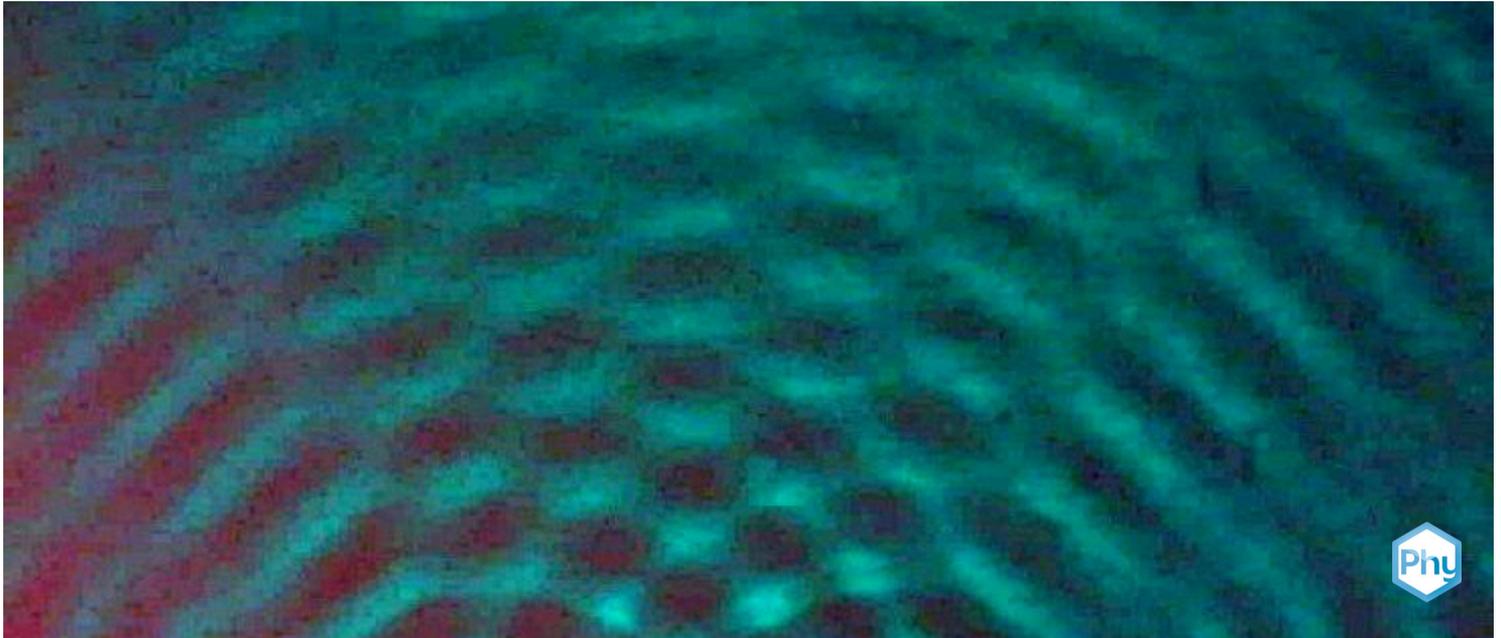


Interferenz gegenläufiger Wasserwellen



Die Schüler und Studenten lernen, dass sich Wellen gegenseitig auslöschen oder sich gegenseitig abwechseln.

Physik

Mechanik

Schwingungen & Wellen



Schwierigkeitsgrad

mittel



Gruppengröße

2



Vorbereitungszeit

10 Minuten



Durchführungszeit

20 Minuten

This content can also be found online at:



