Wellenwanne mit 3W LED-Stroboskop

Einführung

Mit der Wellenwanne lassen sich Versuche zu folgenden Themen durchführen:

1. Darstellung von Oberflächenwellen
2. Wellefronten
3. Bestimmung der Wellenlänge
4. Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wellen
5. Reflexion
6. Brechung
7. Überlagerung von Wellen (Interferenzen)
8. Stehende Wellen
9. Beugung
10. Huygenssches Prinzip

© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

Übersicht

A	Metallträger mit LED-Stroboskop
B,C,D	Metall-Querträger
E	Verstellbare Füße
F	Befestigungsschrauben
G	Innensechskantschlüssel
H	Projektionsschirm, halbtransparent
I	Wanne
L	Wasserablaufschlauch
M	Spiegel
N	elektrodynamischer Schwingungsgenerator
O	Steuergerät
P	Stromversorgungsgerät

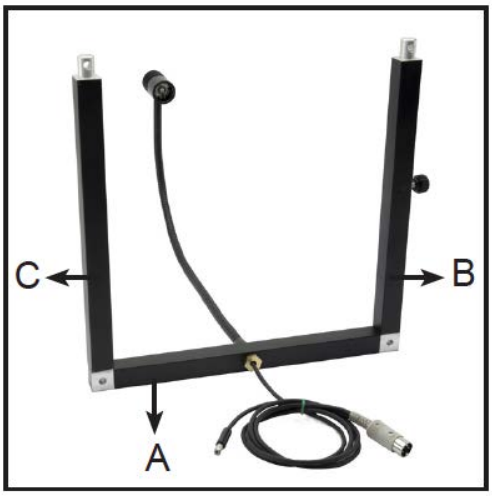
© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

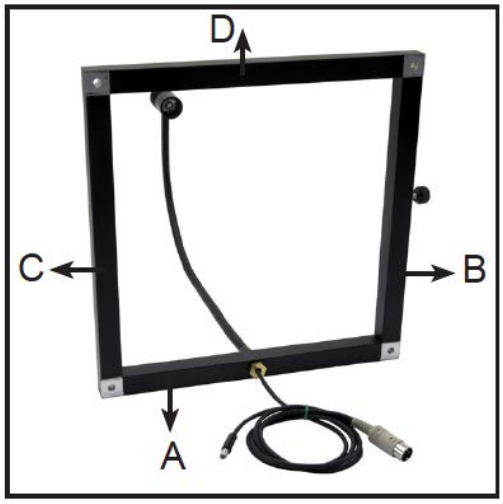
Montage der Wellenwanne

Die Montage erfolgt gemäß nachfolgender Schritt-für-Schritt-Anleitung.

1. Zusammenbau des Metallrahmens

Setzen Sie den Querträger (B) wie in nachfolgender Abbildung in den Metallträger mit Stroboskop. Anschließend komplettieren Sie den Rahmen mit den Querträgern (C) und (D).

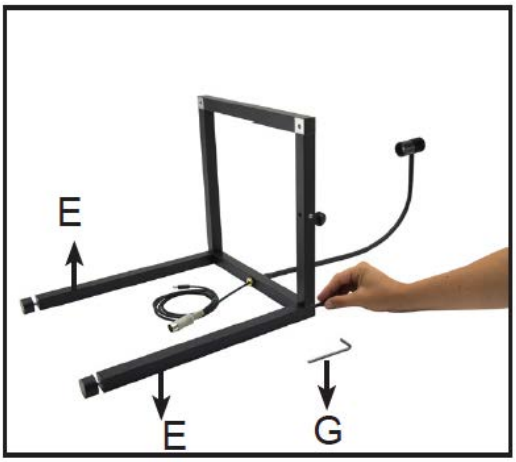




© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

2. Montage der Füße

Die beiden Füße (E) werden am Rahmen mit Innensechskantschrauben montiert.



3. Montage des Schirms

Der Schirm (H) mit den beiden vorderen Füßen wird mit Innensechkantsschrauben am Rahmen wie in befestigt.

© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

4. Montage der Wanne

Setzen Sie die Wanne (I) ein und stecken Sie den Ablaufschlauch (L) auf die Schlaucholive an der Wanne.

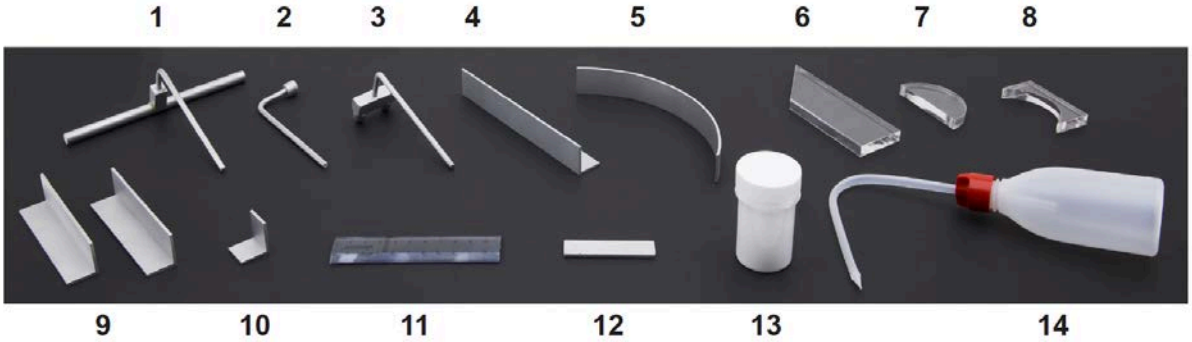
5. Montage des Vibrationsgenerators und des Steuergerätes

