partial x_{max}(2)} \right| \Delta x_{max}(2) = \frac{1}{x_{max}(2)} \Delta x_{max}(1) + \frac{x_{max}(1)}{(x_{max}(2))^2} \Delta x_{max}(2)$$

$$\Delta\beta = \left| \frac{\partial\beta}{\partial K} \right| \Delta K + \left| \frac{\partial\beta}{\partial T} \right| \Delta T = \left| \frac{1}{KT} \right| \Delta K + \left| -\frac{\ln(K)}{T^2} \right| \Delta T = \frac{1}{KT} \Delta K + \frac{\ln(K)}{T^2} \Delta T$$

2.4 Ergebnisdiskussion

Wir können feststellen, dass die Dämpfung in unserem Experiment nur eine sehr kleine Änderung der Kreisfrequenz im Vergleich zur Kreisfrequenz der ungedämpften Schwingung hat. Das lässt sich mit folgender Formel erklären:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$$

ω_0 ist hier die Eigenfrequenz des ungedämpften Systems, β die Dämpfung und ω die Frequenz des gedämpften Systems. Da die Dämpfungskonstante in unseren Messungen nahe bei Null war und diese in der Formel im Quadrat steht, gilt:

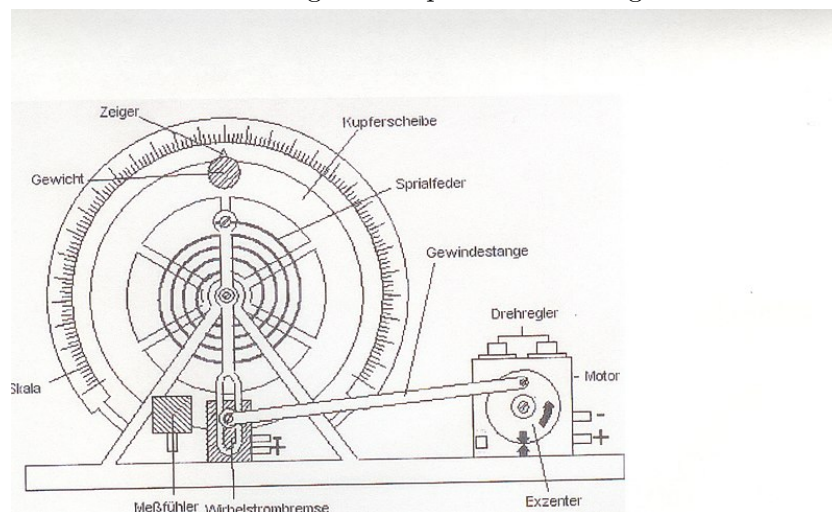
$$\omega \approx \sqrt{\omega_0^2} = \omega_0$$

3 Versuch 2: Erzwungene Schwingungen

3.1 Versuchsdurchführung

In diesem Versuch wird das Drehpendel von einem externen Motor erregt. Wir untersuchen wie sich unterschiedliche Erregerfrequenzen auf das Pendel auswirken.

Abbildung 1: Drehpendel mit Erreger



In Versuch 2.1 haben wir durch probieren festgestellt, dass der optimale Phasenwinkel bei etwa 10° liegt.

3.2 Messwerte und Ergebnisse

Messung der Phasendauer bei optimaler Amplitude:

Messung	Phasendauer (s)	Phasenwinkel (°)
1	0.55	100.20
2	0.549	100.02
3	0.548	99.84
4	0.546	99.47
Mittelwert	0.548	99.88

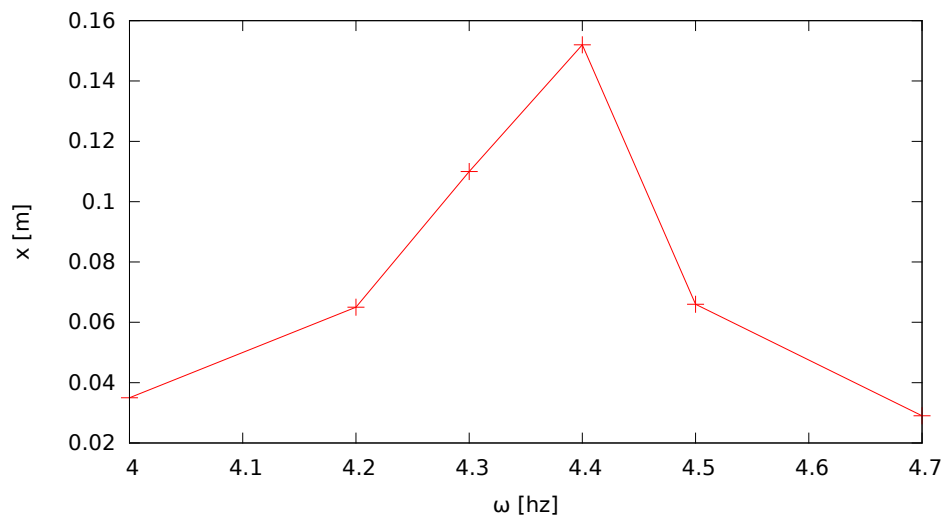
Dämpfungsspannung von 2V:

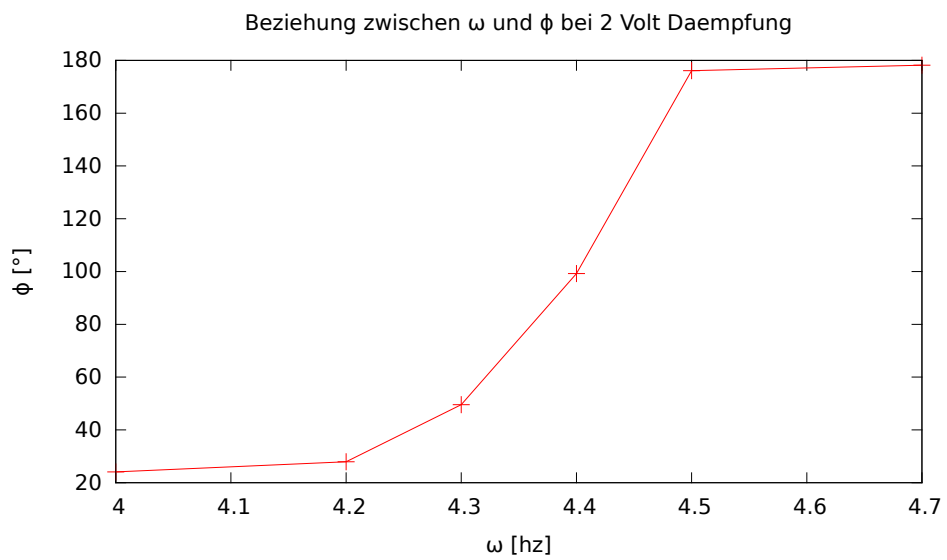
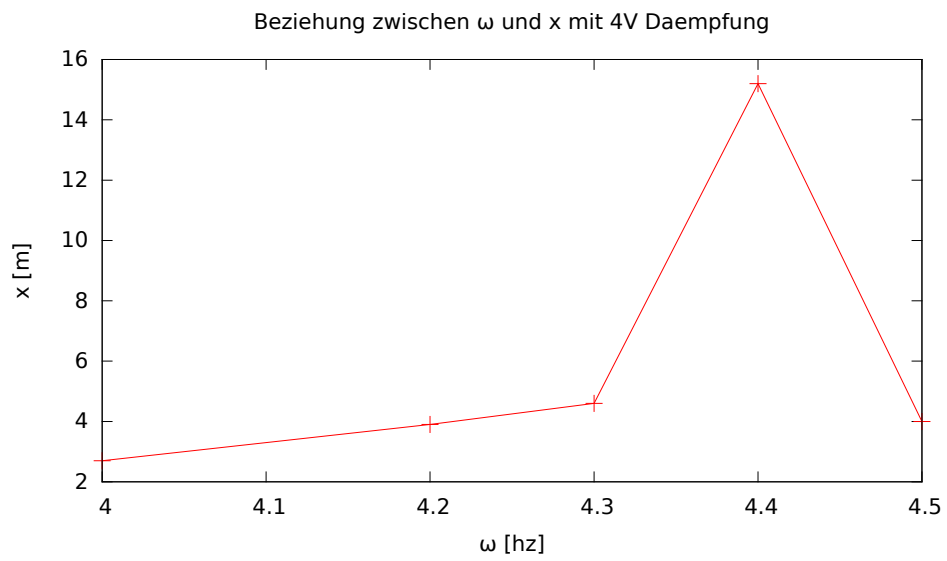
Messung	F ($\frac{1}{10s}$)	Phasendifferenz (ms)	Phasendifferenz (°)	T (ms)	Amplitude (cm)
1	40	145	24.1	2166	3.5
2	42	172	27.9	2216	6.5
3	43	295	49.6	2143	11
4	44	575	99.2	2086	15.2
5	45	945	176.0	1932	6.6
6	47	920	178.2	1859	2.9

