

11

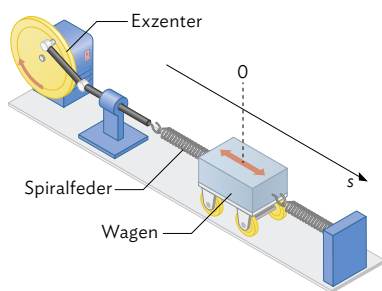
Angeregte Schwingung und Resonanz

Ph12 Lernbereich 2: Elektromagnetische Induktion und Schwingungen

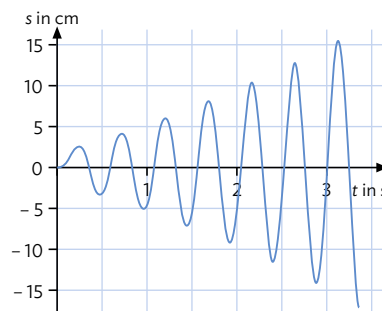
Die Schülerinnen und Schüler **erschließen sich aus Beobachtungen bei einem Experiment zu einer erzwungenen mechanischen Schwingung grundlegende Abhängigkeiten der resultierenden Amplitude sowie der Phasenverschiebung zwischen Anregung und Schwingung von der Anregungsfrequenz und weiteren Parametern. Diese geben sie in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder. Sie erklären durch Analogiebetrachtungen Strukturen in experimentellen Daten zu einer erzwungenen Schwingung in einem elektromagnetischen Schwingkreis.**

Voraussetzung: Elektromagnetische Schwingungen (Kapitel 10 im Buch)
AB10 „EVA: Gedämpfte Schwingung und Abklingverhalten“

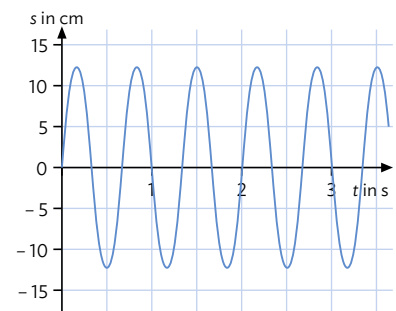
Experiment



B1 Versuchsaufbau zur Untersuchung einer angeregten Schwingung.



B2 Zugehörige Diagramme mit Anregungsfrequenz im Bereich der Eigenfrequenz (links) und mit niedriger Anregungsfrequenz (rechts).



Ein kleiner Wagen wird zwischen zwei Federn eingespannt und ein Federende über einen Exzenter ausgelenkt (vgl. B1; Videos siehe Mediencode). Beginnend bei einer kleinen Auslenkung wächst die Amplitude der angeregten Schwingung bei der eingestellten Drehfrequenz von knapp 2 Hz auf ein Vielfaches der Exzenterauslenkung an (vgl. B2 links). Wird die Schwingung nur mit der halben Frequenz angeregt, so ergibt sich ein anderes Bild (vgl. B2 rechts): die Amplitude bleibt annähernd gleich.



MC 67054-04

Ein schwingungsfähiges System (Resonator) schwingt nach Anregung mit einer bestimmten Frequenz, der Eigenfrequenz f_0 . Die reibungsbedingte Dämpfung führt dabei zu einer Abnahme der Amplitude. Bei einer erzwungenen Schwingung mit der Frequenz f wird das System von außen periodisch durch einen Erreger zum Mitschwingen angeregt. Der Reibungsverlust wird in der Regel vom Erreger wieder ausgeglichen. Bei einer Anregung im Bereich der Eigenfrequenz f_0 nimmt die Amplitude des schwingenden Systems stark zu. Dieser Effekt wird als Resonanz und f_0 als Resonanzfrequenz bezeichnet.

Im Folgenden sind vier Experimente dargestellt, mit deren Hilfe der Einfluss der beteiligten Größen in schwingenden Systemen untersucht werden kann.

1) Rollwagen zwischen zwei horizontalen Federn

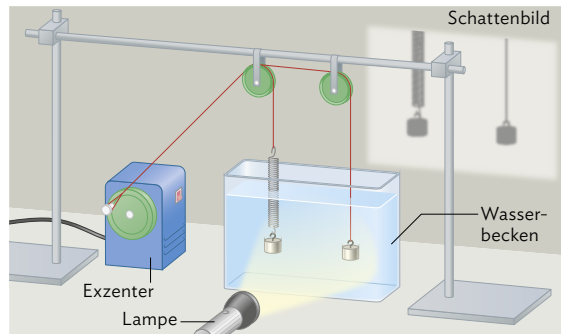
Mithilfe einer Videoanalyse kann ein Bewegungsdiagramm des oben dargestellten Versuchs aufgenommen werden, eine Stoppuhr dient zur Kontrolle der Zeiteinstellung im Video.