Befestigen Sie den Vibrationsgenerator (N) am Rahmen und schließen die Kabel des Stroboskops am Steuergerät (O) – Diodenstecker und am Vibrationsgenerator (Ministecker) an.

© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

Zubehör zur Durchführung der Versuche

Nachfolgende Zubehörteile befinden sich im Lieferumfang.



1 Wellenerreger für ebene Wellen
2 Wellenerreger für punktförmige Wellen
3 Wellenerreger für 2 punktförmige Wellen (Interferenzversuch)
4 Reflexionskörper, gerade
5 Reflexionskörper, gebogen
6 Brechungskörper, trapezförmig
7 Brechungskörper, plankonvex
8 Brechungskörper, plankonkav
9 Körper zum Aufbau eines Spaltes
10 Körper für Doppelspalt, zusammen mit (9)
11 Lineal
12 Undurchsichtiger Körper
13 Silikonfett
14 Spritzflasche

Hinweis zum Betrieb der Wellenwanne

1. Richten Sie das LED-Stroboskop mittig über dem Wasserbecken aus.
2. Schieben Sie den Ablaufschlauch ganz auf die Schlaucholive auf und schließen den Hahn vollständig.
3. Füllen sie die Wanne mit ca. 600 ml – vorzugsweise destilliertem - Wasser. Der Wasserspiegel sollte etwa 1 cm hoch sein.
4. Vor Gebrauch tragen Sie etwas Silikonfett auf die Spitze der Wellenerreger auf.
5. Nach Beendigung des Versuches entleeren Sie bitte die Wanne durch öffnen des Hahnes am Ablaufschlauch und trocknen die Wanne mit einem weichen, fusselfreien Tuch.
6. Die Brechungs- und Beugungsobjekte können ebenfalls mit einem weichen Tuch, ggf. unter Zuhilfenahme von Isopropanol gereinigt werden.
7. Aus Gründen einer besseren Sichtbarkeit sollte der Raum etwas abgedunkelt werden.

© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

1. Darstellung von Oberflächenwellen

Oberflächenwellen auf dem Wasser sind 2-dimensionaler Natur. Sie verhalten sich nicht wie normale Druckwellen, da die Moleküle auf der Wasseroberfläche durch Aufwärtskräfte stärker betroffen sind als Moleküle tiefer im Wasser. Nach oben gerichtete Kräfte werden durch die Natur der Luft, die nach unten gerichtete Kräfte durch die Natur des Wassers verursacht. Die Wasserdichte ist sehr viel größer als die Dichte von Luft.

Die Oberflächenwellen sind eine Kombination aus Transversal- und Longitudinalwellen. Die periodische Welle hängt von folgenden Größen ab:

Amplitude (A)	: maximaler absolute Wert des Signals.
Periode (T)	: Dauer eines kompletten Erregungszyklusses, gemessen in s
Frequenz (f)	: Anzahl der Schwingungen pro s, gemessen in Hz.
Wellenlänge (λ)	: minimaler Abstand zweier identischer Wellenzustände, gemessen in m
Geschwindigkeit (v)	: fortschreitende Geschwindigkeit der Wellenfront, gemessen in m/s
Wellenfront	: Die Menge der Punkte, die zu einer gegebenen Zeit in Phase schwingen.

Zwischen Periode und Frequenz besteht folgende Beziehung:

$$f = \frac{1}{T}$$

Zwischen Frequenz, Wellenlänge und Geschwindigkeit der Wellenfront besteht folgende Beziehung:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

2. Wellenfronten

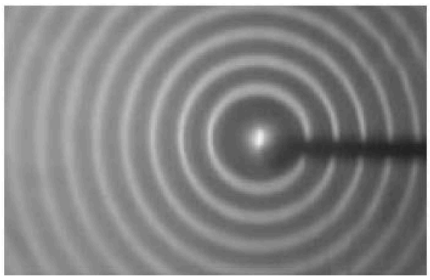
2.1. Kreisförmige Wellenfronten

Erforderliches Material: Wellenwanne, Erreger für eine punktförmige Welle

Durchführung des Versuchs

Füllen Sie Wasser bis zu einer Wasserspiegelhöhe von ca. 10 mm in die Wanne. Montieren Sie den Erreger für eine punktförmige Welle an den Schwingungsgenerator. Justieren Sie die Höhe so, dass der Erreger gerade die Wasseroberfläche berührt.