<http://localhost:1337/c/5fa839b67db7e80003bfdc04>

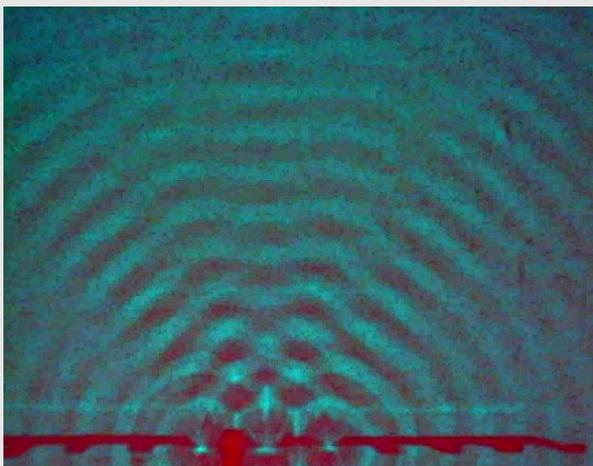
PHYWE

Allgemeine Informationen



Anwendung

PHYWE



Zwei Kreiswellen, die sich begegnen

Die Ausbreitung von Wellen betrachten wir vielfach in unserem Alltag:

Wenn wir einen Stein ins Wasser werfen, wenn ein Tropfen in die Badewanne fällt oder wenn jemand im Schwimmbad ins Wasser springt.

Doch wie verhalten sich Wellen, wenn sie von verschiedenen Punkten ausgehen und aufeinandertreffen (wie es der Fall ist, wenn sich beispielsweise zwei Boote begegnen)?

Sonstige Informationen (1/8)

PHYWE

Vorwissen



Die Schüler und Studenten sollten bereits mit der Entstehung und Weiterleitung von Wasserwellen vertraut sein.

Prinzip



Mittels zweier Wellenerreger werden gegenläufige Kreiswellen erzeugt, welche sich untersuchen lassen.

Sonstige Informationen (2/8)

PHYWE

Lernziel



Die Schüler und Studenten lernen, dass sich Wellen gegenseitig auslöschen (Erregerzentren gegenüber) oder sich gegenseitig abwechseln (Erregerzentren nebeneinander).

Aufgaben



Die Schüler und Studenten führen zwei Versuche durch: einmal eine Interferenz von Kreiswellensystemen stehender Wellen und einmal die Beobachtung der Richtung sich fortbewegender Wellen in senkrechter Richtung zur Verbindungslinie der Erregerzentren.

Sonstige Informationen (3/8)

PHYWE

Ergebnis - Versuch 1

Zwischen den Wellenerregern bildet sich ein stehendes Wellenbild aus. Der Abstand zwischen den hellen und den dunklen Streifen ist längs der Verbindungslinie zwischen den Wellenerregern (stehende Welle) halb so groß wie die Wellenlänge der in der Nähe der beiden Erregerzentren sichtbaren fortschreitenden Wellen. Bei anschließender stroboskopischer Beleuchtung, wo durch einen eingestellten Frequenzunterschied zwischen Stroboskop und Erregerfrequenz die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen stark verlangsamt werden kann, beobachtet man zwischen den Wellenerregern die gleiche Wellenlänge wie im Außenbereich. Dabei erkennt man einen periodischen Wechsel zwischen Wellenbergen und Wellentälern.



Typisches Wellenbild bei einer Erregerfrequenz von 25 Hz

Sonstige Informationen (4/8)

PHYWE

Interpretation Versuch 1 (1/2)

Da die beiden Wellenerreger gleichphasig schwingen, erwartet man an allen Orten für deren Abstandsdifferenz zu den beiden Erregern die Beziehung $\Delta l = m \cdot \lambda$

An Orten, für deren Wegdifferenz zu den Erregungszentren $\Delta l = \frac{2m+1}{2} \cdot \lambda$ gilt, müssen sich die beiden Wellen gegenseitig auslöschen. Ortslinien mit konstanten Wegdifferenzen zu zwei vorgegebenen Punkten sind Hyperbeln. Die beiden vorgegebenen Punkte sind die Brennpunkte dieser Hyperbeln.

Stehende Wellen können auch durch Reflexion erzeugt werden. Eine überzeugende Demonstration ist mit Hilfe eines Punkterregers möglich, der im Kreismittelpunkt des konkaven Reflektors aus dem Zubehör des Wasserwellengeräts angeordnet wird. Die stehenden Wellen sind in der Nähe des Reflektors am besten ausgeprägt.

