

# Versuch M12

## Pohlsches Pendel

12. März 2020

### I Lernziele

- Harmonische Schwingungen, Amplitude, Frequenz
- Angeregter gedämpfter Oszillator
- Eigenfrequenz
- Resonanz, Resonanzfrequenz

### II Physikalische Grundlagen

#### II.1 Drehoszillator

In diesem Versuch werden wir die Eigenschaften eines **gedämpften angeregten harmonischen Oszillators** am Beispiel des POHLSCHEN Pendels kennenlernen.

Das POHLSCHE Pendel (Die Konstruktion siehe das nächsten Kapitel) ist ein dem Federpendel analoges **Drehpendel**.

Ein gedämpftes angeregtes Federpendel wird in der Physik mit der folgenden Differenzialgleichung beschrieben:

$$m \cdot \ddot{x} + D \cdot \dot{x} + b \cdot x = F_0 \cdot \cos(\omega t) \quad (1)$$

In dieser Gleichung ersetzen wir die Strecke  $x$  durch den Winkel  $\varphi$  (Phi) und erhalten dabei die **Bewegungsgleichung des Drehpendels**:

$$I \cdot \ddot{\varphi} + D_r \cdot \dot{\varphi} + b_r \cdot \varphi = M_0 \cdot \cos(\omega t) \quad (2)$$

Statt Masse  $m$  und Kraft  $F$  gehen das Trägheitsmoment  $I$  (Siehe Versuch M06 unseres Praktikums) und das Drehmoment  $M$  in die Gleichung ein.

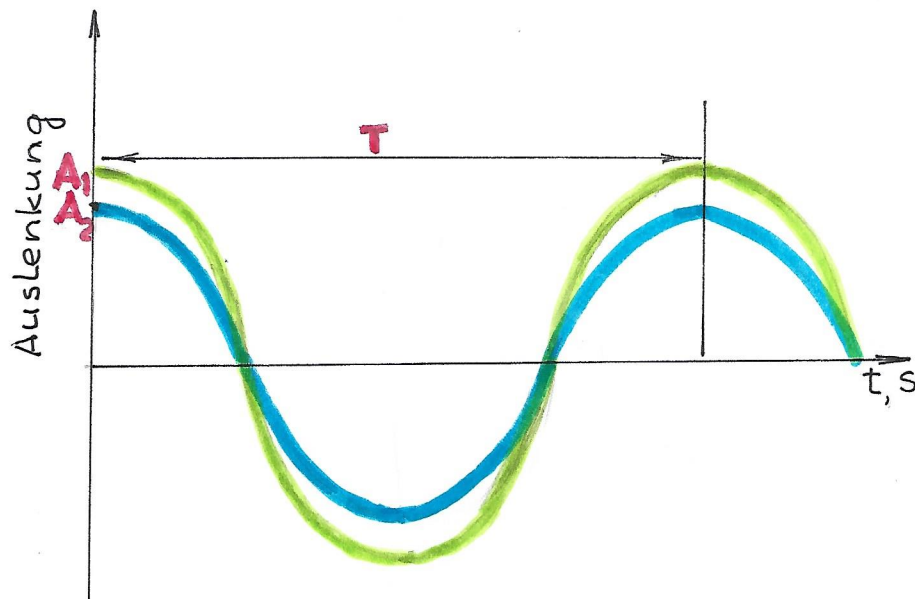


Abbildung 1: Harmonische Schwingungen. Grafische Darstellung.  
 A - die **Amplitude** der Schwingung (die maximale Auslenkung)  
 T - die **Schwingungsperiode** (die Zeitdauer einer vollständigen Schwingung)

## II.2 Harmonische Schwingungen

Wir beschäftigen uns hier mit den **harmonischen Schwingungen**, also den Schwingungen, die mit einer harmonischen Funktion, *sin* oder *cos*, beschrieben werden können [1,2].

Diese Funktionen geben uns die Lösung der Differenzialgleichung (2).  
 Die Abb.1 zeigt die grafische Darstellung von harmonischen Schwingungen.

Eine wichtige Eigenschaft einer schwingenden Bewegung ist die **Frequenz**, Anzahl der pro Sekunde ausgeführten Schwingungen:

$$f = \frac{1}{T} \quad (3)$$

Die SI-Einheit dafür ist das Herz (abgekürzt **Hz**)

und auch die **Kreisfrequenz**  $\omega$  (Omega)

$$\omega = 2\pi \cdot f \quad (4)$$

Die SI-Einheit für die Kreisfrequenz ist Radian pro Sekunde.

In diesem Versuch arbeiten wir mit dem Drehpendel, deshalb werden für uns die Kreisfrequenzen interessant.

