

Arbeitsblätter

MECHANIKUM

| Inhaltsverzeichnis | Seite | |
|--|-----------|--------------------|
| Tipps für einen Schulbesuch..... | 1 | |
| Übersichtsplan Sektor Mechanikum..... | 2 | Exponat Nr. |
| Schwingungen | 3 | |
| 3-Zeiten-Pendel | 3 | 1 |
| Schwingungsdauer | 4 | 2 3 4 5 6 |
| Gedämpfte Pendelschwingung..... | 4 | 7 |
| Resonanzpendel | 5 | 2 |
| Wellen..... | 6 | |
| Federwellen (Sekundarstufe I) | 6 | 8 |
| Federwellen (Sekundarstufe II) | 8 | 8 |
| Schall wird sichtbar | 9 | 9 |
| Maxwell-Rad | 9 | 10 |
| Velokreisel | 10 | 11 |
| Begriffe..... | 12 | |
| Antworten..... | 13 | |

Tipps für einen Schulbesuch

Für Lehrer(in):

Allgemeine Hinweise für einen Technorama-Besuch

- Für die Phänomene, die die Schüler und Schülerinnen am meisten interessieren, sollen sie sich Zeit nehmen. (Man kann sich bei einem Besuch nicht allen Versuchen intensiv widmen.)
- Es gilt vor allem, nach eigenen Erklärungen zu suchen und sie am Experiment zu überprüfen.

Bemerkungen zu den Fragen in diesen Arbeitsblättern sowie Tipps zur Einführung der Schüler

- Das Hauptziel der Arbeitsblätter besteht darin, Schülerinnen und Schüler zu genauem Beobachten anzusporren. Deshalb muss ihnen auch das Gefühl vermittelt werden, dass sie in ihren Erklärungen und Meinungen ernst genommen werden. Ob ihre Antworten richtig oder falsch sind, finden wir eher zweitrangig.
- Der Schwierigkeitsgrad der Fragen ist unterschiedlich. Es empfiehlt sich, eine gezielte Auswahl aus den Versuchen zu treffen.
- Die Lösungen zu den Aufgaben geben die Hintergründe zu den Versuchen nur sehr knapp wieder. Fachbücher geben tiefergehende Informationen.

Für Schüler(innen):

So geht's...

- Teilt euch bitte in kleine Gruppen zu zweit oder zu dritt auf.
- Geht durch die ganze Ausstellung MECHANIKUM und schaut euch erst einmal alles kurz an.
- Hier dürft und sollt ihr die Experimente anfassen, begreifen, ausprobieren und mit ihnen spielen.
- Für die Phänomene, die euch am meisten interessieren, solltet ihr euch Zeit nehmen. (Man kann sich bei einem Besuch nicht allen Versuchen intensiv widmen.)
- Es gilt vor allem, nach eigenen Erklärungen zu suchen und sie am Experiment zu überprüfen.
- Falls ihr Fragen oder Probleme habt, wendet euch bitte an eine(n) Betreuer(in) mit Technorama-Tshirt oder an eure/n Lehrer(in).

Wir danken der VTW (Vereinigung Technorama und Wirtschaft), für die grosszügige Unterstützung unseres Schulservices.

