2 SCHWINGUNGEN UND WELLEN

2.1 SCHWINGUNGEN 1.1-ph 1.3-ph 3.2-ph 4.1-ph

LERNZIELE

1 2 3 4 Ich kann die wichtigsten Größen zur Beschreibung einer harmonischen Schwingung angeben und anhand von Beispielen aus dem Alltag erklären. A.1 A.2 A.3 A.4 B.5

1 2 3 4 Ich kann Experimente zur Schwingungsdauer und Frequenz verschiedener schwingungsfähiger Systeme durchführen. A.2 B.2 B.3 B.4 B.5 C.2 C.5

1 2 3 4 Ich kann den Zusammenhang zwischen Schwingung und Kreisbewegung erklären. A.2 A.3 B.2 B.3 B.4 B.5

1 2 3 4 Ich kann anhand eines einfachen Experimentes die Konsequenzen beschreiben, die es hat, wenn ein schwingungsfähiges System wiederholt zu Schwingungen angeregt wird. A.2 A.3 A.4 A.5 B.2 B.3 B.4 C.3 C.5

1 = zur Gänze erreicht 2 = weitgehend erreicht 3 = ansatzweise erreicht 4 = nicht erreicht

Viele Schwingungsphänome sind uns aus dem Alltag bekannt: das Schaukeln eines kleinen Bootes auf der Wasseroberfläche, das Schaukeln eines Kindes auf einem Spielplatz, das Schwingen einer Gitarrensaite oder das Bewegen des Zeigers eines Metronoms u. v. m.


Abb. 2.1


Abb. 2.2


Abb. 2.3 Metronom

2.1.1 HARMONISCHE SCHWINGUNGEN

Eine Schwingung beginnt mit einer Auslenkung aus der Ruhelage (stabile Gleichgewichtslage). Die Bewegung geht in eine Richtung bis zum Umkehrpunkt, in die Gegenrichtung bis zum nächsten Umkehrpunkt und wieder in die Ruhelage zurück. Das versteht man unter einer **vollen Schwingung**. Die maximale Auslenkung wird als **Amplitude** bezeichnet.

Überträgt man diese Bewegung in ein Koordinatensystem, in dem man die momentane Auslenkung (der Ort, an dem sich der Körper befindet) in Abhängigkeit der Zeit darstellt, so erhält man nebenstehende Kurve (Abb. 2.4).

Die Zeit, die ein Körper für eine volle Schwingung braucht, wird **Schwingungsdauer T** genannt. Der Kehrwert der Schwingungsdauer ist die **Frequenz f**. Sie gibt die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde an.

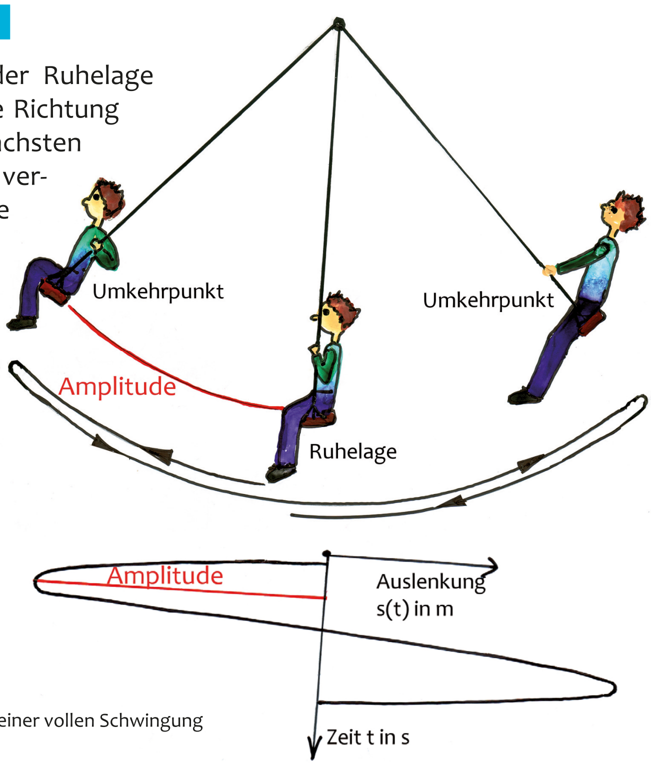

Abb. 2.4 Darstellung einer vollen Schwingung

Frequenz	Symbol	Einheit	Bezeichnung/Definition
$f = \frac{1}{T}$	f	Hz (Hertz) $1\,Hz = \frac{1}{s}$	Kehrwert der Schwingungsdauer – Die Frequenz gibt die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde an.
	T	s	Schwingungsdauer