Sonstige Informationen (5/8)

PHYWE

Interpretation Versuch 1 (2/2)

Bei stehenden Wasserwellen erscheinen dem Auge die Schwingungsknoten als Linien mit konstanter mittlerer Helligkeit. Die Ortslinien der Schwingungsbäuche dagegen erscheinen dem Auge, sobald ein Wellenberg vorliegt, als intensiv helle Linien, während zum Zeitpunkt eines Wellentals die Intensität nur unwesentlich geringer ist als im Bereich der Schwingungsknoten. Da das Auge aufgrund seines begrenzten zeitlichen Auflösungsvermögens die Phasen der Schwingungsvorgänge nicht unterscheiden kann, unterscheidet es nur die im zeitlichen Mittel helleren Schwingungsbäuche von den dunkleren Schwingungsknoten. Der Abstand von benachbarten Knoten bzw. Bäuchen zueinander beträgt wie im Experiment beobachtet $\lambda/2$.

Bei stroboskopischer Beleuchtung erkennt man im so gewonnenen Momentbild der stehenden Wellen, dass deren Wellenlänge mit derjenigen der fortschreitenden Wellen identisch ist. Bei geringfügiger Verstimmung der Stroboskopfrequenz (Δf ungleich 0) werden die Schwingungsvorgänge für das Auge so stark verlangsamt, dass man im Bereich der Schwingungsbäuche der stehenden Wellen den periodischen Wechsel von Wellenbergen und Wellentälern erkennen kann.

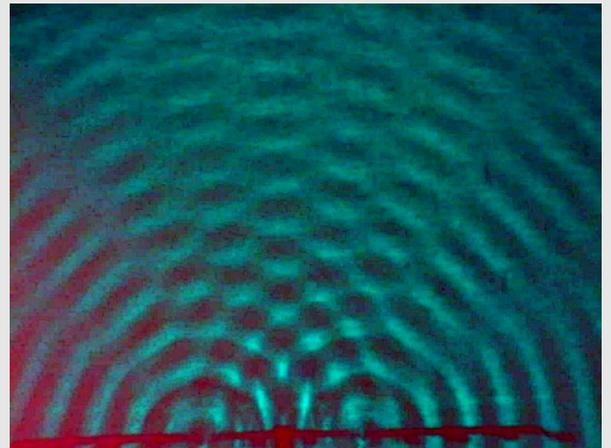
Sonstige Informationen (6/8)

PHYWE

Ergebnis - Versuch 2

Man beobachtet in der Bildmitte ein Wellenband, das sich senkrecht zur Verbindungslinie der Erregerzentren von diesen wegbewegt. Symmetrisch zu diesem Band wechseln sich nach beiden Seiten Bänder ohne Wellenerregung mit deutlich ausgeprägten Wellenbändern ab.

Bei konstantem Abstand zwischen den Erregerzentren nimmt der Abstand der Wellenbänder mit wachsender Frequenz ab. Die Anzahl der unterscheidbaren Bänder wächst mit der Frequenz. Der gleiche Effekt wird erreicht, wenn man bei konstanter Frequenz den Abstand zwischen den Wellenerregern (Aufsteckfüße) vergrößert.



Deutlich ist das Interferenzmuster der beiden Kreiswellen zu erkennen

Sonstige Informationen (7/8)

PHYWE

Interpretation (1/3)

Längs der Mittelsenkrechten auf der Verbindungsstrecke der beiden Erregerzentren besteht für die sich überlagernden Wellen kein Gangunterschied, so dass sich ihre Amplituden addieren (nullte Interferenzordnung). Längs der beiden geometrischen Ortslinien, für deren Abstandsdifferenz Δl zu den beiden Erregerzentren die Beziehung

$$|\Delta l| = \frac{\lambda}{2}$$

gilt, löschen sich beide Wellen aus. Solche Ortslinien sind Hyperbeln.

Sonstige Informationen (8/8)

PHYWE

Interpretation (2/3)

Auslöschung tritt auch längs der Hyperbeln auf, für die

$$|\Delta l| = \frac{3}{2}\lambda; \frac{5}{2}\lambda; \frac{7}{2}\lambda; \dots$$

ist. Entsprechend tritt auf allen Hyperbeln mit

$$|\Delta l| = \lambda \cdot m$$

eine additive Überlagerung der beiden Wellensysteme auf.