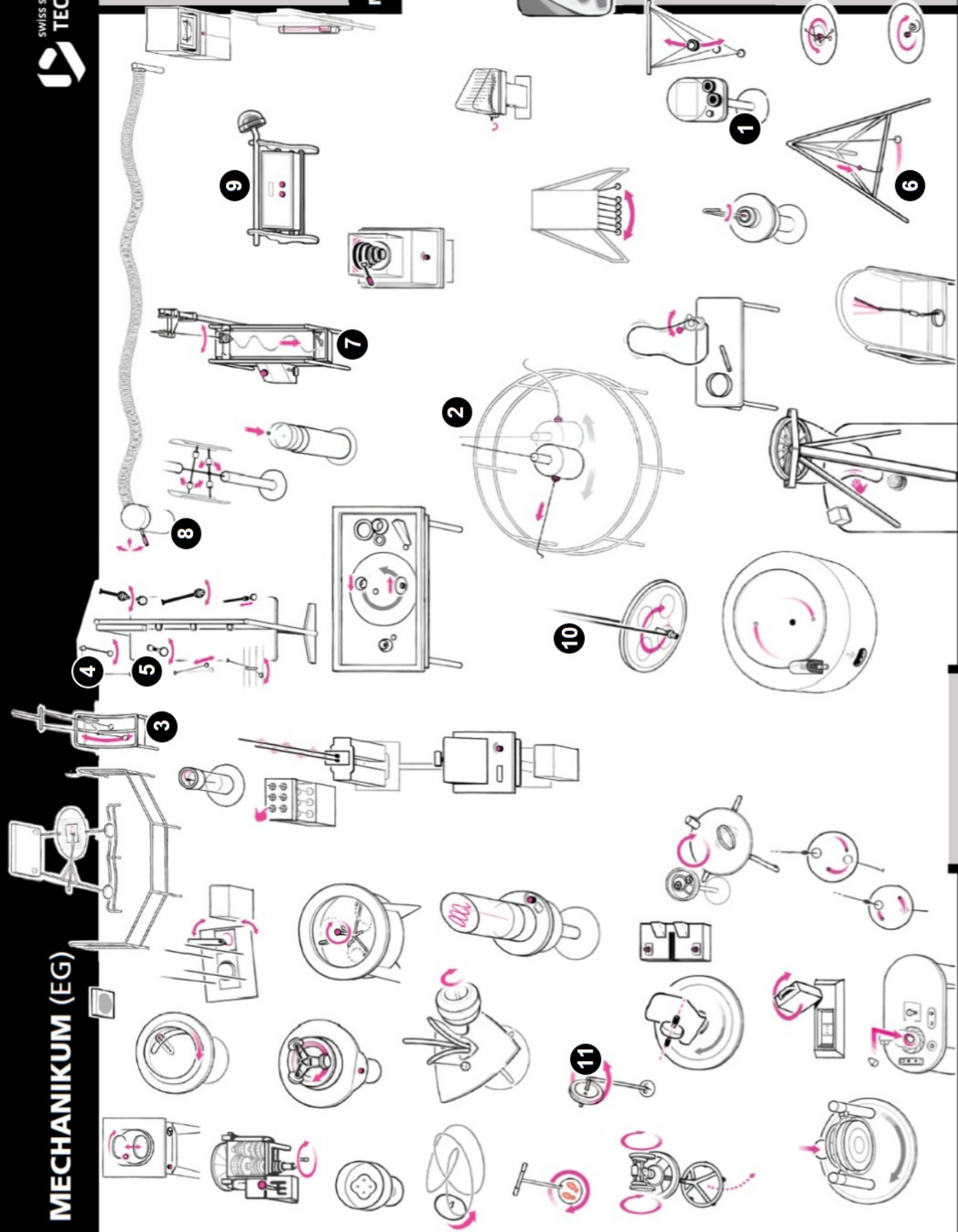
MECHANIKUM (EG)

A

B

C

D



1

2

3

4

5

6

7

Schwingungen

Schwingungen treten in vielen Bereichen des täglichen Lebens auf. Woran denkst du, wenn von Schwingungen die Rede ist?

Pendel sehen oft ganz verschieden aus und schwingen manchmal auch ganz unterschiedlich. Kümmern wir uns zuerst doch einmal um die Fadenpendel. Das sind die Pendel, bei denen ein Gewicht an einem oder mehreren Fäden, Schnüren, Seilen oder dünnen Stangen hängt.

Welche Unterschiede sind physikalisch bei diesen Pendeln wohl wirklich wichtig?

- a Wie sie geformt sind.
- b Wie lang sie sind.
- c Wie schwer sie sind.
- d Welche Farbe sie haben.
- e Wie lange sie für einmal hin und her brauchen.
- f Wie weit sie hin und her schwingen.
- g Aus welchem Material das Pendelgewicht gemacht ist.
- h _____

Die Entscheidung ist nicht leicht! Probieren geht über studieren!

① 3-Zeiten-Pendel

Hier kannst du schon einige Dinge genauer überprüfen.

Starte zwei Pendel mit gleicher Auslenkung. Gibt es einen Moment, an dem beide Pendel am gleichen Ort sind? _____ Versuche mindestens zwei Pendel im gleichen Takt schwingen zu lassen.

Am Textständer findest Du Zusatzgewichte. Kannst du den Gleichtakt mit den Gewichten erreichen?

Vielleicht bringt es einen Erfolg, die Pendel nicht gleichzeitig anzustossen?

Was könnte man noch versuchen, um die Pendel gleich schwingen zu lassen?

Wovon hängt die *Schwingungsdauer* eines Pendels also ab?

- a Von dem Gewicht des Pendels
- b Von der Länge des Pendels
- c Von dem Schwung, den ich dem Pendel zu Anfang gebe.

Schwingungen (Forts.)

Schwingungsdauer

Schwingungsdauer wird die Zeit genannt, die das Pendel braucht, um „wieder von vorne anzufangen“ – d.h. eine komplette Schwingung, also „hin“ und „zurück“, auszuführen.

Messe die Schwingungsdauer verschiedener Fadenpendel mit der Stoppuhr und trage die Werte ein:

Tipp: Die Messung wird viel genauer, wenn man die Dauer von 10 Schwingungen misst und diesen Wert dann durch 10 teilt.

| Exponat | Nr. | Dauer | Länge |
|-------------------------|-----|-------|--------|
| Resonanzpendel | ② | | 6.00 m |
| Gekoppeltes Fadenpendel | ③ | | 1.80 m |
| Uhrenpendel | ④ | | 0.50 m |
| Kurzes Pendel | ⑤ | | 0.25 m |
| Phasenpendel | ⑥ | | 2.00 m |

Fällt dir bei diesen Werten etwas auf?