EXPERIMENT 1

1 **Naturwissenschaftliche Fragestellung:** Abhängigkeit der Frequenz eines Fadenpendels von Pendellänge und Masse

2 **Versuchsbeschreibung**

2.1 **Liste der Materialien:** Stativ, Schnüre in verschiedenen Längen, verschiedene Massestücke (z. B. 10 g, 100 g, …), Stoppuhr

2.2 **Durchführung:** Lassen Sie das Pendel bei jeder Messung ungefähr 5 bis 10 Mal hin und her schwingen. Messen Sie die Gesamtzeit und dividieren Sie diese durch die Anzahl der vollen Schwingungen.
Dann erhalten Sie eine durchschnittliche Schwingungsdauer und die dazugehörige Frequenz.
Achten Sie bitte unbedingt darauf, die maximale Auslenkung immer gleich (relativ klein) zu wählen!

- Wählen Sie Schnüre unterschiedlicher Längen. Verwenden Sie nur ein bestimmtes Massestück. Erstellen Sie eine Tabelle, in der Sie die Schwingungsdauer bei unterschiedlichen Pendellängen notieren.
- Wählen Sie unterschiedliche Massestücke. Verwenden Sie nur eine Schnur. Erstellen Sie eine Tabelle, in der Sie die Schwingungsdauer mit unterschiedlichen Massen notieren.

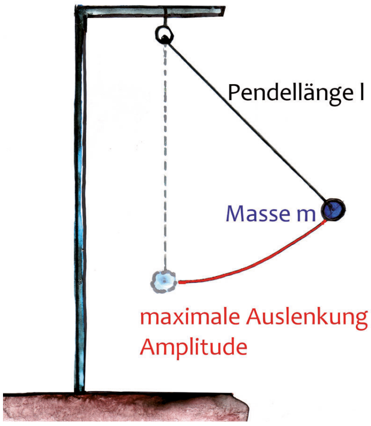

Abb. 2.5 Fadenpendel

3 **Ergebnis**

3.1 **Auswertung:** Welche Veränderungen konnten Sie feststellen?
Masseänderung bei gleichbleibender Länge:

Die Schwingungsdauer ändert sich ______________________________.
Längenänderung bei gleichbleibender Masse:

Die Schwingungsdauer ändert sich ______________________________.

3.2 **Interpretation**
Die Schwingungsdauer eines Fadenpendels hängt von ____________________ ab.

Je _________________________, desto ________________ die Schwingungsdauer.

Je _________________________, desto ________________ die Schwingungsdauer.

4 **Weiterführende Fragestellungen:** Überlegen Sie, welche Rolle die Auslenkung dabei spielen könnte. Experimentieren Sie mit verschieden großen Auslenkungen und notieren Sie die Unterschiede in der Schwingungsdauer. Unter welchen Umständen gelten die oben formulierten Zusammenhänge?

Lösung: ____

Näherungsweise gilt also für die Schwingungsdauer eines Fadenpendels:

Frequenz	Symbol	Einheit	Bezeichnung/Definition
$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$	T	s	Schwingungsdauer
	l	m	Länge des Pendels
	g	$\frac{m}{s^2}$	Erdbeschleunigung
	Dieser Zusammenhang gilt näherungsweise nur für kleine Auslenkungen.		

Eine weitere wichtige Art von Pendel untersuchen wir im nächsten Experiment.

EXPERIMENT 2

1 **Naturwissenschaftliche Fragestellung:** Abhängigkeit der Schwingungsdauer eines Federpendels von Beschaffenheit der Feder, Federlänge und Masse

2 **Versuchsbeschreibung**

2.1 **Liste der Materialien:** ein Stativ, verschiedene Massestücke, Federn verschiedener Stärke, Stoppuhr, Filzstift, Blatt Papier

2.2 **Durchführung:** Messen Sie jeweils die Zeit, die das Pendel für fünf volle Schwingungen braucht, und dividieren Sie das Ergebnis durch fünf. Sie erhalten die durchschnittliche Dauer für eine volle Schwingung.

- Wählen Sie eine bestimmte Feder. Lenken Sie die Feder aus der Ruhelage aus und messen Sie die Länge der maximalen Auslenkung. Lenken Sie jetzt das Pendel unterschiedlich stark aus. Notieren Sie jeweils die Schwingungsdauer.
- Wählen Sie verschiedene Federn. Versuchen Sie, das Pendel immer gleich weit auszulenken. Notieren Sie jeweils die Schwingungsdauer.
- Verwenden Sie unterschiedlich starke Federn. Notieren Sie jeweils die Schwingungsdauer. Die maximale Auslenkung sollte immer gleich sein.