Interpretation (3/3)

Dabei ist m die Interferenzordnung. Man kann sich leicht klarmachen, dass der Abstand zwischen zwei benachbarten Interferenzordnungen m so kleiner wird, je kleiner die Wellenlänge ist: mit abnehmender Wellenlänge nimmt auch die entsprechende Abstandsdifferenz zwischen zwei benachbarten Hyperbeln konstruktiver oder destruktiver Interferenz ab. Vergrößert man andererseits den Abstand zwischen den Wellenerregern, so vergrößert sich in dem beobachteten Wellengebiet die Abstandsdifferenz zu den Erregern, was ebenfalls zu einem Zusammenrücken der Interferenzhyperbeln führt.

Sicherheitshinweise

PHYWE



- Für diesen Versuch gelten die allgemeinen Hinweise zum sicheren Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht.

Theorie

PHYWE

Längs der Verbindungslinie zwischen zwei synchron schwingenden, punktförmigen Wellenerregern bildet sich ein System von alternierenden Schwingungsknoten und Schwingungsbäuchen – eine so genannte stehende Welle – aus.

Betrachtet man die Gesamtwasseroberfläche, so bilden die Knoten und die Bäuche jeweils eine Hyperbelschar mit den Orten der beiden Wellenerreger als Brennpunkte.

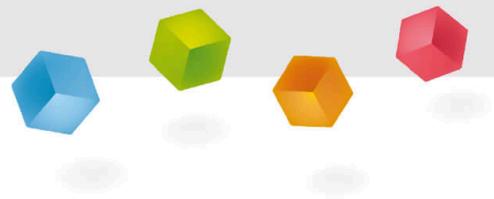
Senkrecht der Verbindungslinie zwischen den beiden Erregerzentren beobachtet man ein System sich abwechselnder Streifen der Ruhe und der maximalen Wellenamplitude.

Material

Position	Material	Art.-Nr.	Menge
1	PHYWE Wasserwellengerät mit LED-Lichtquelle, komplett	11260-88	1