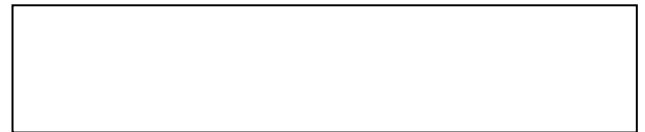
Schätze, wie lang ein Fadenpendel etwa sein müsste, damit die Schwingungsdauer 2 Sekunden wäre:

Haben doppelt so lange Pendel auch die doppelte Schwingungsdauer?

Oft betrachtet man in der Technik die Anzahl der vollständigen Schwingungen in einer Sekunde. Die Anzahl der vollständigen Schwingungen in einer Sekunde nennt man *Frequenz*.

7 Gedämpfte Pendelschwingung

Schwingungen kann man auch aufzeichnen. Genau dies kannst du hier ausprobieren: Am unteren Ende des Pendels befindet sich ein Trichter, aus dem langsam Sand auslaufen kann. Schaltest du das Laufband ein (rechten Regler drehen) und startest das Pendel, wird eine Sandkurve aufgezeichnet. Versuche sie nachzuzeichnen!



Stosse das Pendel erneut an. Was ändert der rechte Regler? Was geschieht bei anderer Geschwindigkeit?

Wie wirkt sich das auf die Sandkurve aus?

Mit Hilfe des linken Rads kann man das Paddel oben in die ölige Flüssigkeit eintauchen. Was ändert sich, wenn das Paddel eingetaucht ist?

Beobachten wir doch einmal die *Amplitude* des Pendels! Die *Amplitude* bezeichnet den Abstand des Pendels von der Mittelstellung (Ruhstellung) bis zum Umkehrpunkt. Drehe das Rad für das Paddel nun einmal ganz nach links. Beobachte es zehn vollständige Schwingungen lang! Wiederhole den Versuch mit der ganz rechten Radstellung. Vergleiche die Ergebnisse der beiden Experimente! Worin unterscheiden sich die Sandkurven? Das ANDERE Verhalten bei eingetauchtem Paddel wird durch *Dämpfung* verursacht.

(Für Interessierte: Auch ohne eingetauchtes Paddel ist das Pendel natürlich gedämpft (Reibung). Das kann man daran sehen, dass – auch wenn es recht lange dauert – das Pendel letztlich auch ohne zusätzliche Dämpfung in endlicher Zeit zum Stillstand kommt.)

Wellen

Wellen begegnen uns in unserem Leben auf vielfältige Weise: Im Wellenbad, als Grippewellen, Mikrowellen, Radiowellen, Meereswellen, Stosswellen, beim Wellenreiten und nicht zuletzt spricht man auch davon „mit jemandem die gleiche Wellenlänge zu haben.“

Was hat eigentlich eine Mikrowelle mit Wellenreiten gemeinsam? Oder das sommerliche Geplätsche im Wellenbad mit einem Radio oder Fernseher? Bei den nun folgenden Experimenten kannst Du dem Phänomen *Welle* auf die Spur kommen.

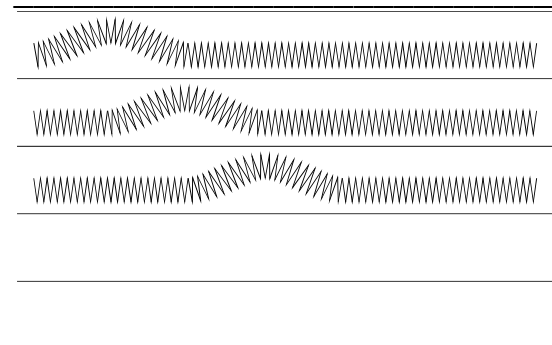
8 Federwellen (Sekundarstufe I) Erst läuft die Welle...

Mit diesem Versuch kannst du herausfinden, wie sich Wellen verhalten. Am besten suchst du dir einen Partner, mit dem du die Experimente gemeinsam machen kannst.

Bringt zunächst die Feder zur Ruhe. Sie soll sich auf der ganzen Länge nicht mehr bewegen. Einer

von euch stellt sich ca. 2 m von dem Hebel entfernt an die Feder und hält sie dort fest. Der andere lenkt den Hebel genau einmal aus. Wie empfindet derjenige an der Feder die aufgetretene Bewegung?

Was passiert? Folge mit deinen Augen der Wellenausbreitung. Beschreibe, was am befestigten Ende geschieht. Versuche das, was du beobachten kannst, in den unteren Bildern zu vervollständigen.



Schätze ab, was am schnellsten läuft:

- a ein schnell erzeugter Buckel
- b ein langsam erzeugter Buckel
- c ein Buckel mit kräftiger seitlicher Auslenkung
- d ein Buckel mit schwacher seitlicher Auslenkung
- e alle erzeugten Buckel laufen gleichschnell

und plötzlich steht sie...