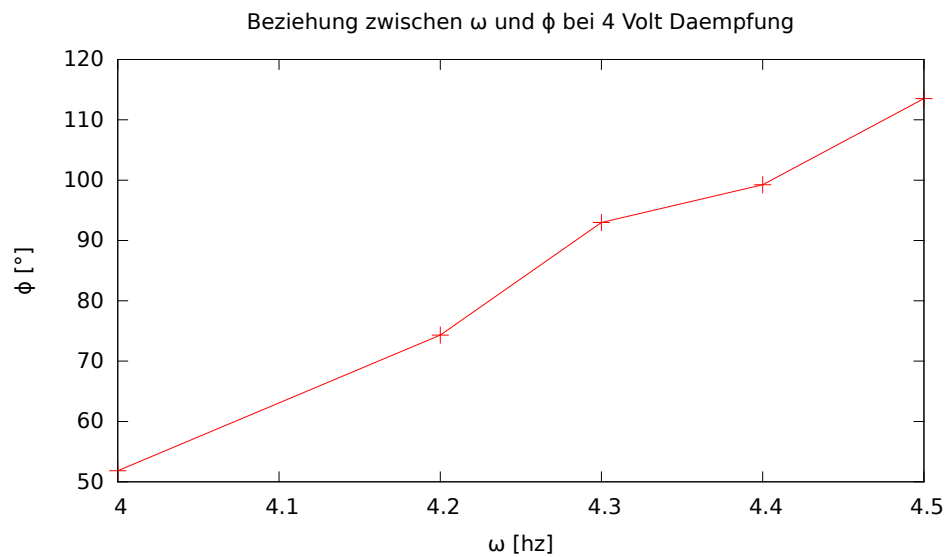
Dämpfungsspannung von 4V:

Messung	F ($\frac{1}{10s}$)	Phasendifferenz (ms)	Phasendifferenz (°)	T (ms)	Amplitude (cm)
1	40	312	51.8	2167	2.7
2	42	428	74.3	2073	3.9
3	43	523	93.0	2025	4.6
4	44	575	99.2	2086	15.2
5	45	625	113.5	1982	4

Beziehung zwischen ω und x mit 2V Daempfung







3.3 Fehlerrechnung

Hier entstehen Fehler vorallem durch unzureichende Eichung des Gerätes und der Ungenauigkeiten beim Ablesen (im Millimeterbereich).

3.4 Ergebnisdiskussion

Wir stellen fest, dass die Phasendifferenz einen großen Einfluss auf die Amplitude hat, und das diese abhängig von der jeweiligen Erregerfrequenz sind. So verhält sich die Schwingung des Pendels bei extrem niedriger Erregerfrequenz so, wie ein normales nicht angeregtes Pendel. Bei gleicher Erregerfrequenz und Eigenfrequenz kommt es zu konstruktiver Resonanz. Bei einer viel höheren Erregerfrequenz als die Eigenfrequenz konnten wir Auslöschung beobachten.

4 Versuch 3: Computersimulation

4.1 Versuchsdurchführung

Beim ersten Teil dieses Versuchs verwenden wir eine MATLAB-Simulation, die die Phasenverschiebung nach Anregungsfrequenz und die Maximalamplitude nach Anregungsfrequenz bei einer erzwungenen Schwingung eines Federpendels zeigt. Die Anregungsfrequenz ist einstellbar, die Federhärte zufallsgeneriert und die Federmasse unbekannt. Wir wollen uns durch Probieren der Resonanzfrequenz des Pendels annähern. Mit der Resonanzfrequenz ω_0 und der gegebenen Federkonstante D können wir dann die Masse

m des Federpendels bestimmen:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{D}{m}}$$