PHYWE

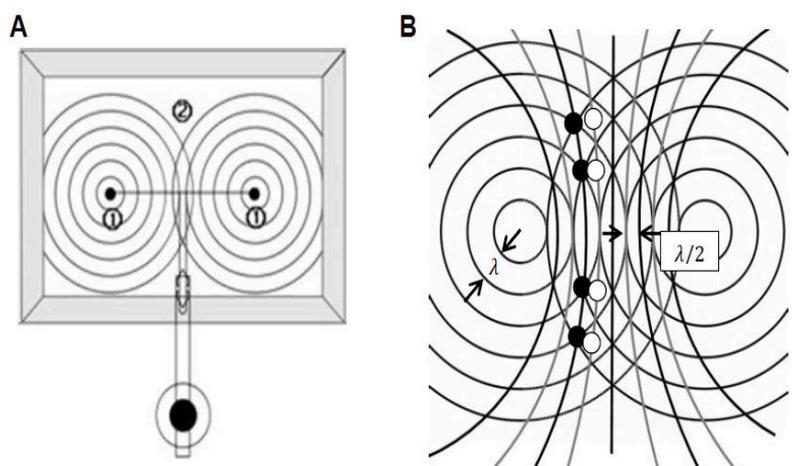
Aufbau und Durchführung



Aufbau - Versuch 1

PHYWE

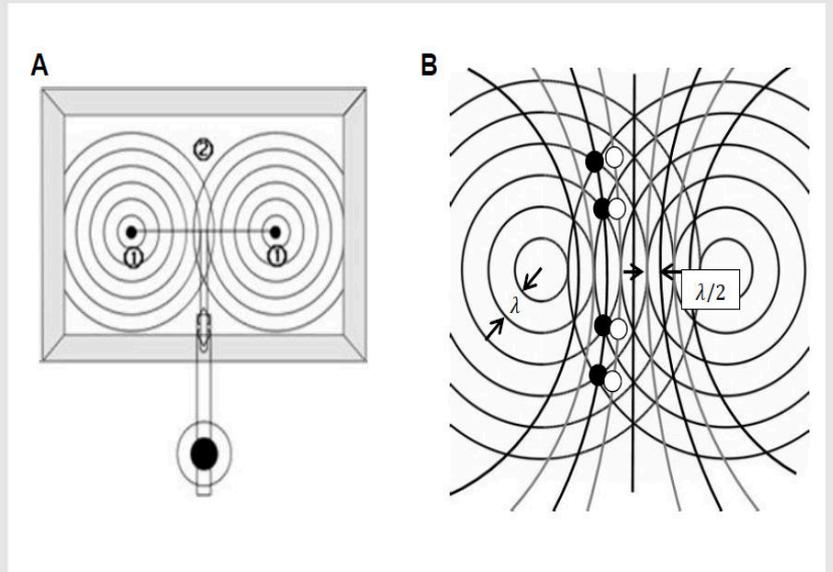
- Rechts ist die schematische Darstellung der Überlagerung der Wellenfelder zweier punktförmiger Erreger der Wellenlänge zu sehen.
- Der mit zwei Aufsteckfüßen ausgestattete kammförmige Wellenerreger erzeugt zwei Kreiswellen (1), die in der Mitte der Wellenwanne, also längs der Verbindungslinie zwischen den beiden Aufsteckfüßen, interferieren (2).



Aufbau - Versuch 1

PHYWE

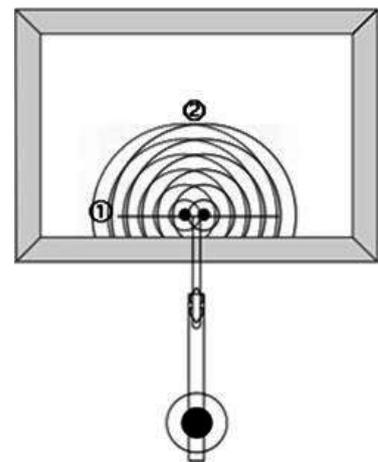
- Ortspunkte, an denen die Wellenzüge konstruktiv interferieren (gefüllte Kreise), liegen auf den schwarzen Linien; diejenigen, die destruktiv interferieren (ungefüllte Kreise), auf den grauen Linien. Zusammen bilden sie eine stehende Welle.
- Die Hyperbeln konstruktiver Interferenz erscheinen im Wellenbild als helle, die Hyperbeln destruktiver Interferenz als dunkle Streifen. Entlang der Verbindungslinie der Erreger weist die erzeugte stehende Welle der Überlagerung eine Wellenlänge von $\lambda/2$ auf.



Aufbau - Versuch 2

PHYWE

- Der Montierstab mit Doppeltupfer wird am Erregerarm befestigt. (Optional kann hier aus der kammförmige verwendet werden, wobei jeweils ein Aufsteckfuß an die von der Mitte des Kammes aus gesehenen zweiten Zinken gesteckt wird. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Aufsteckfüße auf gleicher Höhe angebracht sind.)
- Der Abstand zwischen zwei Aufsteckfüßen beträgt 30 mm (beim Kamm sind es etwa 40 mm). Der Montierstab wird dann zum unteren Wannenrand gebracht (Abb. rechts).
- Die vom kammförmigen Wellenerreger erzeugten beiden Kreiswellen (1) überlagern sich zu einem charakteristischen Interferenzmuster (2).