Durch ein freies Schwingen ohne den Exzentermotor wird die Periodendauer des gedämpften Systems bestimmt. Anschließend wird das System mit einer deutlich niedrigeren Frequenz über den Exzenter angeregt. Dabei wird Amplitude und Phasenlage der Schwingung im Vergleich zur Auslenkung und Phase des Erregers beobachtet. Für die Videoanalyse wird ein Video der angeregten Schwingung aufgenommen und anschließend ein Bewegungsdiagramm erstellt.

2) Massestück an vertikaler Feder

Ein Massestück wird an eine weiche Feder gehängt. Über einen Faden wird mit einem Exzentermotor die Federschwingung angeregt. Ein identisches Massestück wird über einen zweiten Faden direkt bewegt, also ohne Feder und mit gleicher Startauslenkung. Dies ermöglicht den Vergleich der Amplituden und der Phasenlage zwischen den beiden Systemen. Ein Wasserbecken verhindert, dass die Amplitude der angeregten Schwingung zu groß wird. Mithilfe einer Lampe kann die Schwingung anhand des Schattenbilds ausgewertet werden.

Der Ablauf des Experiments orientiert sich an Experiment 1).



B3 Aufbau Versuch 2).

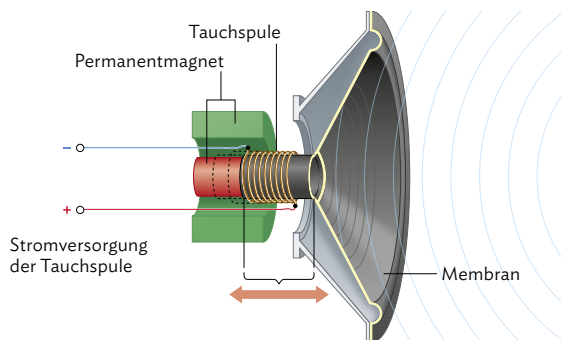
3) Anregung eines Lautsprechers

Die beiden Lautsprecher stehen sich mit ihren Schallöffnungen gegenüber. In Anlehnung an das Stimmgabelexperiment (siehe Aufgabe 2) wird ein Lautsprecher durch einen Frequenzgenerator betrieben. Dieser regt durch die Schallschwingungen einen zweiten Lautsprecher zum Mitschwingen an.

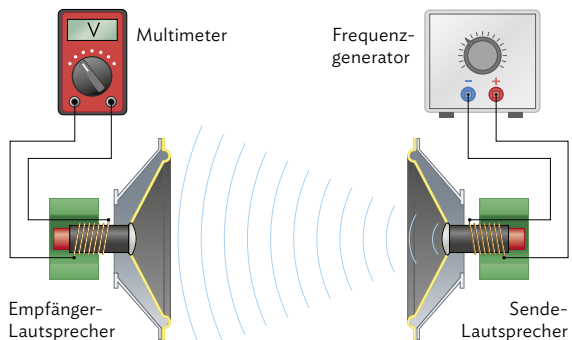
Die Membran des zweiten Lautsprechers bewegt sich, und durch diese Bewegung schwingt auch die Spule des Lautsprechers (die sog. Tauchspule), vgl. B4. Diese Spule befindet sich in einem Magnetfeld eines Dauermagneten. Die Bewegung der Spule im Magnetfeld erzeugt dann eine Induktionsspannung. Ein Spannungssensor misst diese Spannung, die durch die Schwingung der Tauchspule entsteht.

So kann sowohl die Amplitude als auch die Phasenverschiebung im Vergleich zur Anregungsfrequenz beobachtet werden.

Hinweis: In der Regel weisen Lautsprecher dieses Typs mehrere Resonanzfrequenzen auf.



B4 Funktionsweise eines Lautsprechers mit Tauchspule.



B5 Aufbau Versuch 3).

4) Phasensprung einer Blattfeder

Auf der Membran eines horizontalen Lautsprechers wird eine Blattfeder befestigt, der Lautsprecher wieder mit einem Frequenzgenerator und ggf. mit einem Verstärker betrieben.

Die Blattfeder schwingt durch die Anregung der Lautsprechermembran. Zunächst wird eine niedrige Frequenz eingestellt und diese dann auf bis zu 100 Hz gesteigert. Dabei können Amplitude und Phase der angeregten Schwingung im Vergleich zur Anregung beobachtet werden.



B6 Aufbau Versuch 4).