### II.3 Pohlsches Pendel

Das **Polsche Pendel** (POHLSCHES Rad) wurde Anfang 20. Jahrhundert vom deutschen Physiker ROBERT WICHARD POHL erfunden.

Damit können verschiedene Schwingungen, auch erzwungene gedämpfte Schwingungen und die Resonanzphänomene (wo das Rad ins "Chaos stürzt") untersucht werden.

Abb.2 zeigt das POHLSCHES Pendel und den kompletten Versuchsaufbau in unserem Labor.

Das POHLSCHES Pendel **P** (Abb.2) besteht aus einer **Kupferscheibe**, die um ihren Schwerpunkt rotiert (pendelt), und wird von einer **Spiralfeder**, die sie mit der Achse verbindet, wieder zurückgebracht.

Der **weiße Pfeil** an der Scheibe zeigt ihre Auslenkung auf einer **Skala** an. Die Skala ist mit willkürlichen Einheiten (abgekürzt **WE**) 0 ... 20 WE in 0,2 WE-Schritten beschriftet.

Wenn Sie das Pendel schwingen lassen, können Sie die Amplitude am **Umkehrpunkt** auf bis zu 0,2 WE ablesen.

Mittels zweier **Spulen S**, durch die das Rad hindurchschwingt, kann man eine zusätzliche **Dämpfung** erzeugen.

Der Strom (vom **Netzgerät N**), der durch die Spulen fließt (Spulenstrom), erzeugt ein räumlich inhomogenes Magnetfeld, das zusammen mit der Bewegung der Kupferscheibe, **induzierte Ströme** in der Scheibe (Wirbelströme) verursacht.

Dadurch entsteht eine Kraft, die gegen die Bewegung wirkt, es entsteht also eine Dämpfung. Dieses Prinzip der Dämpfung nennt man **Induktionsbremse** oder Wirbelstrombremse.

Der Spulenstrom bestimmt die **Dämpfungskonstante**  $\gamma$  (Gamma) und darf für unsere Geräte bis zu 1 A betragen.

Achten Sie darauf, die Spule nicht durch einen zu hohen Strom zu überhitzen.

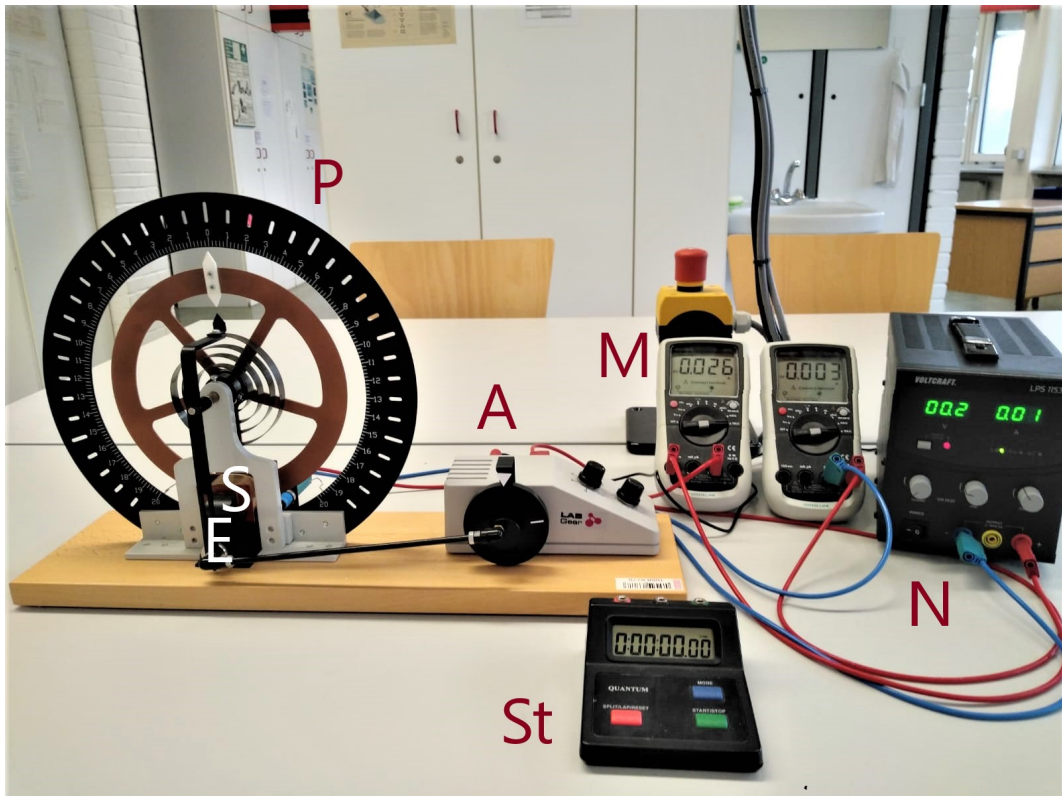


Abbildung 2: POHLSCHES Pendel und Versuchsaufbau in unserem Labor.  
P - Pohlsches Pendel, S - Spulen (Induktionsbremse), N - Netzgerät,  
A - Antrieb (Elektromotor), E - Exzenter, M - Multimessgeräte,  
St - Stoppuhr