Stellen Sie am Steurgerät eine Frequenz von 30 bis 40 Hz ein, so, dass sich ein scharfes Bild auf dem Schirm einstellt. Stellen Sie den Schalter für die Synchronisation auf *SYNCHRO OFF*. Sie sehen, dass sich die Wellen ausgehend vom Mittelpunkt nach außen ausbreiten. Wenn Sie den Schalter am Steuergerät auf *SYNCHRO ON* stellen, erhalten Sie ein stehendes Bild der Wellenfront, da das Stroboskop in Phase mit dem Schwingungsgenerator arbeitet.



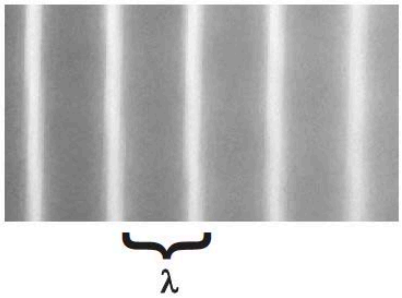
Die dunklen Bereiche der Wellenfront repräsentieren die Minima, die hellen Bereiche die Maxima der Wellenfront.

2.2. Ebene Wellenfronten

Erforderliches Material: Wellenwanne, Erreger für ebene Welle

Durchführung des Versuchs

Ersetzen Sie nun den Punktförmigen Erreger durch den Erreger für ebene Wellenfronten. Es ergibt sich folgende Situation:



© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

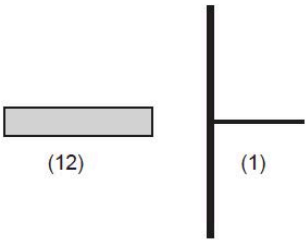
3. Bestimmung der Wellenlänge

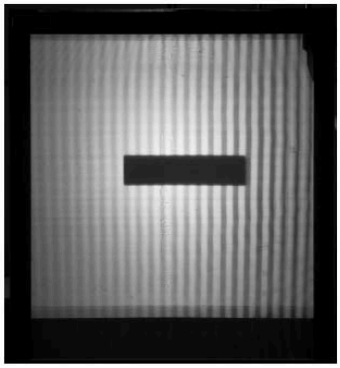
Erforderliches Material: Wellenwanne, Erreger für ebene Welle, undurchsichtiger Körper.

Durchführung des Versuchs

Führen sie Versuch 2.2 erneut durch und legen den undurchsichtigen Körper auf den Boden der Wanne. Verschieben Sie den Körper (Kantenlänge 60 mm) solange, bis eine Kante des Körpers mit einer hellen Wellenfront abschließt. Notieren Sie die Anzahl *n* der Wellenlängen entlang der Längsseite des Körpers. Es gilt folgende Beziehung:

$$\lambda = \frac{d}{n}$$





4. Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wellenfronten

nachdem Sie in Versuch 3 die Wellenlänge bestimmt haben. Berechnen Sie die Ausbreitungsgeschwindigkeit gemäß folgender Formel:

$$v = \lambda f$$

wobei *f* die Frequenz des Wellengenerators ist. Die Theorie besagt, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit auf der Wasseroberfläche proportional zur Quadratwurzel der Wassertiefe ist.

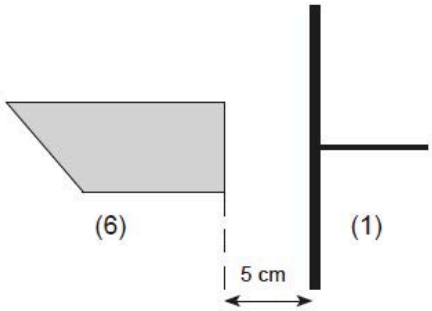
© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

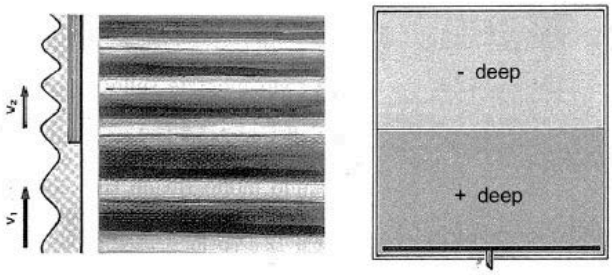
4.1 Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellenfront auf der Wasseroberfläche ist abhängig von der Wassertiefe.

Erforderliches Material: Wellenwanne, Erreger für ebene Welle, trapezförmiger Körper.

Durchführung des Versuchs

Stellen Sie sicher, dass die Wassertiefe 10 mm beträgt. Wiederholen Sie Versuch 2.2 indem Sie den trapezförmigen Körper gemäß untenstehender Abb. in die Wanne legen. Sie erkennen, dass im Bereich des Körpers – hier ist der Wasserstand niedriger – die Geschwindigkeit der wellen langsamer ist, was durch dichtere Wellen signalisiert wird. Um ein signifikantes Ergebnis zu erhalten, lassen sie durch den Schlauch soviel Wasser ab, bis der Trapezkörper von einer ca. 1mm hohen Wasserschicht bedeckt ist.