Wenn du, statt nur einmal auszulenken, den Hebel regelmässig hin- und her bewegst, kannst Du eine gleichmässige Welle erzeugen. Es entsteht eine Welle, bei der die *Wellenbuckel* scheinbar still stehen und nur noch rhythmisch die Seiten wechseln. Diese Bereiche nennt man *Wellenbäuche*. Zwischen den Wellenbäuchen befinden sich

Stellen, die völlig in Ruhe bleiben, die *Wellenknoten*.

Dieses Phänomen nennt man *stehende Welle*. Was musst du tun, dass möglichst wenige Knoten auftreten?

Wie viele Wellenknoten kannst du ungefähr erzeugen?

In welche Richtung kann man den Hebel sonst noch bewegen?

Wellen (Forts.)

8 Federwellen (Sekundarstufe II)

Mit diesem Versuch kannst du herausfinden, wie sich Wellen verhalten können. Probiere zunächst aus, auf welche Weise der Hebel sich bewegen lässt. Versuche dann herauszufinden, welche Bewegungen du an der Feder anregen kannst.

1. _____
2. _____

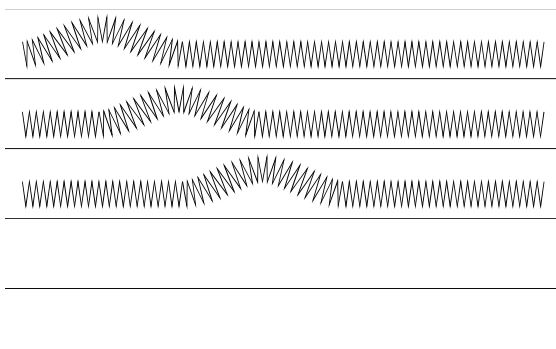
1) Die Bewegungen in Querrichtung (Transversalwelle)

Bringe zunächst die Feder zur Ruhe. Lenke den Hebel nun gezielt einmal nach rechts oder links aus. Verfolge den entstandenen Wellenbauch mit Deinen Augen.

In welche Richtung schwingt die Feder?

Was geschieht, wenn die Welle das befestigte Ende der Feder erreicht hat?

Versuche das, was du gesehen hast in den unteren Bildern zu vervollständigen.



Behält der Wellenbauch seine Form bei?

Warum?

Bisher hast du die laufende Welle beobachtet. Um einem anderen Phänomen auf die Spur zu kommen, kannst du versuchen, den Hebel regelmässig hin und her zu bewegen.

Bei entsprechender Anregung kannst du eine Welle erzeugen, bei der die Wellenbuckel nicht mehr wandern, sondern nur noch rhythmisch die Seiten wechseln. Zwischen den Wellenbäuchen befinden sich die Wellenknoten, die in Ruhe verharren. Dieses Phänomen nennt man stehende Welle.

Was musst du tun, dass nur wenige Wellenknoten auftreten?

Wie viele Wellenknoten kannst du ungefähr erzeugen?

Das Phänomen der Transversalwellen tritt z. B. bei elektromagnetischen Wellen auf.

2) Die Bewegungen in Längsrichtung (Longitudinalwelle)

Suche dir zunächst einen Partner und bring die Feder erneut zur Ruhe. Einer von euch hält seine Hand ca. 2 m hinter dem Federanfang zwischen die Federwindungen. Schiebt den Hebel einmal in Richtung der Feder (Impuls) und beobachtet mit den Augen den Verlauf der sich ausbreitenden Störung.

Was kann derjenige, der seine Hand zwischen die Federwindungen hält, nun sehen und fühlen?

Wellen (Forts. "Federwellen - Sekundarstufe II)

Was geschieht am befestigten Ende der Feder?

Diese Art der Impulsübertragung verursacht, dass beim Eintreffen der Wellenfront die Windungsabstände enger und enger werden. Dies bezeichnet man als *Kompression*, weshalb Longitudinalwellen auch als *Kompressionswellen* bezeichnet werden. Vor und hinter der Stauung sind die Windungsabstände grösser (Verdünnung).

Auch hier kann man stehende Wellen erzeugen – es ist aber erheblich schwieriger. Die Anzahl der Knoten kann hierbei Dein Partner besser zählen.

Beispiele für Longitudinalwellen sind Schallwellen und manche Erdbebenwellen.

9 Schall wird sichtbar

Hast du dir schon einmal überlegt, wie Sprache oder Musik (also akustische Wellen) von deinem Körper wahrgenommen wird? Vielleicht kennst du das Gefühl, bei sehr tiefen, lauten Tönen, die Musik mit dem Bauch zu hören? Wie nehmen Gehörlose eigentlich Musik wahr?