Ein durch den **Exzenter E** (Abb.2) an die Feder gekoppelter **Elektromotor (Antieb A)** ermöglicht es, ERZWUNGENE Schwingungen zu erzeugen.

Die zwei **Multimessgeräte M** (an den Spulen und an den Motor angeschaltet) und die **Stoppuhr St** helfen bei den Messungen.

Wir fassen kurz zusammen:

- Das POHLSCHES Pendel ist ein Drehoszillator, wo für die rücktreibende Kraft die Feder sorgt.
- Das POHLSCHES Pendel hat einen Elektromotor zur Anregung und ist damit ein angeregter (erzwungener) Oszillator. Ohne Anregung ist das POHLSCHES Rad ein freier Oszillator.
- Das POHLSCHES Pendel hat eine Induktionsbremse, damit ist es ein gedämpfter Oszillator.

## II.4 Resonanz und Resonanzkatastrophe

**Resonanz** ist in der Physik das verstärkte Mitschwingen eines schwingfähigen Systems, das durch eine periodische Kraft von außen angeregt wird.

Treibt man das System mit der Frequenz der Außenkraft näher zur **Eigenfrequenz** an, kommt es zur **Resonanz**, bei der das System mit anregender Kraft mitzuschwingen beginnt, wodurch **große Amplituden** entstehen können.

Ist die Dämpfung hierbei sehr gering, wird in jeder Schwingungsperiode Energie hinzugeführt, wodurch das System überlastet wird. Es kommt zu einer **Resonanzkatastrophe**.

## III Aufgaben

### III.1 Freier Oszillator

Im ersten Teil arbeiten wir mit dem POHLSCHEN Pendel ohne Motor.

1. Bringen Sie das Rad zum Schwingen und messen Sie die **Auslenkung** in Abhängigkeit der **Zeit** für die 4 verschiedenen Spulenströme.
  - $I = 0 \text{ A}$ ,

- $I = 0,2 \text{ A}$ ,
- $I = 0,5 \text{ A}$
- $I = 0,8 \text{ A}$ .

Lenken Sie das Rad vorsichtig mit der Hand auf 18 Einheiten aus und lassen Sie es los.

Messen Sie parallel (zuzweit) die **Amplituden** auf die Skala und mit der Stoppuhr die **Zeit** bis zum Erreichen des Amplitudenwertes (Umkehrpunkt) auf beiden Seiten, also die **Schwingungsperioden**  $T$ , bis zum Abklingen der Amplitude.

Die Spulen (Abb.2) werden über das Netzgerät mit Strom versorgt.

Spannung und die Stromstärke können Sie auf dem Netzgerät und auf dem Multimeter ablesen. Der Multimeter gibt die etwas genaueren Ergebnisse.

Achten Sie darauf, das Netzgerät nur ein- und auszuschalten, wenn alle Potentiometer auf Null stehen.

Um einen Strom durch die Spulen zu schicken, regeln Sie zuerst die Spannungsbegrenzung hoch und stellen dann den Strom ein.

- Erstellen Sie eine Tabelle (**Tab.1**) mit Ihren Messdaten: die Auslenkungen  $A$  und die Schwingungsperioden  $T$  für die 4 Spulenströme. Berechnen Sie die Mittelwerte für  $T$  und daraus die Schwingungsfrequenzen ebenfalls für die 4 Spulenströme. Weiter arbeiten wir nur mit den **Kreisfrequenzen**.
- Erstellen Sie die Grafiken: die Amplituden  $A$  von der Zeit  $T$  für 4 Spulenströme auf dem Millimeterpapier oder mit dem Computer (**Diagramm 1**).
- Stellen Sie den Logarithmus der Amplituden als Funktion der Zeit grafisch dar auf dem Millimeterpapier oder mit dem Computer (**Diagramm 2**) und berechnen Sie aus dem Geradenanstieg die **Dämpfungskonstante**  $\gamma$ .