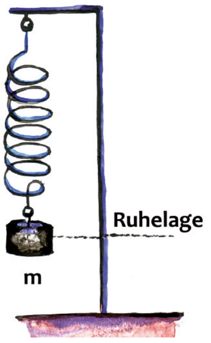

Abb. 2.6 Federpendel

3 **Ergebnis**

3.1 **Auswertung:** Wenn Sie die maximale Auslenkung verändern, dann bleibt die Schwingungsdauer a) gleich, b) wird kürzer oder c) wird länger: ____________________

Wenn Sie eine andere Feder nehmen, dann bleibt die Schwingungsdauer a) gleich oder b) ändert sich: ________________

Wenn Sie eine andere Masse an der Feder befestigen, dann bleibt die Schwingungsdauer a) gleich oder b) ändert sich: ______________________________

Bleibt die maximale Auslenkung während der fünf Schwingungen immer gleich? _______________

Ermitteln Sie in einer Spalte jeweils die Periodendauer T und die Frequenz f.
Offensichtlich hängt die Frequenz nicht von der Auslenkung ab, wohl aber von der Beschaffenheit der Feder und der Masse.
Die Auslenkung wird im Laufe der Zeit geringer, die Frequenz ändert sich aber nicht.
An welche Funktionen erinnert Sie die Grafik, die Sie auf dem Papierstreifen sehen?
Überlegen Sie, was der Grund dafür sein könnte, dass die Auslenkung mit der Zeit abnimmt.

3.2 **Zusammenfassung:** Wenn die Feder in Ruhe ist, wird auf die Masse keine Kraft ausgeübt. Wird allerdings die Masse aus der Ruhelage gebracht, dann wirkt auf die Masse eine rücktreibende Kraft.
Das Hooke'sche Gesetz besagt, dass die Kraft $F = -k \cdot x$ von der Feder auf die Masse wirkt. (x ... Auslenkung in m; k ... Federkonstante – ein Maß für die Stärke der Feder) – siehe **Kompetenzmodul 6** im III. Jahrgang, ***6.4.1 Arbeit und Energie*** in ***Naturwissenshaften HAK III***

Schwingungen, deren **Weg-Zeit-Diagramm** eine **Sinus- oder Cosinuskurve** ist, nennt man **harmonische Schwingungen**.
Die Gesetze der harmonischen Schwingung können mit Hilfe einer Kreisbewegung mathematisch formuliert werden.

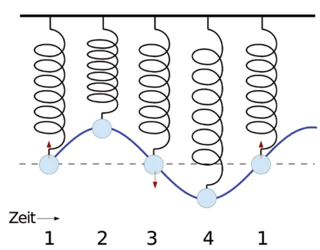

Abb. 2.7 Darstellung der Schwingung eines harmonischen Oszillators am Beispiel eines Federpendels

EXPERIMENT 3

1 **Naturwissenschaftliche Fragestellung:** Projektion einer Kreisbewegung auf eine harmonische Schwingung und grafische Darstellung

2 **Versuchsbeschreibung**

2.1 **Liste der Materialien:** ein Drehteller, ein kleiner Zylinder/Stab/Baustein, eine Lampe und eine weiße Wand, auf die projiziert werden kann

2.2 **Durchführung:** Bauen Sie das Experiment laut Skizze (Abb. 2.8) auf. Starten Sie mit dem Schatten des Zylinders in der Mitte. Drehen Sie den Drehteller mehrmals im Kreis und beobachten Sie den Schatten.

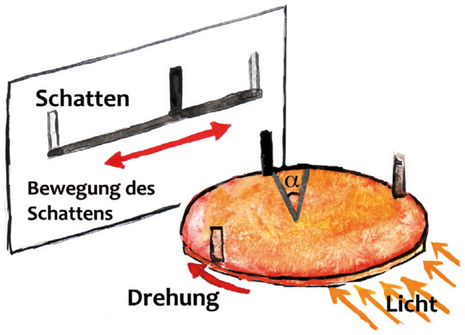

Abb. 2.8 Versuchsanordnung

3 **Ergebnis**

3.1 **Auswertung:** Fassen Sie die Schattenbewegung zusammen.

Während einer halben Drehung (180° = π) bewegt sich der Schatten ________________ ________________.

Während einer vollen Drehung (360° = 2π) bewegt sich der Schatten ________________ ________________.

Dreht sich der Teller um 90° = $\frac{\pi}{2}$, dann bewegt sich der Schatten ________________ ________________.