Versuche - sehr einfach - zu beschreiben, was mit deinem Körper bzw. Trommelfell passiert, wenn dich Schallwellen erreichen:

In unserem Experiment „Schall wird sichtbar“ können wir die Wirkung von Schallwellen auf Gegenstände sichtbar machen. Der Lautsprecher sendet Schallwellen aus, die sich im Glasrohr zu einer stehenden Welle aufbauen (siehe Versuch „Federwellen“). Die dabei entstehenden Druckschwankungen in der Luft des Rohres lassen an manchen Stellen Fontänen aufsteigen.

Notiere in der Tabelle einige Frequenzen, bei denen Fontänen entstehen und eine, bei der die Flüssigkeit in Ruhe bleibt!

| Frequenz in Hertz | Fontänen (ja/nein) |
|-------------------|--------------------|
| | |
| | |
| | |
| | |

Nehmt zu zweit einen Papierstreifen und legt ihn auf das Glasrohr:



Tragt bei einer Frequenz die Fontänen ein. Was geschieht zwischen den Fontänen?

Nun wählt einen anderen Frequenzbereich. Wo werden die Fontänen jetzt gebildet? Tragt mit einer anderen Farbe auf dem Papiermessstreifen ein.

Was kannst du bei der Veränderung der Lautstärke feststellen?

Wellen (Forts.)

10 Maxwell-Rad

Was geschieht, wenn du ein Jojo laufen lässt? Genau dies kannst du hier an unserem Exponat erleben. Viele Spielsachen funktionieren nach diesem Prinzip, nicht nur das weithin bekannte Jojo, sondern auch turnende Akrobaten aus Holz, Papageien, etc...

Rolle das Rad, vielleicht gemeinsam mit einem Freund, ein grosses Stück aufwärts.

Markiert diese Stelle mit einer Klammer. Nun lass das Rad los und beobachte. Nach jeweils 5 Auf- und Abbewegungen markiere mit einer weiteren Klammer den jeweils höchsten Anschlag. Was kann man erkennen?

Beim Aufwärtsrollen habt ihr dem Rad *Energie* zugeführt, d.h. es könnte ohne euer Zutun seine Lage wieder verändern. Beim Abwärtsrollen wandelt sich dann die zunächst gespeicherte *Lageenergie* in eine andere Energie um. Diese nennt sich *Rotationsenergie*. Sobald das Rad unten angekommen ist, „wickelt“ es sich von selbst wieder nach oben. Dabei wird dann die Rotationsenergie wieder in Lageenergie umgewandelt.

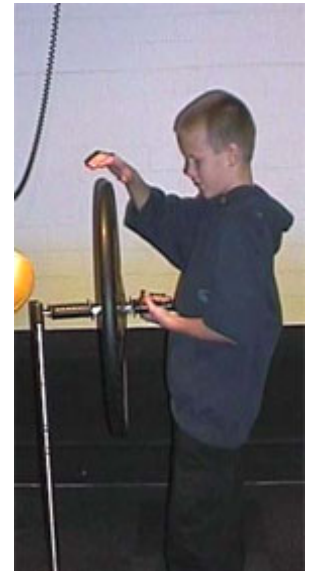
Betrachte noch einmal Deine Klammermarkierungen!

Die Strecke, die das Rad hinaufrollt, wird immer

Das Rad verliert also Energie. Durch irgendetwas wird das Rad offensichtlich in seiner Schwingung gedämpft. Irgendwann wird das Rad sogar zum Stillstand kommen. Hast du eine Erklärung dafür, warum das Rad nicht auf die ursprünglich erreichte Höhe zurückrollt?

11 Velokreisel

Mit einem Kreisel lassen sich einige ganz besondere Dinge anstellen: Einmal ange-dreht scheint es, als ob der Kreisel ganz genau wüsste, in welche Richtung er sich einstellen möchte. Hindert man den Kreisel daran, seinen Willen durchzusetzen, versucht er, sich dadurch in seine Lieblingslage zu bringen, dass er das, was ihn festhält, gleich mitnimmt.



Willst du vermeiden, dass er sich in seine bevorzugte Lage bringt, musst du eine Kraft aufbringen. Wie das funktioniert, kannst du mit unserem Velokreiselversuch erkunden.

Halte das Velorad am Griff in einer Hand und hänge es auf der gegenüberliegenden Seite in dem Ständer so ein, dass die Nabe waagrecht steht. Drehe das Rad mit der freien, anderen Hand kräftig an. Löse nun das Velorad aus der Ständerhalterung und halte das Rad mit beiden Händen fest.

Wellen (Forts. "Velokreisel")

In welchem Fall verhält sich der Kreisel „seltsam“?

- a Wenn du das Velorad in Richtung der Achse bewegst?
- b Wenn du das Velorad auf und ab bewegst?
- c Wenn du das Velorad kippst?
- d Wenn du die Achse drehst?

Gibt es einen Unterschied, wenn sich das Rad schneller oder langsamer dreht?