5. Berechnen Sie aus Ihren Werten die **Eigenfrequenz**  $\omega_0$  nach:

$$\omega_0 = \sqrt{\omega^2 + \gamma^2} \quad (5)$$

6. Erstellen Sie eine Tabelle (**Tab.2**) mit Ihren Ergebnissen: Schwingungsfrequenzen  $\omega$ , Dämpfungskonstanten  $\gamma$  und Eigenfrequenzen  $\omega_0$  für die 4 untersuchten Spulenströme.

7. Vergleichen Sie die 4 Werte von  $\omega_0$ . Was kann man daraus schließen?

### III.2 Angeregter Oszillator und Resonanz

Im zweiten Teil arbeiten wir mit dem durch den Motor (Antrieb, Abb.2) angeregten POHLSCHEN Pendel und untersuchen das **Resonanz Phänomen**.

1. Nehmen Sie 3 **Resonanzkurven** auf.

Wir arbeiten hier mit der Induktionsbremse mit 3 Spulenströmen:

- $I = 0,2 \text{ A}$ ,
- $I = 0,5 \text{ A}$
- $I = 0,8 \text{ A}$ .

Warum dürfen wir jetzt nicht **ohne Dämpfung** arbeiten?

Die Motorspannung können Sie an den beiden Reglern (Abb.2) am Motor regulieren (grob und fein) und am zweiten Multimeter ablesen.

Die Kreisfrequenz des Motors bzw. Exzenters verhält sich direkt proportional zu dieser Spannung.

Stellen Sie die Motorspannung auf 2 V, Spulenstrom auf 0,2 A und messen Sie die Amplitude.

Worauf müssen Sie achten, wenn Sie bei kleiner Dämpfung nahe der **Resonanzfrequenz** messen?

Ändern Sie die Motorspannung in Schritten von 1 V weiter bis ca.  $U = 14 \text{ V}$ .

Gehen Sie **vorsichtig** vor und beobachten Sie dabei das Wachstum der Amplitude.

Messen Sie wieder die **Auslenkung** auf der Skala und im Resonanzbereich auch die **Schwingungsdauer** mit der Stoppuhr (für die Berechnung von Resonanzfrequenz).

Messen Sie im **Bereich der Resonanz** (ca.  $7,5 \text{ V} \leq 8,5 \text{ V}$ ) in 0,25 V-Schritten.

Notieren Sie zu jedem Wert der **Motorspannung** den **Amplitudenwert**.

Achten Sie darauf, genügend Messwerte in der Nähe der Resonanzfrequenz aufzunehmen, damit man das **Maximum** gut erkennen kann.

Machen Sie die weitere Messungen mit den anderen 2 Spulenströmen.

2. Erstellen Sie eine Tabelle (**Tab.3**) mit Ihren Messdaten.
3. Stellen Sie die 3 **Resonanzkurven** (Amplitude  $A$  von Motorspannung  $U$ ) grafisch dar auf dem Millimeterpapier oder mit dem Computer (**Diagramm 3**).
4. Bei der maximalen Auslenkung auf der Grafik berechnen Sie die **Resonanzfrequenz**.  
Was können Sie aus Ihrem Ergebnis schließen?
5. Diskutieren Sie die Methode mit dem POHLSCHEN Pendel für die Untersuchung von Schwingungen und Resonanzphänomenen.  
Schreiben Sie Ihre kurze **Zusammenfassung** des Versuches und erklären Sie Ihre Ergebnisse am Ende des Protokolls.

## IV Fragen und Diskussionspunkte

- Was sind harmonische Schwingungen? Welche charakteristische Größen beschreiben sie?
- Welche wichtigen Konstruktionselemente hat das Pohlsche Pendel? Wie funktioniert die Induktionsbremse?



- Wie berechnet man die Eigenfrequenz des Pendels? Wie kann man sie ändern?
- Wie berechnet man die Dämpfungskonstante?
- Was sind Resonanz, Resonanzfrequenz und Resonanzkatastrophe?

## Literatur

- [1] D. Halliday, R. Resnik, J. Walker: *Halliday Physik*. Wiley-VCH 2001, 2. Auflage, S 448-450.
- [2] Ch. Kommer, T. Tugendhat, N. Wahl: *Tutorium Physik fürs Nebenfach* Springer-Spektrum, 2. Auflage, S. 132-138.
- [3] H.J. Eichler, H.-D. Kronfeld, J. Sahm: *Das neue Physikalische Grundpraktikum*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 2016, 3. Auflage, S. 59f.

■ **NEUE ANLEITUNGEN** haben wir in diesem Semester für Sie bereit gestellt.

Wie finden Sie sie: sind sie verständlich geschrieben und hilfreich?

Ihre Meinung wird uns sehr interessieren.