Einfache harmonische Schwingung

Viele Dinge vibrieren oder schwingen. Eine vibrierende Stimmgabel, ein schaukelndes Kind und der Lautsprecher in einem Radio sind Beispiele für physikalische Schwingungen. Es gibt auch elektrische und akustische Schwingungen wie Radiosignale und den Ton, den man erzielt, wenn man gegen die Öffnung einer Flasche bläst.

Ein einfaches schwingendes System besteht aus einer Masse, die an einer Feder hängt. Die Kraft, die von einer idealen Feder ausgeübt wird, ist proportional dazu, wie sehr die Feder gestreckt oder zusammengepresst wird. In Anbetracht dieses Kräfteverhaltens wird die Auf- und-ab-Bewegung *einfach harmonisch* genannt und der Ort der Masse kann beschrieben werden über

$$y = A \sin(2\pi f t + \phi)$$

In dieser Gleichung ist y der vertikale Abstand von der Gleichgewichtsposition, A die Amplitude der Bewegung, f die Frequenz der Oszillation, t die Zeit und ϕ eine Phasenkonstante. Das Experiment wird jeden dieser Begriffe veranschaulichen.

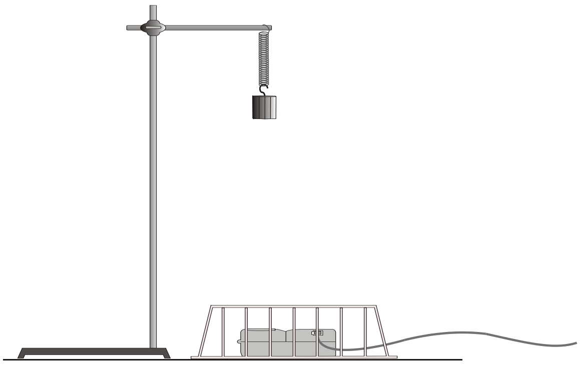


Abbildung 1

LERNZIELE

- Ort und Geschwindigkeit eines schwingenden Masse-Feder-Systems als Funktion der Zeit messen
- Die beobachtete Bewegung eines Masse-Feder-Systems mit dem mathematischen Modell einer einfachen harmonischen Bewegung vergleichen
- Amplitude, Periode und Phasenkonstante der beobachteten einfachen harmonischen Bewegung bestimmen

MATERIAL

Computer	Standfuß, Stab und Halteklammer
Vernier Computerschnittstelle	Feder mit einer Federkonstante von etwa 10 N/m
Logger *Pro*	Bindedraht
Vernier Bewegungsdetektor	Drahtkorb
200 g und 300 g Massestücke	

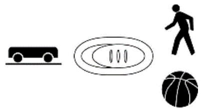
VORBEREITENDE FRAGEN

1. Befestigen Sie die 200 g Masse an der Feder und halten Sie das freie Ende der Feder in Ihrer Hand, sodass Masse und Feder nach unten hängen und die Masse in Ruhe ist. Heben Sie die Masse etwa 10 cm hoch und lassen Sie sie los. Beobachten Sie die Bewegung. Skizzieren Sie ein Weg-Zeit-Diagramm für die Masse.

2. Skizzieren Sie direkt unter dem Weg-Zeit-Diagramm ein Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm für die Masse mit derselben Einteilung für die Zeitachse.

VORGEHENSWEISE

1. Befestigen Sie die Feder an einem horizontalen Stab, der am Standfuß befestigt ist und hängen Sie die 200 g Masse an die Feder, wie in Abbildung 1 gezeigt wird. Achten Sie darauf, Masse und Feder sicher mit Bindedraht zu befestigen, damit die Masse nicht hinunter fallen kann.



2. Verbinden Sie den Bewegungsdetektor mit dem DIG/SONIC 1 - Kanal der Schnittstelle. Besitzt der Bewegungsdetektor einen Auswahlschalter, stellen Sie diesen auf *normal*.

3. Platzieren Sie den Bewegungsdetektor mindestens 75 cm unterhalb der Masse. Achten Sie darauf, dass sich keine Objekte in der Nähe des Weges zwischen Detektor und Masse befinden, wie beispielsweise eine Tischkante. Legen Sie den Drahtkorb als Schutz über den Bewegungsdetektor.