Hinweise zum Ablauf der Versuche:

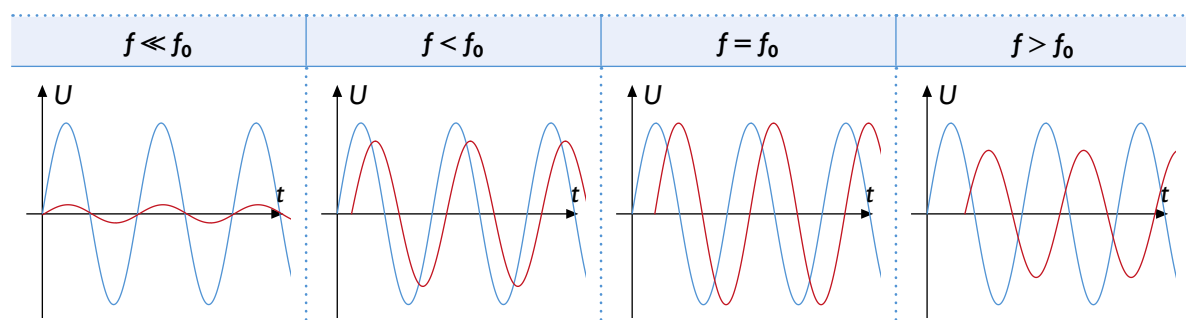
- Bauen Sie das Experiment erst nach geeigneter Recherche zum Thema auf.
- Bestimmen oder schätzen Sie die Eigenfrequenz f_0 des schwingenden Systems ab.
Bei Federn können Sie die Eigenfrequenz ohne äußere Anregung leicht über die Messung der Periodendauer einer freien Schwingung ermitteln. Eine grobe Abschätzung durch Berechnung oder durch ein Freihandexperiment genügt hier.
- Beginnen Sie mit einer kleinen Amplitude des Erregers und einer niedrigeren Frequenz $f < f_0$. Testen Sie die Amplitude bei langsamer Annäherung an den Resonanzfall, um das System (und sich selbst) vor Beschädigung zu schützen.
- Erhöhen Sie die Anregungsfrequenz und protokollieren Sie in jedem Schritt: Amplitude und Frequenz der Anregung, Amplitude des schwingenden Systems und falls möglich, die Phasenverschiebung φ zwischen Anregung und schwingendem System.
- Variieren Sie in weiteren Durchführungen auch andere Parameter wie die Amplitude der Anregung oder die Massen des Massestücks/des Wagens. Notieren Sie die Auswirkungen auf die Phasenverschiebung und die Amplitude der Schwingung.
- Die Phasenverschiebung φ zwischen Erreger und angeregtem System kann am besten in einer Zeitlupenaufnahme untersucht werden.

Arbeitsauftrag

- 1 | Führen Sie eines der 4 genannten Beispielperimente durch. Beobachten Sie dabei sowohl Amplitude als auch Phasenlage der angeregten Schwingung und vergleichen Sie diese mit der anregenden Schwingung. Variieren Sie dafür auch die Anregungsfrequenz und -amplitude. Beachten Sie auch die obigen Hinweise zur Durchführung. Protokollieren Sie Ihre Beobachtungen.

Resonanz beim elektromagnetischen Schwingkreis

Ein elektromagnetischer Schwingkreis der Eigenfrequenz f_0 wird von außen durch einen Frequenzgenerator zum Schwingen angeregt. Die **Erregerschwingung** (größere Amplitude A im 1. Bild) und die **angeregte Schwingung** (kleinere Amplitude A_{ang} im 1. Bild) werden an einem Oszilloskop dargestellt. Die Erregerfrequenz f wird schrittweise erhöht. Die nachfolgenden Bilder zeigen die (idealisierten) Ergebnisse. Diese entsprechen genau dem, was auch bei den Experimenten zu den mechanischen Schwingungen beobachtet werden konnte. Die Dämpfung im realen Experiment ist auf den Ohmschen Widerstand des Schaltkreises zurückzuführen.