Drehe den Velokreisel ein weiteres Mal an, belasse ihn aber auf dem Ständer. Was kannst du beobachten?

Nun drehe das Velorad erneut kräftig an und setze dich damit auf den fast reibungsfreien Drehstuhl. Achte darauf, dass deine Füße auf dem Trittbrett abgestellt sind und nicht den Boden berühren.

Wie musst du den Kreisel bewegen, damit du dich mit dem Stuhl am schnellsten drehst?

Du kannst diesen Versuch auch mit dem Doppelkreisel wiederholen. Was geschieht, wenn die beiden Scheiben gleichsinnig laufen, was, wenn sie sich gegensinnig drehen?

Begriffe

Amplitude Auslenkung aus der *Ruhelage* bis zum *Umkehrpunkt*. Beispiel: Pendel

Anregung

Das Hinzufügen von Energie in das System. Dies geschieht z. B. durch Auslenkung eines Pendels, Anstossen einer Feder oder Schwingen eines Seils.

Dämpfung

Verkleinerung der Amplitude durch bestimmte Einflüsse, z.B. Reibung; die Dämpfung bringt die Schwingung im Laufe der Zeit zum Stillstand.

Frequenz

Anzahl der Schwingungen (= Hin- und Rückschwingung) pro Sekunde.
Die Einheit der Frequenz ist Hertz (Hz).

Kompressionswelle

= Längswelle oder Longitudinalwelle

Längswelle

= Longitudinal- oder Kompressionswelle.
Es treten in Ausbreitungsrichtung der Welle Verdichtungen (Kompressionen) und Verdünnungen auf. Man sagt daher auch, die Schwingungsrichtung entspreche der Fortpflanzungsrichtung der Welle.
Beispiel: Schallwelle

Longitudinalwelle

= Längswelle

Querwelle

= Transversalwelle
Bei diesem Wellentyp liegt die Schwingungsrichtung nicht in Richtung der Wellenausbreitung, sondern senkrecht dazu.
Beispiele: Licht, Radio, elektromagnetische Wellen allgemein, Federwellen (links/ rechts)

Resonanz

Regt man ein schwingungsfähiges System (z.B. Pendel) in der gleichen Frequenz an, in der es bereits schwingt, so kann man die Amplitude vergrössern. Dieses Phänomen nennt man Resonanz.

Ruhelage

= Mittellage

Die Stellung eines Pendels, die es in Ruhe einnimmt; entsprechend der Schwerkraft.

Schwingungsdauer

Jene Zeit, die z.B. ein Pendel für eine vollständige Schwingung benötigt (Hin- und Rückschwingung). Der Kehrwert der Schwingungsdauer ist die Frequenz.

Stehende Welle

Regt man eine fest eingespannte Feder gleichmässig an, können die Störungen am Ende so reflektiert werden, dass einige Bereiche rhythmisch hin -und herzuschwingen, andere zu stehen scheinen.

Transversalwelle

= Querwelle, siehe dort (auch als „Scherungswelle“ bezeichnet)

Umkehrpunkt

Jener Punkt bei einer Pendelschwingung, bei dem das Pendel seine Schwingungsrichtung ändert.

Welle

Das Weitertragen einer Störung, ohne dass Material verschoben wird, bezeichnet man als Welle.

Wellenbäuche

Formen, die bei einer *stehenden Welle* entstehen; damit werden auch Stellen mit grösster Amplitude (Auslenkung) bezeichnet.

Wellenknoten

Punkte, bzw. Teilchen einer *stehenden Welle*, die stets in Ruhe bleiben, d.h. Stellen mit Null-Amplitude

Antworten

Schwingungen

Welche Unterschiede sind physikalisch bei diesen Pendeln wohl wirklich richtig?

Antworten b, e, f sind korrekt. Die Form, die Farbe und das Material spielen keine Rolle. Auch die Masse beeinflusst das Schwingungsverhalten nicht. Die lokale Schwerebeschleunigung hingegen übt einen grossen Einfluss aus. Würde man z.B. ein Pendel auf dem Jupiter schwingen lassen, wäre die Schwingungsdauer kleiner als bei einem Vergleichsversuch auf der Erde. Die Schwerebeschleunigung ist auf dem Jupiter ca. 2,5 mal so gross wie diejenige auf der Erde. Dies kann man auch an dem Exponat "Jupiterpendel" nachvollziehen.

❶ 3-Zeiten-Pendel

Es gibt bei diesem Versuch *keine* Möglichkeit, Pendel unterschiedlicher Fadenlänge im Gleichtakt schwingen zu lassen.

Die Schwingungsdauer eines Pendels ist nur von b) abhängig, also von der Länge.