4. Öffnen Sie die Datei "15 Simple Harmonic Motion" aus dem Ordner *Physik mit Vernier*.

5. Führen Sie einen Testlauf durch um sicherzugehen, dass alles korrekt aufgebaut ist. Heben Sie die Masse einige Zemtimeter nach oben und lassen Sie sie los. Die Masse sollte nur in vertikaler Richtung schwingen. Drücken Sie zum Starten der Datenerfassung auf ▶ Collect.

6. Nach 10 s stoppt die Datenerfassung. Das Weg-Zeit-Diagramm sollte eine rein sinusförmige Kurve zeigen. Weist es ebene Bereiche oder Spitzen auf, positionieren Sie den Bewegungsdetektor neu und versuchen Sie es erneut.

7. Vergleichen Sie das Weg-Zeit-Diagramm mit Ihrer skizzierten Vorhersage in den vorbereitenden Fragen. Inwieweit stimmen die Graphen überein? Inwieweit unterscheiden sie sich? Vergleichen Sie auch das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm mit Ihrer Vorhersage.

8. Messen Sie die Gleichgewichtsposition der 200 g Masse. Wenn diese frei hängt und in Ruhe ist. Drücken Sie zum Starten der Datenerfassung auf ▶ Collect. Endet die Datenerfassung, drücken Sie zur Bestimmung des durchschnittlichen Abstands vom Detektor auf den Statistik-Knopf $\frac{1}{\sqrt{2}}$. Notieren Sie diesen Abstand (y_0) in der Datentabelle.

9. Heben Sie die Masse nun 5 cm hoch und lassen Sie sie wieder los. Die Masse sollte nur in vertikaler Richtung schwingen. Drücken Sie zum Starten der Datenerfassung auf ▶ Collect. Untersuchen Sie die Graphen. Die Form, die Sie untersuchen, ist charakteristisch für einfach harmonische Bewegungen.

10. Messen Sie mithilfe des Weg-Zeit-Diagramms das Zeitintervall zwischen den maximalen Positionen. Dies ist die *Periode* T der Bewegung. Die Frequenz f ist der Kehrwert der Periode T, somit ist $f = 1/T$. Berechnen Sie auf Basis Ihrer Periodenmessung die Frequenz. Notieren Sie Periode und Frequenz dieser Bewegung in der Datentabelle.

11. Die Amplitude *A* der einfachen harmonischen Bewegung ist der maximale Abstand von der Gleichgewichtsposition. Schätzen Sie Werte für die Amplitude Ihres Weg-Zeit-Diagramms. Notieren Sie die Werte in der Datentabelle. Wenn Sie die Maus von einer Spitze zur anderen ziehen, können Sie das Zeitintervall **dx** ablesen.

12. Wiederholen Sie die Schritte 8–11 mit der gleichen 200g-Masse aber einer anderen Aplitude als im ersten Lauf.

13. Wiederholen Sie die Schritte 8–11 mit einer 300g-Masse. Verwenden Sie eine Amplitude von etwa 5 cm. Lassen Sie einen guten Lauf mit der 300 g Masse auf dem Bildschirm, Sie werden ihn für einige Analyse-Fragen verwenden.

DATEN-TABELLE

Lauf	Masse (g)	y_0 (cm)	*A* (cm)	*T* (s)	*f* (Hz)
1					
2					
3					

ANALYSE

1. Lassen Sie die Graphen des letzten Laufs auf dem Bildschirm anzeigen. Vergleichen Sie die Weg-Zeit-Diagramme und die Geschwindigkeits-Zeit-Diagramme. Inwieweit stimmen sie überein? Inwieweit unterscheiden sie sich?

2. Aktivieren Sie den Untersuchungsmodus über Knopf zur Untersuchung . Bewegen Sie den Mauszeiger über den Graphen, um die Datenwerte des letzten Laufs auf dem Bildschirm anzuzeigen. Wo befindet sich die Masse, wenn die Geschwindigkeit null ist? Wo befindet sich die Masse, wenn die Geschwindigkeit am größten ist?

3. Scheint es, als sei die Frequenz *f* von der Amplitude der Bewegung abhängig? Haben sie genügend Daten für einen sicheren Rückschluß?