5. Reflexion

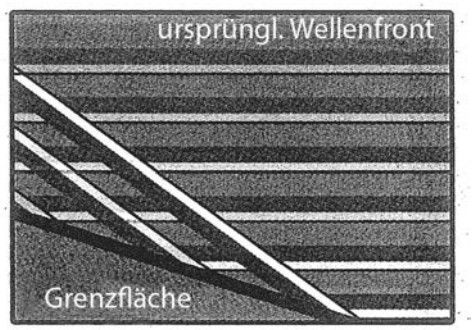
Wird entlang der Wellenfront ein starres Hindernis eingebracht, lassen sich Reflexionserscheinungen beobachten.

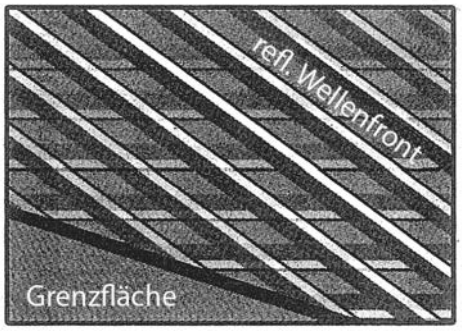
5.1 Reflexion an einer geraden Fläche

Erforderliches Material: Wellenwanne, Erreger für ebene Welle, Erreger für punktförmige Wellen, Reflexionskörper gerade.

Durchführung des Versuchs

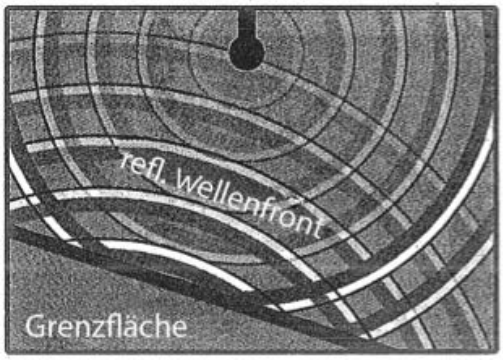
Das Phänomen der Reflexion ebener Wellen an einer ebenen Fläche wird in nachfolgender Abb. verdeutlicht. Auf dem Projektionsschirm ist der Schnittpunkt der einfallenden und reflektierten Wellenfronten zu erkennen.





© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

Ersetzen sie nun den Wellenerzeuger für ebene Wellen durch den punktförmigen Erreger und wiederholen den Versuch.



Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die reflektierende Grenzfläche die Energie der Wellenfront reflektiert ohne die Wellenform selbst zu verändern.

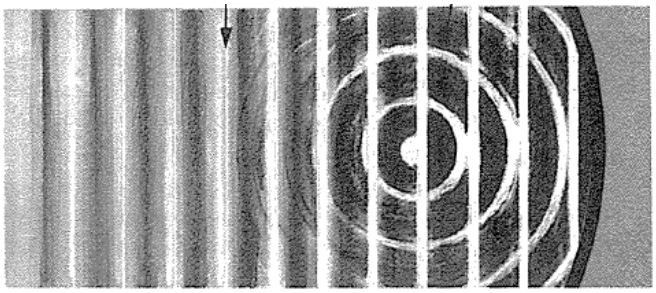
5.1 Reflexion an einer gebogenen Fläche

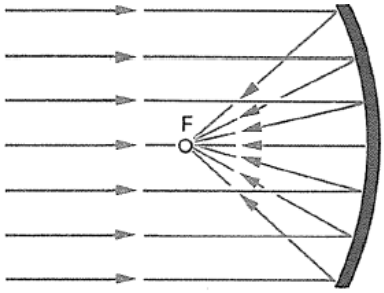
Erforderliches Material: Wellenwanne, Erreger für ebene Welle, Reflexionskörper gebogen.

<u>Durchführung des Versuchs</u>

Eine gekrümmte Reflexionsfläche spiegelt nicht nur die Energie der einfallenden Wellenfront sondern verändert auch die Form der reflektierten Wellenfront. Im Spezialfall einer asphärisch gekrümmten Reflexionsfläche ergeben sich kreisförmig reflektierte Wellen, die sich in einem Punkt konzentrieren. Dieses Phänomen zeigt sich, wenn der Wellenerreger für ebene Wellen in 10 cm Abstand vom gekrümmten Reflektor positioniert wird.

Ursprüngliche Wellenfront refl. Wellenfront





© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

6. Brechung von Wellen

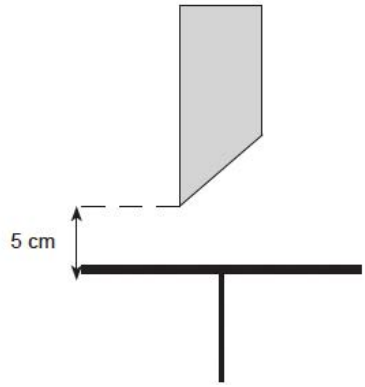
Wenn die Oberfläche in Bezug auf die Erzeugung ebener Wellen zwischen Bereichen unterschiedlicher Geschwindigkeiten geneigt ist, verändert sich die Wellenlänge und es erfolgt eine Richtungsänderung der Wellenausbreitung. Mit nachfolgendem Versuchsaufbau lässt sich das Phänomen der Brechung untersuchen.