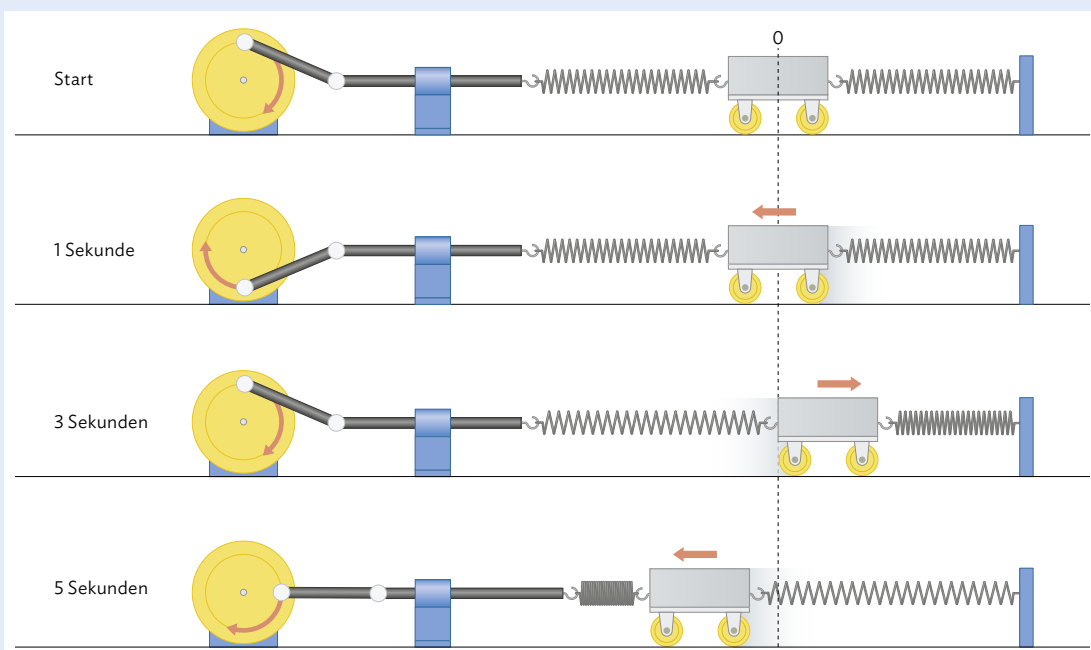


B7 | t-U-Diagramme eines elektromagnetischen Schwingkreises für unterschiedliche Erregerfrequenzen f .

Durch das anregende System wird dem Resonator laufend Energie zugeführt. Diese gleicht zuerst nur den Dämpfungsverlust aus. Im Bereich der **Resonanzfrequenz** übersteigt allerdings der laufend zugeführte Energiebetrag den Verlust bei weitem. Dies kann zur sog. **Resonanzkatastrophe** führen: Durch die Anregung in der Nähe oder genau bei der Resonanzfrequenz steigt dabei die Amplitude sehr stark an, was schlussendlich zu einer Beschädigung des Systems führen kann. Im **elektromagnetischen Schwingkreis** wird die Dämpfung hauptsächlich durch den Ohmschen Widerstand der Bauteile, insbesondere der Spule, verursacht. Durch eine geeignete Schaltung kann über eine externe Quelle dem Schwingkreis die abgegebene Energie wieder zugeführt und die Dämpfung so unterbunden werden.

Arbeitsauftrag

- 2 | Recherchieren Sie zu dem Stichwort „Resonanz zweier Stimmgabeln“ und führen Sie das Experiment selbst durch. Erläutern Sie Ihr Vorgehen unter Verwendung korrekter Fachsprache.
- 3 | Beschreiben Sie ein Resonanzphänomen aus dem Alltag. Erstellen Sie zur besseren Beschreibung ein Kurzvideo oder recherchieren Sie nach geeigneten Originalsequenzen. Erläutern Sie das Phänomen in der Fachsprache und vergleichen es mit der Resonanz in einem angeregten elektromagnetischen Schwingkreis.
- 4* |
 - a) Recherchieren Sie über die Funktionsweise eines Wilberforce-Pendels.
 - b) Beschreiben Sie die Vorgänge im Pendel aus energetischer Sicht und stellen Sie eine Analogie zum elektromagnetischen Schwingkreis her.
- 5 | In B7 werden t - U -Diagramme der theoretisch erwartbaren Verläufe eines elektromagnetischen Schwingkreises mit unterschiedlichen Erregerfrequenzen gezeigt.
 - a) Erläutern Sie den Verlauf der Diagramme.
 - b) Erstellen Sie jeweils qualitativ ein f - A_{ang} -Diagramm sowie ein f - φ -Diagramm.
- 6 | In der Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) findet sich im §27 Verbände, Abs. (6) folgende Vorschrift: *Auf Brücken darf nicht im Gleichschritt marschiert werden.*
 - a) Begründen Sie diese Regel aus physikalischer Sicht. Gehen Sie dabei auch auf den Begriff der Resonanzkatastrophe ein.
 - b) Recherchieren Sie unter dem Stichwort „Tacoma Bridge“ und stellen Sie einen Zusammenhang zur oben genannten Regel her.
- 7 | In B8 sehen Sie Ausschnitte unterschiedlicher Zeitpunkte des Eingangsexperiments. Der zwischen zwei Federn eingespannte Wagen wird über einen Exzenter zum Mitschwingen angeregt. Der Exzenter dreht sich im Uhrzeigersinn mit steigender Frequenz.
 - a) Ordnen Sie, soweit möglich, den einzelnen Bildern jeweils das entsprechende Diagramm der angeregten elektromagnetischen Schwingung aus B7 zu.
 - b) Stellen Sie die Parameter des mechanischen und des elektrischen Falls, die die Schwingung bestimmen, gegenüber.



B8 | Ausschnitte einer Videosequenz des Experiments 1) „Rollwagen zwischen zwei horizontalen Federn“.