4. Scheint es, als sei die Frequenz *f* von der Größe der verwendeten Masse abhängig? Hat sich durch die Masse viel bei Ihren Untersuchungen verändert?

5. Mit der *Manual Curve Fit* – Funktion in Logger *Pro* können Sie Ihre experimentellen Daten mit dem sinusförmigen Funktionsmodell vergleichen. Versuchen Sie dies mit Ihren Daten der 300g-Masse. Die Schwingungsgleichung aus der Einleitung, die der in vielen Schulbüchern ähnelt, gibt den Abstand der Masse vom Gleichgewicht an. Der Bewegungsdetektor gibt jedoch den Abstand vom Detektor an. Damit Sie das Modell mit Ihren Daten vergleichen können, müssen Sie noch den Gleichgewichtsabstand addieren. Es ergibt sich

$$y = A\sin\left(2\pi ft + \phi\right) + y_0$$

wobei y_0 den Abstand von der Gleichgewichtslage darstellt.

A. Klicken Sie einmal auf das Weg-Zeit-Diagramm, um es auszuwählen.

B. Wählen Sie *Curve Fit* aus dem Menü *Analyze*.

C. Wählen Sie *manuell* als Anpassungsart.

D. Wählen Sie die Sinusfunktion aus der Liste der allgemeinen Gleichungen.

E. Die Sinusgleichung ist von der Form y=A*sin(Bt +C) + D. Vergleichen Sie dies mit der Form der obigen Gleichung zur Zuordnung von Variablen, z.B. ϕ entspricht C und $2\pi f$ entspricht B.
F. Passen Sie die Werte für A, B und D an Ihre Werte für *A*, *f* und y_0 an. Sie können die Werte direkt in die Dialogbox eingeben oder sie mit den Pfeilen nach oben oder unten anpassen.
G. Der Phasenparameter ϕ wird *Phasenkonstante* genannt und wird dazu verwendet, den y-Wert anzupassen, der vom Modell bei $t = 0$ zurückgegeben wird, damit er zu Ihren Daten passt. Da die Datenerfassung nicht notwendigerweise begann, als sich die Masse in der Ruheposition befand, wird ϕ benötigt um einen gute Übereinstimmung zu erreichen.
H. Der optimale Wert für ϕ wird zwischen 0 und 2π liegen. Finden Sie den Wert für ϕ, der die Berechnung so nah wie möglich an die Daten Ihres 300g-Experiments heranbringt. Möglicherweise möchten Sie zur Verbesserung der Anpassung auch y_0, *A* und *f* anpassen. Schreiben Sie die Gleichung auf, die am besten zu Ihren Daten passt.

6. Passen die Modellrechnungen gut zu den Daten? Woran können Sie dies erkennen?

7. Sagen Sie voraus, was mit dem Graphen der Modellrechnung passieren würde, wenn Sie die Parameter für *A* verdoppeln würden. Skizzieren Sie dazu das aktuelle Modell und das neue Modell mit verdoppeltem *A*. Verdoppeln Sie nun den Parameter für *A* in der Dialogbox zur manuellen Anpassung und vergleichen Sie mit Ihrer Vorhersage.

8. Sagen Sie auf ähnliche Weise voraus, wie sich der Graph der Modellrechnung ändern würde, wenn Sie *f* verdoppeln würden und überprüfen Sie es durch Anpassung der Modelldefinition.

9. Drücken Sie OK und drucken Sie Ihren Graphen aus, wenn gewünscht.

ERWEITERUNGEN

1. Untersuchen Sie, wie sich die Periode der Bewegung ändert, wenn Sie die Amplitude der Feder verändern. Achten Sie darauf, dass Sie keine zu große Amplitude verwenden, damit die Masse nicht näher als 40 cm an den Detektor herankommt oder von der Feder fällt.

2. Wie ändert eine *Dämpfung* die Daten? Kleben Sie eine Karteikarte unten an die Masse und sammeln Sie zusätzliche Daten. Erfassen Sie mindestens 10 Sekunden lang Daten. Passt die Modellrechnung in diesem Fall immer noch gut?

3. Führen Sie zusätzliche Experimente durch, um die Beziehung zwischen der Masse und der Periode dieser Art der Bewegung zu untersuchen.