$$m = \frac{D}{\omega_0^2}$$

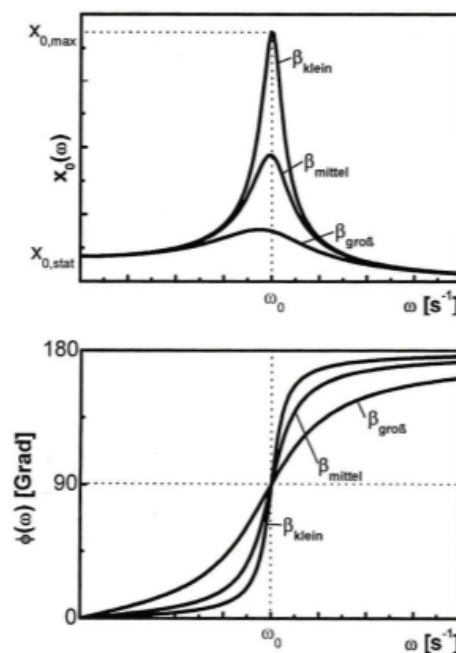
Für den zweiten Teil des Versuchs verwenden wir die Website <http://wwwchem.uwimona.edu.jm/spectra/jsmol/demos/acetophenone.html>, um den Zusammenhang zwischen den Molekülschwingungen und dem Infrarotspektrum des Acetophenon-Moleküls herzustellen.

4.2 Ergebnis und Diskussion

Durch Variation der Anregungsfrequenz nähern wir die Resonanzfrequenz durch 2,58 Hz an, was zu einer Maximalauslenkung von 2,2 Einheiten führt. Bei einer Frequenz von 1 Hz sieht man ein schönes Beispiel für Phasengleichheit und bei 4 Hz für Gegenphasigkeit.

Da das Speichern der Amplituden- und Phasenkurven aus unerklärlichen Gründen nicht funktioniert hat, verzichten wir die entsprechenden Grafiken aus der Versuchsanleitung. Wie man der oberen Kurve entnehmen kann, steigt die Amplitudenkurve $x_0(\omega)$

Abbildung 2: Amplitude und Phasenwinkel abhängig von der Dämpfung (aus der Versuchsanleitung)

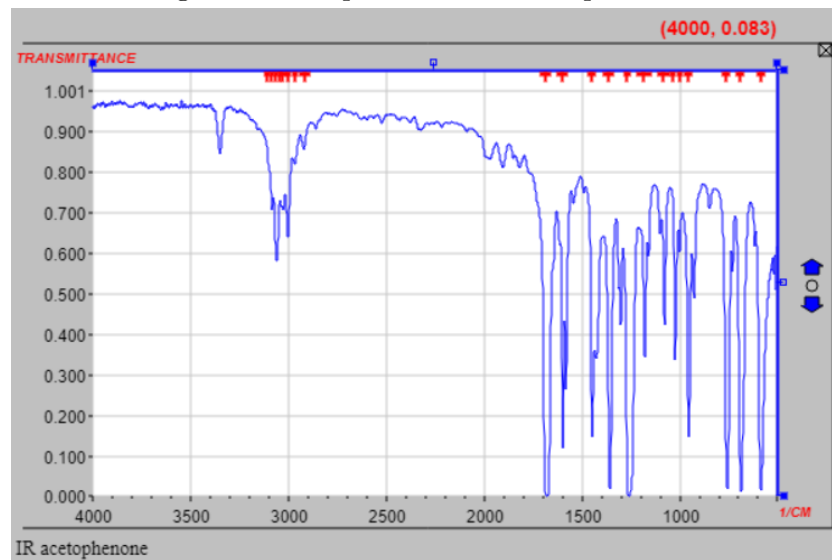


und damit die Resonanzamplitude $x_{0,max}$ mit abnehmender Dämpfungskonstante β .

Die untere Graphik zeigt, dass die Phasenkurve eine sigmoide Form hat und sich für kleine Dämpfungen einer Stufenform und für große Dämpfungen einer Gerade annähert. Das bedeutet, je größer die Dämpfung wird, desto gerader wird die sigmoide Phasenkurve.

Für das Federpendels ergibt sich mit obiger Formel, der Resonanzfrequenz $\omega_0 = 2,58\text{Hz}$ und einer Federhärte $D = 4,69\text{N/mm}$ die Masse $m = 7,05 \cdot 10^{-4}\text{kg}$.

Abbildung 3: Infrarotspektrum des Acetophenon-Moleküls



Im Infrarotspektrum des Acetophenon-Moleküls erkennt man charakteristische Peaks nach unten. Das bedeutet, an diesen speziellen Strahlungsfrequenzen ist die Durchlässigkeit der Strahlung nahezu Null, aber benachbarte Frequenzen gewähren wieder eine hohe Durchlässigkeit. Hierbei handelt es sich um die Resonanzfrequenzen der Molekülbauweise, also kann an diesen Stellen des Spektrums besonders viel Strahlung absorbiert und gestreut werden. Es existieren mehrere solche Resonanzfrequenzen im Spektrum, da alle Kombinationen von Bindungen im Molekül schwingen können und das Molekül aus verschiedenen Atomen besteht.