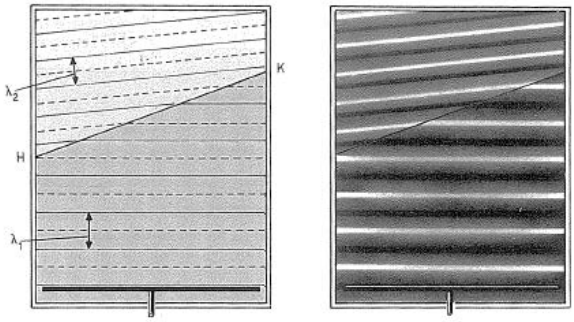
6.1 Brechung an einer ebenen schrägen Grenzschicht

Erforderliches Material: Wellenwanne, Erreger für ebene Welle, Brechungskörper, trapezförmig

<u>Durchführung des Versuchs</u>

Positionieren Sie den trapezförmigen Körper wie in nachfolgender Abbildung gezeigt.





In diesem Fall bewirkt der Effekt der unterschiedlichen Geschwindigkeiten zwei Dinge:

- die Wellenlänge wird verkleinert
- die Richtung der reflektierten Welle ändert sich

Der Effekt lässt sich durch leichtes Absenken des Wasserspiegels auf 1 mm Überdeckung ausgeprägt zeigen.

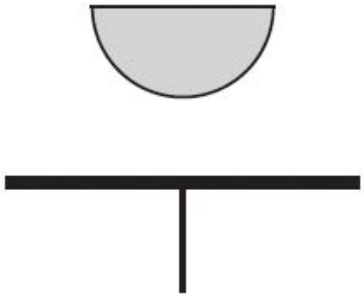
© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

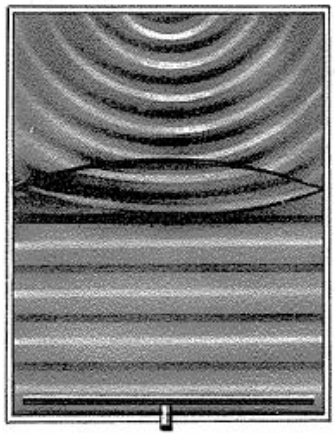
6.2 Brechung an einer konvexen Grenzschicht

Erforderliches Material: Wellenwanne, Erreger für ebene Welle, Brechungskörper, plankonvex

Durchführung des Versuchs

Positionieren Sie den plankonvexen Körper wie in nachfolgender Abbildung gezeigt.



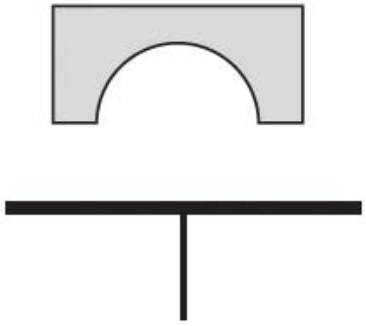


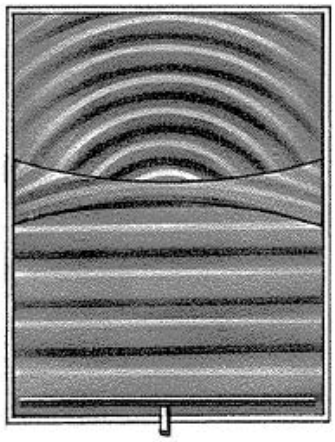
6.3 Brechung an einer konkaven Grenzschicht

Erforderliches Material: Wellenwanne, Erreger für ebene Welle, Brechungskörper, plankonkav

Durchführung des Versuchs

Positionieren Sie den plankonkaven Körper wie in nachfolgender Abbildung gezeigt.





© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

7. Überlagerung von Wellen - Interferenz

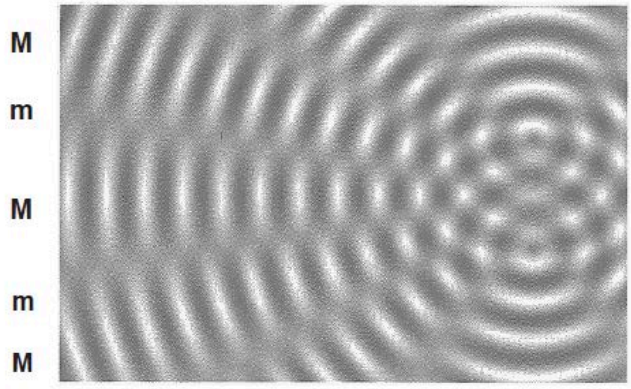
gemäß dem Superpositionsprinzip entspricht die Auslenkung fortschreitender Welle in einem Medium in einem Punkt der Vektorsumme der Auslenkungen beider (Einzel-)Wellen. Hierbei spielen Amplitude, Wellenlänge und die Phasenlage der einzelnen zur Interferenz gebrachten Wellen eine Rolle. Deshalb ist es schwierig die Charakteristik der resultierenden Welle zu bestimmen. Einfacher ist es zwei Wellen gleicher Frequenz und konstanter Phasenlage zueinander (also kohärente Wellen) zu untersuchen. Dies geschieht mit nachfolgendem Versuchsaufbau.