Schwingungsdauer

| Exponat | Nr. | Dauer | Länge |
|--------------------------------|-----|--------------|--------|
| <u>Resonanzpendel</u> | ❷ | ca. 4,9 Sek. | 6.00 m |
| <u>Gekoppeltes Fadenpendel</u> | ❸ | ca. 2,7 Sek. | 1.80 m |
| <u>Uhrenpendel</u> | ❹ | ca. 1,4 Sek. | 0.50 m |
| <u>Kurzes Pendel</u> | ❺ | ca. 1,0 Sek. | 0.25 m |
| <u>Phasenpendel</u> | ❻ | ca. 2,8 Sek. | 2.00 m |

Je grösser die Pendellänge, desto länger benötigt ein Pendel für eine Schwingung.

Ein Fadenpendel mit der Schwingungsdauer 2 Sekunden ist ca. 1m lang.

7 Gedämpfte Pendelschwingung

Der rechte Regler ändert die Laufbandgeschwindigkeit. Bei Änderung der Geschwindigkeit wird die Aufzeichnung der Schwingung gestaucht bzw. gedehnt.

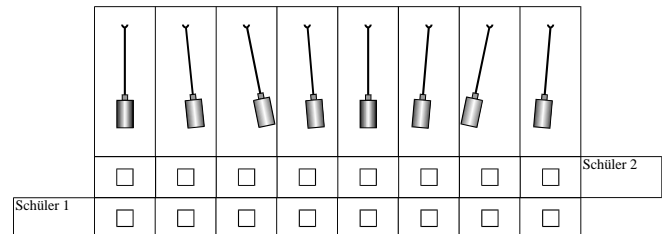
Durch das Eintauchen des Paddels in die ölige Flüssigkeit erhöht man die Dämpfung (Strömungswiderstand höher). Diese wird durch den (Strömungs-)Widerstand bei der Bewegung des Paddels durch Öl bzw. Luft verursacht.

Der Strömungswiderstand in Öl ist erheblich grösser als in der Luft. Entsprechend nimmt die Amplitude der Schwingung sehr viel schneller ab als ohne das eingetauchte Paddel. Dennoch kann man auch ohne zusätzliche Dämpfung erkennen, dass das System gedämpft ist und nach einiger Zeit zum Stillstand kommt. Es dauert nur viel länger.

Folglich kann man beim Vergleich der beiden Sandkurven folgendes feststellen: Die Amplitude verringert sich in beiden Fällen. Im Fall des

durch das eingetauchte Paddel gedämpfte Pendels geschieht dies erheblich rascher.

2 Resonanzpendel



Die Amplitude eines Pendels kann man aufschaukeln, wenn man in den Phasen, in denen das Pendel auf einen zuschwingt, an den Seilen zieht.

Damit das Pendel am schnellsten aufgeschaukelt wird, muss man es in der *gleichen* Frequenz anregen wie es schwingt, also entsprechend seiner *Eigenfrequenz*.

Antworten (Forts.)

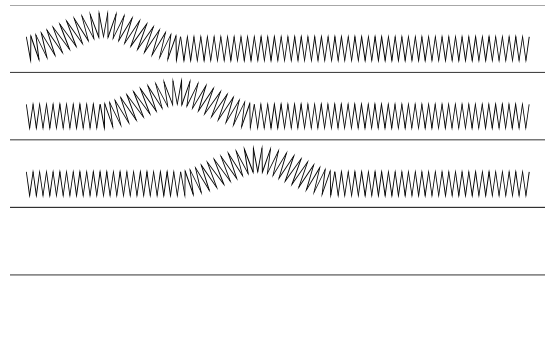
Welle

Eine Markierung, etwa auf einem Seilstück aufgemalt, würde niemals mit einem Wellenberg mitwandern, da das Seilstück nur Bewegungsinformation (Energie) erhält, nicht jedoch Material transportiert wird.

8 Federwellen (Sekundarstufe 1)

Durch die Auslenkung des Hebels an der Bedieneinheit wird ein Wellenbuckel erzeugt. Derjenige Schüler, der an der Feder steht und dort eine Windung festhält, bemerkt, dass diese Windung sich hin-und herbewegt. Er wird nicht in Ausbreitungsrichtung der Welle mitgezogen.

Der Wellenbuckel läuft bis zum befestigten Ende der Feder, wird dort reflektiert und läuft wieder zurück, wird an der Bedieneinheit wieder reflektiert, usw. .



Um bei einer stehenden Welle möglichst wenige Knoten zu erhalten, muss man sehr langsam anregen. Der Hebel lässt sich nicht nur hin und her bewegen. Eine weitere Richtung ist vor und zurück.