Anordnung zur Interferenzbildung mit zwei Aufsteckfüßen

Durchführung - Versuch 1

PHYWE

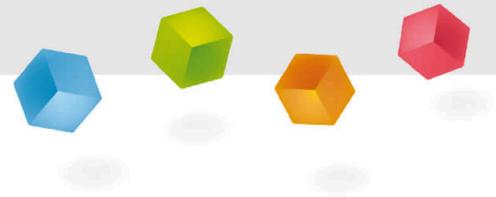
- Man beobachtet das sich ergebende Wellenbild bei permanenter Beleuchtung und bei unterschiedlichen Frequenzen (zwischen 15 Hz und 40 Hz).
- Die Erregeramplitude wird der jeweils eingestellten Frequenz so angepasst, dass sich ein deutliches Wellenbild ergibt.
- Man vergleicht dabei die Wellenlänge in der Nähe der Erreger, wo die Wellen gut sichtbar fortschreiten, mit dem Streifenabstand im Bereich der stehenden Wellen.
- Hierzu bietet es sich an, einige Wellenberge des fortschreitenden Wellenbereichs, sowie einige Wellenberge aus dem Bereich der stehenden Wellen auf das Blatt Papier des Experimentiertisches einzuzeichnen, um dann die Wellenlängen besser vergleichen zu können.
- Anschließend schaltet man auf stroboskopische Beleuchtung um. Man beobachtet das Wellenbild bei einer Stroboskopfrequenz, die geringfügig gegen die Erregerfrequenz verstimmt ist (etwa $-0,5$ Hz bis $-1,0$ Hz).

Durchführung - Versuch 2

PHYWE

- Man stellt eine Erregerfrequenz am Wasserwellengerät zwischen 20 Hz und 25 Hz ein und wählt die Amplitude so, dass sich ein deutliches Wellenbild ergibt.
- Anschließend variiert man die Frequenz und beobachtet, welchen Einfluss die Frequenzänderungen auf das Interferenzmuster haben.
- Schließlich untersucht man bei einer konstanten Frequenz (etwa zwischen 20 Hz und 30 Hz) den Einfluss von Abstandsänderungen zwischen den Tupfern auf das Interferenzmuster (hier ist nun der kammförmige Wellenerreger zu verwenden, wobei darauf zu achten ist, dass die beiden Aufsteckfüße stets den gleichen Abstand zur Mitte des Kammes haben).

PHYWE



Protokoll

Aufgabe 1

PHYWE

Was bildet sich längs der Verbindungslinie zwischen zwei synchron schwingenden, punktförmigen Wellenerregern?

- Keine der Aussagen ist korrekt.
- Längs der Verbindungslinie zwischen den beiden Erregerzentren beobachtet man ein System sich abwechselnder Streifen der Ruhe und der maximalen Wellenamplitude.
- Längs der Verbindungslinie zwischen zwei synchron schwingenden, punktförmigen Wellenerregern bildet sich ein System von alternierenden Schwingungsknoten und Schwingungsbäuchen – eine so genannte stehende Welle – aus.

✓ Überprüfen

Aufgabe 2

PHYWE

Was beobachtet man senkrecht der Verbindungslinie zwischen den beiden Erregerzentren?

- Senkrecht der Verbindungslinie zwischen den beiden Erregerzentren beobachtet man ein System sich abwechselnder Streifen der Ruhe und der maximalen Wellenamplitude.
- Keine der Aussagen ist korrekt.
- Senkrecht der Verbindungslinie zwischen zwei synchron schwingenden, punktförmigen Wellenerregern beobachtet man ein System von alternierenden Schwingungsknoten und Schwingungsbäuchen.

✓ Überprüfen

Aufgabe 3

PHYWE

Welche Beobachtungen können in Versuch 2 gemacht werden?

- Symmetrisch zu dem Wellenband wechseln sich nach beiden Seiten Bänder ohne Wellenerregung mit deutlich ausgeprägten Wellenbändern ab.
- Man beobachtet in der Bildmitte Wellen, durch welche niemals eine senkrechte Verbindungslinie zu den Erregerzentren gezogen werden kann.
- Man beobachtet in der Bildmitte ein Wellenband, das sich senkrecht zur Verbindungslinie der Erregerzentren von diesen wegbewegt.

✓ Überprüfen

Folie	Punktzahl/Summe
Folie 21: Wellenerregern	0/1
Folie 22: Erregerzentren	0/1
Folie 23: Beobachtungen	0/2

Gesamtsumme  0/4

 Lösungen

 Wiederholen