3.2 **Interpretation:** Übertragen Sie die Bewegung des Schattens als Schwingung in untenstehendes Koordinatensystem (Abb. 2.9).

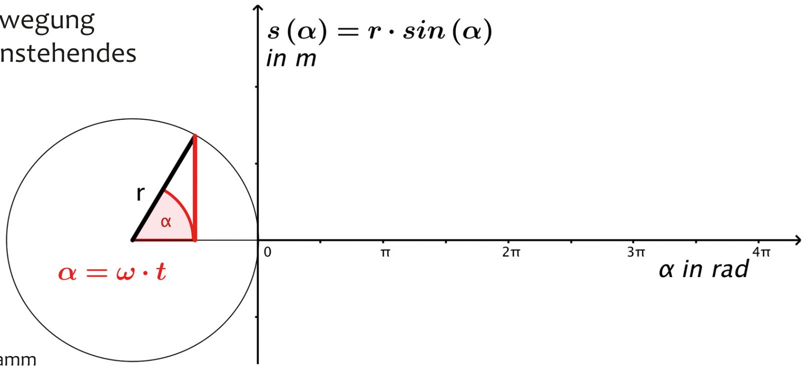

Abb. 2.9 Weg-Zeit-Diagramm

Für die Kreisbewegung gilt:

Winkelgeschwindigkeit	Symbol	Einheit	Bezeichnung
$\omega = \dfrac{\text{voller Winkel}}{\text{Dauer einer Umdrehung}} = \dfrac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f$	ω	$\frac{1}{s}$	Winkelgeschwindigkeit, Kreisfrequenz
	T	s	Dauer einer Umdrehung
	f	Hz	Frequenz

Falls Sie bei Ihrem Experiment ungefähr nebenstehende Abbildung (Abb. 2.10) erhalten haben, haben Sie Ihre Sache wirklich sehr gut gemacht.

In der Grafik wurde auf der x-Achse der Winkel α in Radianten angegeben. Da aber der Winkel α = ω · t ist, kann die harmonische Schwingung als Funktion der Zeit dargestellt werden. Somit ist der zurückgelegte Weg s in Abhängigkeit der Zeit gegeben durch:

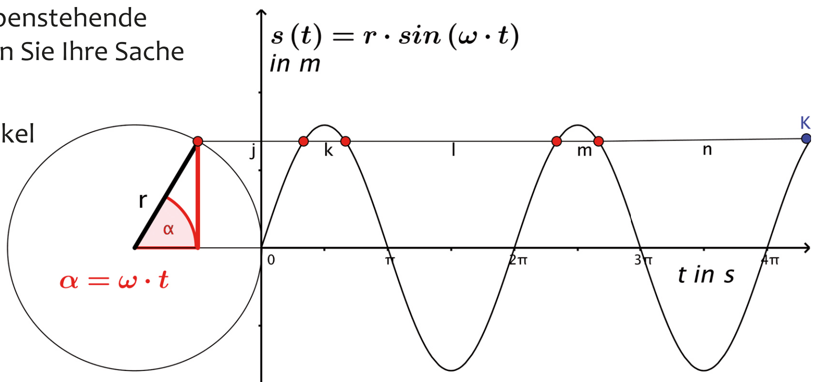

Abb. 2.10 Weg-Zeit-Diagramm einer harmonischen Schwingung

$$s\,(t) = r \cdot \sin\,(\omega \cdot t)$$

Größen	Einheit	Bezeichnung
s(t)	m	momentane Auslenkung
t	s	Zeitpunkt
r	m	maximale Auslenkung = Amplitude
ω	$\frac{1}{s}$	Winkelgeschwindigkeit; es gilt: $\omega = 2\pi \cdot f$
f	Hz	Frequenz

LEXIKON

Ein schwingungsfähiges System bezeichnet man als **Oszillator**. Beispiele dafür sind das Fadenpendel, das Federpendel, eine Schaukel, eine Gitarrensaite und unser Herz (siehe **Interessantes** und **Forschungsauftrag 1**).