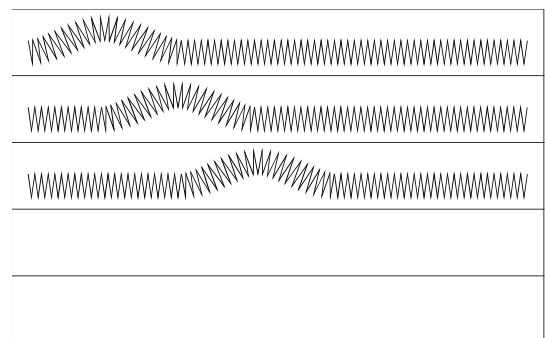
8 Federwellen (Sekundarstufe 2)

Folgende Bewegungen sind an der Bedieneinheit möglich:

- Bewegungen quer zur Federerstreckung
- Bewegungen in Richtung der Feder

Transversalwellen

Hier schwingt die Feder quer zu Ausbreitungsrichtung. Erreicht die Welle das befestigte Ende wird sie reflektiert, läuft zurück, wird an der Bedieneinheit reflektiert, usw..



Die Form des Wellenbuckels bleibt nicht immer gleich. Er verzieht sich aufgrund der sogenannten Dispersion. Diese kommt dadurch zustande, dass während der Ausbreitung nicht nur *eine* Ausbreitungsgeschwindigkeit auftritt. Unterschiedliche Laufgeschwindigkeiten jedoch verursachen eine Art „Verschmieren“ des laufenden Buckels. Dieses Phänomen lässt sich bereits nach zwei Reflektionen sehr gut beobachten.

Antworten (Forts.)

Möglichst wenige Wellenknoten erzeugt man durch sehr langsame Anregung. Bei der Anregung der Longitudinalwelle kommt es zu sogenannten Verdichtungen und Verdünnungen. Der Schüler, der seine Hand zwischen die Federwindungen hält, wird spüren, dass die Hand zwischen den Federwindungen zeitweise eingeklemmt und dann wieder lockergelassen wird.

Genau wie bei den Transversalwellen kommt es am befestigten Ende der Feder zu einer Reflektion.

9 Schall wird sichtbar

Schall ist schwingende Luft. Wenn diese an einen Körper (z.B. Trommelfell, Haut, etc.) stösst, kann sie ihn zum Mitschwingen anregen und sie dadurch wahrnehmbar machen.

Das Innenohr leitet über Nervenbahnen die wahrgenommene Bewegung des Trommelfells an das Gehirn weiter, wodurch der Höreindruck entsteht.

Ein gehörloser Mensch hat sich zumeist besser auf seinen empfindlichen Tastsinn konzentrieren, so dass er Schallwellen auch mit anderen Organen, z.B. der Haut wahrnehmen kann.

| Frequenz in Hertz | Fontänen (ja/nein) |
|-------------------|--------------------|
| <i>Beispiele</i> | |
| 158 | Ja |
| 256 | Ja |
| 350 | Ja |
| 620 | Ja |
| 209 | Nein |

Zwischen den Fontänen kann man Bereiche sehen, die in absoluter Ruhe verharren. Dies rührt daher, dass sich in der Röhre eine stehende Welle ausbildet. Hierbei entstehen Wellenbäuche und Wellenknoten, eben jene Stellen, die sich scheinbar in Ruhe befinden.

Bei der Erhöhung der Lautstärke kann man feststellen, dass die Fontänen höher werden.

10 Maxwell-Rad

Das Rad erreicht mit jedem Schwung weniger Höhe. Nach jeweils 5 Auf- und Abbewegungen muss man daher die Klammer immer niedriger befestigen. Die Strecke, die das Rad wieder hinaufrollt wird demnach immer kürzer.

Der Hauptgrund, warum das Rad nicht wieder um den gleichen Betrag nach oben rollt, wie es vorher heruntergerollt ist, liegt im Energieverlust durch *Reibung*.

Insgesamt bewegt sich das Rad, aufgrund seiner grossen Masse (Schwungrad) und damit mit einem höheren Trägheitsmoment, noch recht lange bevor es zum Stillstand kommt. Wäre das Gewicht geringer, würde die Reibung eine noch grössere Rolle spielen

11 Velokreisel

Seltsames Verhalten des Velokreisels:
Antwort c)

Das Kippen der Achse verursacht eine Richtungsänderung des Drehimpulsvektors, was immer zu einem Drehmoment senkrecht zur Kipprichtung führt. Dieser Effekt wird um so grösser, je schneller sich das Rad dreht, die Masse des Rads oder der Radius vergrössert wird.

Hängt man den drehenden Kreisel im Ständer ein, so beginnt er sich rund um die Ständerachse zu drehen (Präzession). Zusätzlich wird diese Bewegung von einem rhythmischen Nicken begleitet (Nutation).

Die Wirkung auf dem Drehstuhl ist am grössten, wenn man nach dem Hinsetzen die Achse des Velorads senkrecht stellt. Die Drehrichtung hängt davon ab, welche Hand man dabei nach oben hält. Dabei versucht sich das System wieder in die alte Lage zu stabilisieren.

Beim Doppelkreisel verhält es sich wie folgt:
Gleichsinnige Bewegung der Scheiben: Genauso wie beim Velokreisel.

Gegensinnige Bewegung der Scheiben: Kein besonderer Effekt, da sich die Kreiselwirkungen gegeneinander aufheben.