INTERESSANTES

Ein für uns lebenswichtiges schwingungsfähiges System ist unser **Herz**. Es führt periodische Bewegungen aus, um Blut durch unseren Körper zu pumpen. Im Ruhezustand schlägt das gesunde Herz ca. 50 bis 80 Mal pro Minute und pumpt dabei unser Blut einmal durch den Körper.
Bei einem **gesunden Menschen** führt jeder Herzschlag zu einem Blutausstoß und löst gleichzeitig eine Druckwelle aus. Die Gefäße beginnen sich rhythmisch auszudehnen und wieder zusammenzuziehen. Man spricht von einer **Pulswelle** oder vereinfacht vom Puls.
Unter hoher Belastung, wenn das Herz sehr schnell schlägt, oder bei bestimmten Herz-Kreislauf-Erkrankungen kann es kann es vorkommen, dass nicht jeder Herzschlag eine Pulswelle auslöst. In diesen Fällen stimmen Herz- und **Pulsfrequenz** nicht mehr überein.
(In **Forschungsauftrag 1** bestimmen Sie die Frequenz, mit der sich Ihre Gefäße verengen und wieder entspannen – Ihre Pulsfrequenz.)

FORSCHUNGSAUFTRAG 1

1. Bestimmen Sie Ihre Pulsfrequenz. Sie benötigen dazu nur eine Stoppuhr.
   a) Den Puls können Sie am Handgelenk (an der Radialis-Arterie) ertasten oder an der Halsschlagader. Zählen Sie die Anzahl der Schläge pro Minute.
   b) Ermitteln Sie aus dieser Zahl die Periodendauer T (in Sekunden) und die Frequenz f (in Hertz) Ihres Pulses.
2. Recherchieren Sie im Internet Normwerte und vergleichen Sie diese mit Ihrer eigenen Pulsfrequenz.
3. Notieren Sie im Laufe eines Tages bei verschiedenen Tätigkeiten Ihre Pulswerte und lassen Sie Klassenkolleginnen und -kollegen die Tätigkeiten erraten.

Energie eines harmonisch schwingenden Körpers

Wiederholung aus *Kompetenzmodul 6* des III. Jahrgangs (Kapitel *6 Arbeit, Energie und Leistung* in *Naturwissenschaften HAK III*)

ARBEITSAUFTRAG 1

Ergänzen Sie den nachstehenden Lückentext. Verwenden Sie die in alphabetischer Reihenfolge angegebenen Wörter (– Mehrfachverwendung möglich).

abgeschlossenen • am höchsten • Energie • Energieformen • Gesamtenergie • Null • kinetische • kinetischer • potentieller • potentielle • System

Abb. 2.11

Energieerhaltungssatz:

In einem ____________________ bleibt der Betrag der ____________________ konstant. Verschiedene ____________________ können ineinander umgewandelt werden.

In der Mechanik bedeutet das, dass die Summe aus ____________________ und ____________________ Energie ____________________ konstant bleibt.

Bezogen auf nebenstehendes Bild (Abb. 2.11) bedeutet das:

Am höchsten erreichbaren Punkt der Schaukel ist die potentielle Energie ____________________ und die kinetische Energie ist ____________________. Beim Durchgang durch den tiefsten Punkt ist die kinetische Energie ____________________ und die potentielle Energie ist ____________________. Auf dem Weg nach oben nimmt die ____________________ zu und die ____________________ ab. Auf dem Weg nach unten ist es ____________________.

Die Gesamtenergie der Schwingung eines harmonischen Pendels ist die Summe aus potentieller und kinetischer Energie:

$$E = E_{pot} + E_{kin}$$

Für die Energie eines harmonischen Oszillators gilt (Herleitung für Interessierte im Anhang, S. 180):

Energie eines harmonischen Oszillators	Symbol	Einheit	Bezeichnung/Definition
$E = 2\pi^2 \cdot m \cdot f^2 \cdot r^2$	m	kg	Masse
	f	Hz	Frequenz
	r	m	Amplitude

Beachten Sie: Die Energie eines schwingenden Körpers hängt vom **Quadrat** der Frequenz und vom **Quadrat** des Radius ab! Verdoppeln Sie beispielsweise die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde (der Frequenz), so vervierfachen Sie die Energie!

2.1.2 GEDÄMPFTE SCHWINGUNG, ERZWUNGENE SCHWINGUNG

Gedämpfte Schwingung

EXPERIMENT 4

1 **Naturwissenschaftliche Fragestellung:** Auswirkung einer Dämpfung auf die Amplitude einer Schwingung

2 **Versuchsbeschreibung**

2.1 **Liste der Materialien:** Stativ, Feder, Massestück, mit Wasser gefüllter Glaszylinder (siehe Abb. 2.12)

2.2 **Durchführung:** Lassen Sie das Federpendel einmal an der Luft schwingen und beobachten Sie die maximale Auslenkung.
Lassen Sie das Federpendel vorsichtig im mit Wasser gefüllten Glaszylinder schwingen.

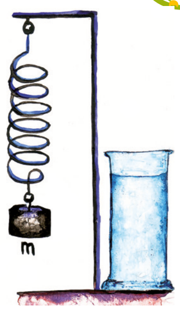

Abb. 2.12 Versuchsanordnung

3 **Ergebnis und Interpretation:** An der Luft nimmt die Amplitude ____________________ ab. Die Schwingung erfolgt nahezu ungedämpft.

Im Wasser nimmt die Amplitude ____________________ ab.

Durch Reibung an Luft oder Wasser wird Schwingungsenergie in die Luft oder an das Wasser abgegeben. Dadurch nimmt die Amplitude der Schwingung ab (siehe Energie eines harmonisch schwingenden Oszillators, oben). Je stärker die Dämpfung ist, desto rascher nimmt die Amplitude ab.

Erzwungene Schwingung

Da eine gedämpfte Schwingung Energie an die Umgebung abgibt, muss dem System Energie zugeführt werden, um die Schwingung aufrecht zu erhalten.

Das kann beispielsweise geschehen, indem das Massestück am Fadenpendel regelmäßig angestoßen wird – so wie z. B. ein Kind auf einer Schaukel immer wieder angetaucht werden muss, damit die Schaukel nicht zum Stillstand kommt.

Die Frequenz, mit der ein Pendel angeregt wird, nennt man **Anregungsfrequenz** oder **Erregerfrequenz**.

EXPERIMENT 5

1 **Naturwissenschaftliche Fragestellung:** Frequenz und Amplitude eines Federpendels bei unterschiedlichen Erregerfrequenzen

2 **Versuchsbeschreibung**

2.1 **Liste der Materialien:** Stativ zum Aufhängen der Rolle, Elektromotor mit Extender, Federpendel mit Massestück (siehe Abb. 2.13)

(Falls Sie keinen Elektromotor mit Extender zur Verfügung haben, können Sie das Pendel in die Hand nehmen und die verschiedenen Fälle durch Schwingungen mit der Hand ausführen.)

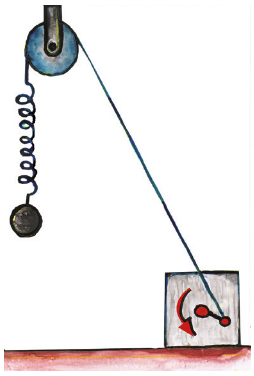

Abb. 2.13 Versuchsanordnung

2.2 **Durchführung:** Starten Sie das Experiment damit, dass Sie bei ausgeschaltetem Motor das Pendel einmal anregen und dann frei schwingen lassen. Achten Sie dabei auf die Frequenz des Pendels. Diese Frequenz nennt man **Eigenfrequenz** des Pendels.

Wählen Sie mit Hilfe des Motors

- eine Frequenz, die höher ist als die Eigenfrequenz,
- eine Frequenz, die niedriger ist als die Eigenfrequenz,
- eine Frequenz, die genau der Eigenfrequenz des Pendels entspricht. (Vorsicht in diesem Fall!)

Beobachten Sie, wie sich die Amplitude des Federpendels in den letzten drei unterschiedlichen Fällen verhält.

3 **Ergebnis:** Erstellen Sie eine Tabelle, in der Sie Ihre Ergebnisse in folgender Form zusammenfassen:

Ist die Erregerfrequenz höher als die Eigenfrequenz, dann schwingt das Federpendel

______________________________, die Amplitude ist ______________________________.

Ist die Erregerfrequenz niedriger als die Eigenfrequenz, dann schwingt das Federpendel

______________________________, die Amplitude ist ______________________________.

Ist die Erregerfrequenz gleich der Eigenfrequenz, dann schwingt das Federpendel

______________________________, die Amplitude ist ______________________________.

In diesem (letztgenannten) Fall spricht man von **Resonanz**.

Zusammenfassung des Experimentes

Wenn ein Oszillator (schwingungsfähiges System, z. B. das Federpendel) einmal kurz angeregt wird, dann schwingt er mit einer von seinen mechanischen Eigenschaften bestimmten Frequenz und Amplitude. Diese Schwingung nennt man **Eigenschwingung** und die dazugehörige Frequenz **Eigenfrequenz**.

Wird auf einen Oszillator von außen eine periodische Kraft ausgeübt (im Experiment durch den Motor oder Sie selbst), dann schwingt er nach einer kurzen **Einschwingzeit** mit

- der Frequenz des Erregers, wenn diese sehr viel kleiner als die Eigenfrequenz ist,
- mit gegensinnig kleinerer Amplitude, wenn die Erregerfrequenz sehr viel größer als die Eigenfrequenz ist,
- sehr großer Amplitude, wenn die Erregerfrequenz ungefähr der Eigenfrequenz entspricht – **Resonanz**.

Wenn das Pendel nur gering gedämpft ist, kann es im Resonanzfall zur sogenannten **Resonanzkatastrophe** führen. Die Resonanzkatastrophe kann das schwingungsfähige System zerstören. Beispielsweise kann eine Brücke durch im Gleichschritt marschierende Soldaten zum Einsturz gebracht werden.

INTERESSANTES

Am 18. April 1831 marschierten mehrere Gruppen Soldaten über die Broughton Suspension Bridge. Eine Gruppe von 70 Soldaten bemerkte das leichte Schwingen der Brücke und die Geschichte erzählt, dass einige der Soldaten begannen, ein Lied zu singen und im Takt zum Lied und zu den Schwingungen der Brücke zu marschieren. Die ersten hatten das andere Ufer schon erreicht, als die Brücke mit einem lauten Knall in den Fluss stürzte. Es gab zum Glück nur Verletzte.

Abb. 2.14 Broughton Suspension Bridge (1883)

Sehr ähnlich der Resonanzkatastrophe ist die **selbsterregte Schwingung**. Dazu ist es **nicht erforderlich**, dass die Anregung periodisch mit der Eigenfrequenz erfolgt. Für eine selbsterregte Schwingung muss nur eine Energiequelle vorhanden sein, aus der das System im Takt seiner Eigenfrequenz Energie entnehmen kann. Auch das kann zur Katastrophe führen. Das berühmteste Beispiel ist wohl das der Tacoma Bridge in Washington, die am 7. November 1940 einstürzte.

Abb. 2.15 Einsturz der Tacoma-Narrows-Brücke (1940)

Die Hängebrücke war für ihre Schwingungen bekannt und war eine Touristenattraktion. Je nach Windstärke unterschieden sich Frequenz und Amplitude der Brückenschwingungen. Am Tag des Einsturzes wurden durch Wind Wirbel unter der Brücke erzeugt, die die Brücke anders schwingen ließen.

Heute wird beim Bau von hohen Gebäuden darauf geachtet, dass weder Resonanz noch selbsterregte Schwingungen zu Katastrophen führen (siehe **Forschungsauftrag 2**).

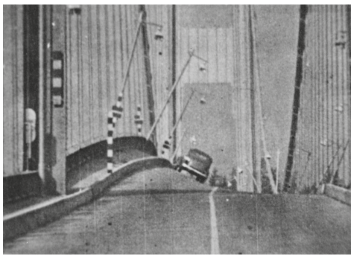

Abb. 2.16 Tacoma-Narrows-Brücke (1940)

FORSCHUNGSAUFTRAG 2

1. Suchen Sie im Internet ein Video, das den Einsturz der Tacoma Bridge zeigt.
2. Suchen Sie Videos, die Gebäudeschwingungen zeigen.
3. Recherchieren Sie im Internet, welche Maßnahmen getroffen werden, um Bauwerke vor Resonanzkatastrophen oder Zerstörung durch eine selbsterregte Schwingung zu schützen.
   Nützliche Suchbegriffe:
   „gefährliche Resonanz“ • „Gebäudeschwingungen“ • „erdbebensichere Gebäude“ • „Tilgerpendel“

Sehr viele Systeme besitzen mehr als eine Eigenfrequenz.

EXPERIMENT 6

1 **Naturwissenschaftliche Fragestellung:** Anzahl der Eigenschwingungen eines Systems

2 **Versuchsbeschreibung**

2.1 **Liste der Materialien:** zwei schwere Stative, vier Federpendel, drei kleine Massestücke

2.2 **Durchführung:** Befestigen Sie drei zusammengehängte (gekoppelte) Federpendel mit Massestücken zwischen zwei Stativen, wie in Abb. 2.17 ersichtlich.

Bringen Sie diese drei gekoppelten Federpendel auf verschiedene Arten zum Schwingen (siehe Abb. 2.17).

Befestigen Sie jetzt vier gekoppelte Federpendel (siehe Abb. 2.18) zwischen den Stativen und zählen Sie die Anzahl der möglichen Eigenschwingungen.

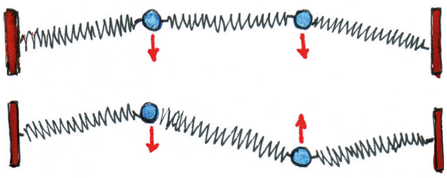

Abb. 2.17 Drei gekoppelte Federpendel

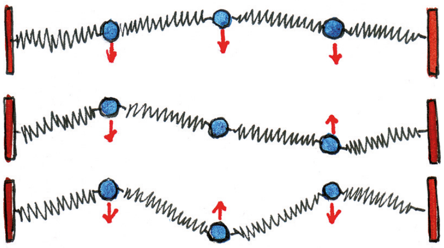

Abb. 2.18 Vier gekoppelte Federpendel

3 **Ergebnis und Interpretation:** Mit steigender Anzahl der Federpendel steigt auch die Anzahl der Eigenschwingungen und damit auch der Eigenfrequenzen.

Offensichtlich bleiben verschiedene Teile der gekoppelten Pendel in Ruhe. Diese ruhenden Punkte nennt man **Schwingungsknoten**. Der sich bewegenden Teil zwischen zwei Schwingungsknoten wird **Schwingungsbauch** genannt.

4 **Weiterführende Fragestellungen:** Welche Rolle könnten Schwingungsknoten und Schwingungsbäuche beim Musizieren mit einer Gitarre spielen?

Ein Seil oder eine Gitarrensaite besitzt sehr viel mehr Eigenschwingungen als die gekoppelten Federpendel.

Beim Zupfen einer Gitarrensaite wird diese zu Schwingungen angeregt.

Die unterste Schwingung wird **Grundschwingung** genannt. Sie hat, außer an den Enden, keine Knoten und nur einen Bauch. Alle anderen Schwingungen heißen **Oberschwingungen**. Alle Frequenzen der Oberschwingungen sind immer ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz f.

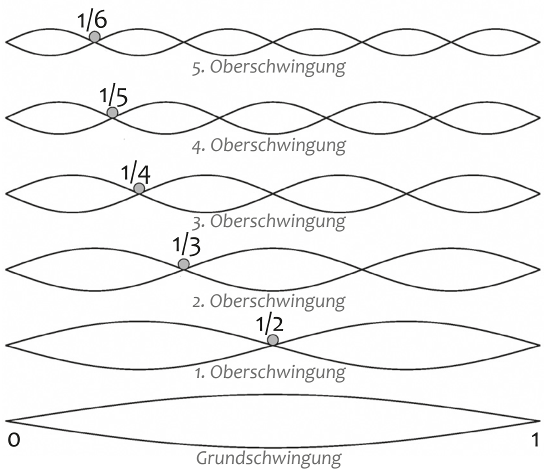

Abb. 2.19 Schwingungsmoden einer Saite, Grund- und Oberschwingungen

ARBEITSAUFTRAG 2

Füllen Sie nachstehenden Lückentext aus und verwenden Sie folgende Wörter (es sind überflüssige Wörter dabei, manche Wörter werden mehrfach benötigt):

Amplitude • Auslenkung • Cosinus • Eigenfrequenz • Erregerfrequenz • Frequenz • Grundschwingung • halbe • harmonische • Hertz • höchstens • Masse • maximale • mindestens • minimale • mittlere • Oberschwingung • Oszillator • Periodendauer • Resonanz • Sekunde • Sinus • Tangens • vollständige

Ein schwingungsfähiges System nennt man einen ____________________. Wenn eine Schwingung als ____________________- oder ____________________funktion dargestellt werden kann, so nennt man sie eine harmonische Schwingung. Wichtige Größen zur Beschreibung von Schwingungen sind ____________________, ____________________ und ____________________. Die ____________________ gibt an, wieviel Zeit eine ____________________ Schwingung benötigt. Die ____________________ ist der Kehrwert der Periodendauer, gibt die Anzahl der Schwingungen pro ____________________ an und wird in ____________________ gemessen. Die Amplitude gibt die ____________________ Auslenkung an.

Die Energie einer harmonischen Schwingung hängt von ____________________, ____________________ und ____________________ ab.

Um eine Schwingung aufrecht zu erhalten, muss ständig Energie zugeführt werden. Jedes System besitzt ____________________ eine **Eigenfrequenz**. In Abhängigkeit der ____________________ kann die Amplitude verkleinert oder vergrößert werden. ____________________ tritt auf, wenn die Erregerfrequenz gleich der Eigenfrequenz des Oszillators ist. Jedes schwingungsfähige System besitzt eine Reihe verschiedener Eigenfrequenzen. Die Frequenz einer ____________________ ist immer ein ganzzahliges Vielfaches der ____________________.

ARBEITSAUFTRAG 3

Überprüfen Sie die Lernziele am Kapitelanfang und kreuzen Sie die Ihrem Lernerfolg entsprechenden Kästchen an.