Erforderliches Material: Wellenwanne, Erreger für zwei punktförmige Wellen.

<u>Durchführung des Versuchs</u>

Füllen Sie Wasser bis zu einer Wasserspiegelhöhe von ca. 10 mm in die Wanne. Montieren Sie den Erreger für zwei punktförmige Welle an den Schwingungsgenerator. Justieren Sie die Höhe so, dass der Erreger gerade die Wasseroberfläche berührt.

Stellen Sie am Steuergerät eine Frequenz von 30 bis 40 Hz ein und beobachten dabei das Bild auf dem Projektionsschirm. Sie erkennen dabei deutlich Bereiche der Wellen maximaler Intensität (konstruktive Interferenz - *M*) und Bereiche geringer Intensität (destruktive Interferenz - *m*).



Wir beobachten eine max. Amplitude in den Punkten, in denen die Differenz Δx zwischen zwei Wellen ein *geradzahliges* Vielfaches der halben Wellenlänge λ beträgt. Eine minimale Amplitude beobachten wir in den Punkten, in denen die Differenz zwischen zwei Amplituden ein *ungeradzahliges* Vielfaches der halben Wellenlänge beträgt.

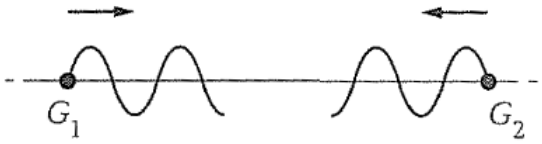
Maximale Amplitude (M) $\Delta x = 2n \frac{\lambda}{2}$ für n= 0; 1; 2; ...

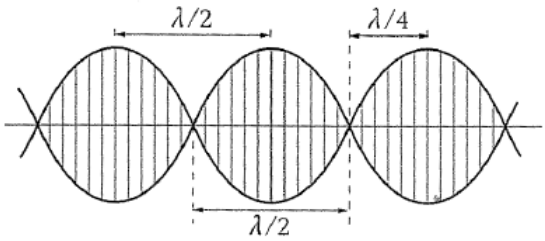
Minimale Amplitude (m) $\Delta x = (2n+1) \frac{\lambda}{2}$ für n= 0; 1; 2; ...

© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

8. Stehende Wellen

Ein Sonderfall von Interferenz ist das Phänomen, das entsteht, wenn sich zwei kohärente Wellen mit derselben Amplitude in entgegengesetzte Richtung ausbreiten. Diese erscheinung wird als stehende Welle bezeichnet (siehe nachfolgende Abbildung). Die Wellen scheinen sich nicht zu bewegen. Es gibt Punkte, an denen sich die bei der Überlagerung Maxima (Schwingungsknoten) ausbilden und solche Stellen, an denen die Amplitude immer Null (Schwingungsknoten) ist.





Mathematisch gesehen beträgt der Abstand zwischen zwei Wellenbäuchen bzw. zwei Wellenknoten λ/2. Der Abstand zwischen einem Wellenbauch und seinem benachbarten Wellenknoten beträgt λ/4.

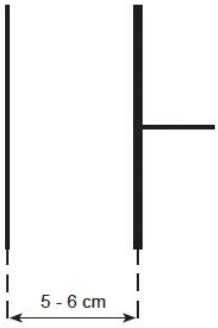
8.1 Interferenz zwischen einer ebenen Welle und ihrer Reflexion

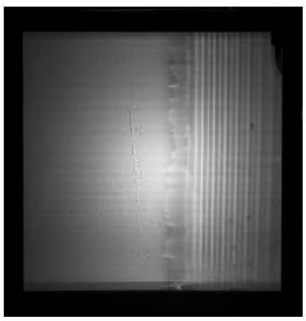
Erforderliches Material: Wellenwanne, Erreger für ebene Wellen, Lineal, Reflexionskörper, gerade.

<u>Durchführung des Versuchs</u>

Füllen Sie Wasser bis zu einer Wasserspiegelhöhe von ca. 10 mm in die Wanne. Montieren Sie der Erreger für ebene Wellen am Vibrationsgenerator so, dass der Erreger gerade die Wasseroberfläche berührt. Stellen Sie am Steuergerät eine Frequenz von ca. 40 Hz ein und stellen den Schalter für die Synchronisation zwischen Schwingungsgenerator und Stroboskop auf *SYNCHRO ON*. Sie erkennen nun ein stehendes Wellenbild. Messen Sie mit dem Lineal die Wellenlänge λ und notieren den Wert.

Positionieren Sie nun den geraden Reflexionskörper ca. 50 bis 60 mm parallel zum Erreger für ebene Wellen. Deaktivieren sie die Synchronisation zwischen LED-Stroboskop und Vibrationsgenerator, indem Sie den Schalter auf *SYNCHRO OFF* stellen. Es stellt sich die Situation gemäß nachstehender Abbildung ein.





© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

Sie werden feststellen, dass sich die Wellen nicht verändern, da es sich um stehende Wellen handelt. Wenn Sie den Abstand der hellen Bereiche mit einem Lineal ausmessen, stellen Sie folgende Relation fest:

$$d = \frac{\lambda}{2}$$

wobei *d* der gemessen Wert bei den resultierenden stehenden Wellen ist und λ die Wellenlänge der (nicht reflektierten) Ausgangswelle ist.

9. Beugung

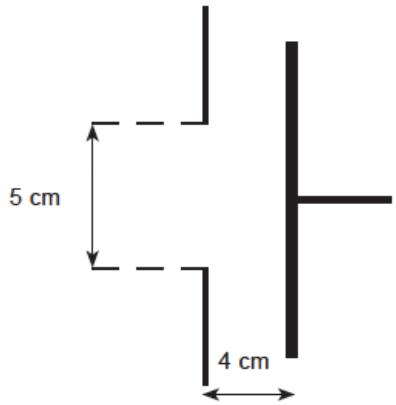
Beugung ist ein Phänomen, das immer dann auftaucht, wenn eine Wellenfront auf einen oder mehrere Spalte trifft. Die Wellenfron, die aus dem Spalt austritt verändert ihre Form in Abhängigkeit von der Spaltbreite L und der Wellenlänge λ.

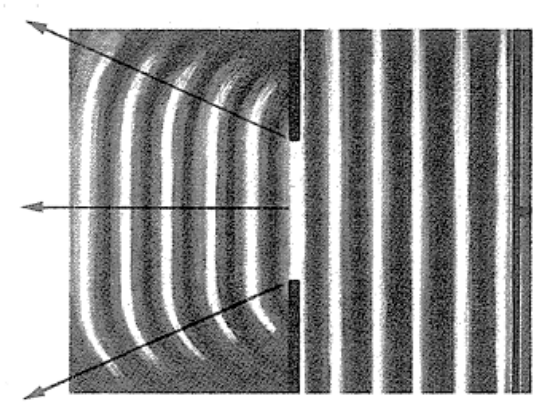
9.1 L > 4λ

Erforderliches Material: Wellenwanne, Erreger für ebene Wellen, Lineal, 1 Paar Spaltkörper

Durchführung des Versuchs

Stellen Sie den Schwingungsgenerator auf eine Frequenz von 35 Hz. Dies entspricht einer Wellenlänge von ca. 7 mm. Positionieren Sie beide Spaltkörper in einem Abstand von ca. 40 mm vom Wellenerreger so, dass ein Spalt von ca. 50 mm realisiert wird (vgl. nachfolgende Abbildung).





Sie stellen fest, dass im Bereich des Spaltes die Wellefront gerade durchläuft, wobei die Wellenfront im Bereich der Spaltgrenzen (nach außen) gekrümmt sind.

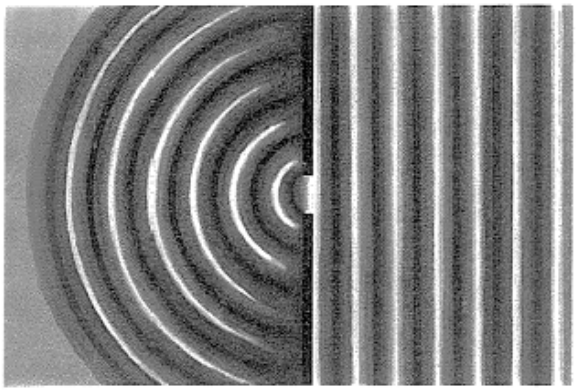
© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

9.2 L ~ λ

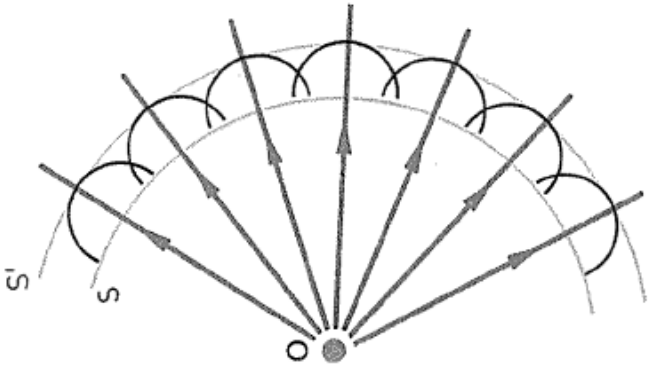
Erforderliches Material: Wellenwanne, Erreger für ebene Wellen, Lineal, 1 Paar Spaltkörper

Durchführung des Versuchs

Wiederholen Sie den Versuch, indem Sie die Spaltgröße auf 10 mm verkleinern. Es ergibt sich nun folgende Situation:



Die Abbildung zeigt, dass die ebene Welle als sphärische Welle den Spalt verlässt. Die Energie breitet sich in alle Richtungen gleich aus. Eine Erklärung der Beugungserscheinung wird durch das Prinzip von Huygens erklärt: Jeder Punkt, der von einer Welle getroffen wird, ist Ausgangspunkt einer kreis- bzw. kugelförmigen Elementarwelle, die sich zu einer neuen Wellenfront überlagern (siehe nachfolgende Abbildung).



© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

10. Das Prinzip von Huygens

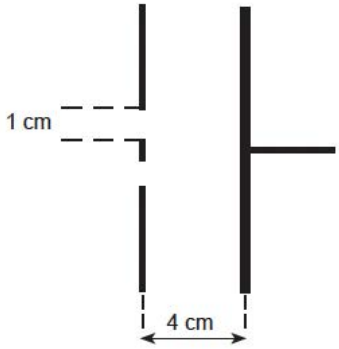
Ein Doppelspalt mit einer Spaltbreite in der Größenordnung der Wellenlänge bewirkt ein Verhalten wie zwei nebeneinander liegende punktförmige Wellenerreger. Es lassen sich hierbei entsprechende Interferenzen beobachten.

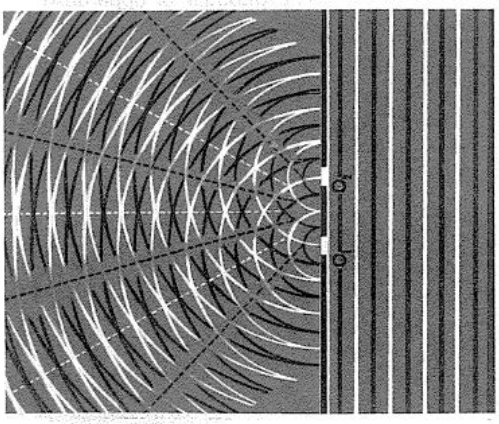
10.1 Doppelspaltversuch

Erforderliches Material: Wellenwanne, Erreger für ebene Wellen, Lineal, Spaltkörper für Doppelspalt.

Durchführung des Versuchs

Positionieren Sie den Doppelspalt 40 mm vor dem Wellenerreger für ebene Wellen. Achten sie auf eine parallele Ausrichtung. Stellen Sie die Erregerfrequenz auf ca. 40 Hz ein. Aktivieren Sie die Synchronisation zwischen Schwingungsgenerator und LED-Stroboskop mit *SYNCHRO ON*. Es ergibt sich ein Bild gemäß nachfolgender Abbildung.





Wenn die ebene Welle auf ein Hindernis der Länge l ohne Spalt trifft, ändert sich die Wellenform in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ wie folgt:

$l >> \lambda$: Hinter dem Hindernis bildet sich eine klar abgegrenzte graue Zone aus.

$l > \lambda$: Die graue Zone hinter dem Hindernis hat gekrümmte Kanten.

$L \sim \lambda$: Die graue Zone verschwindet unmittelbar hinter dem Hindernis.

Diese Effekte lassen sich mit dem nachfolgenden Versuch überprüfen.

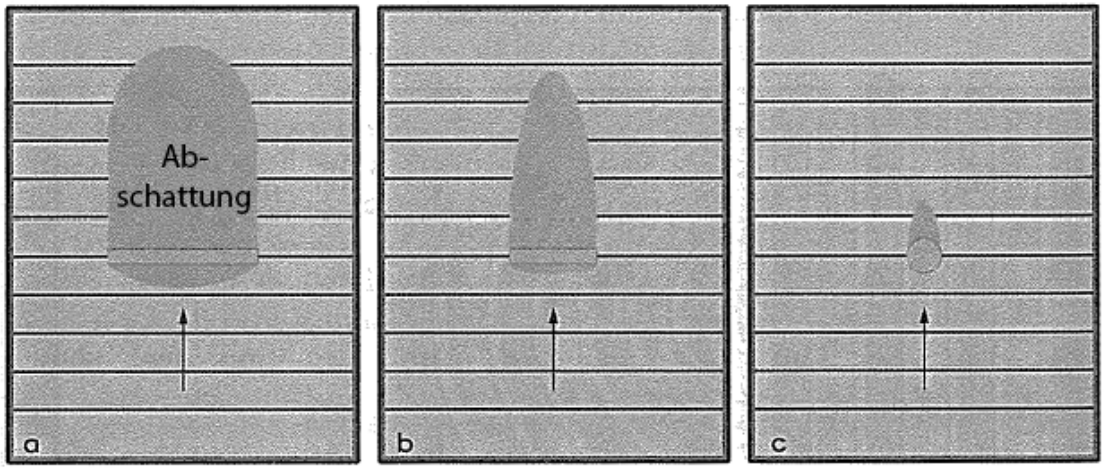
© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com

10.2 Beugung an einem Hindernis

Erforderliches Material: Wellenwanne, Erreger für ebene Wellen, Lineal, Beugungskörper unterschiedlicher Breite, Punktförmigesbeugungshindernis (z.B. Bleistift – nicht im Lieferumfang enthalten)

Durchführung des Versuchs

Positionieren Sie nacheinander unterschiedlich große Hindernisse vor der Wellenfront und beobachten die Wellenfronten hinter dem Hindernis. Es ergeben sich nachfolgende Wellenmuster mit entsprechenden Abschattungen.



Hinweis:
Die tatsächliche Ausstattung des Versuchssets kann von der Abbildung in dieser Dokumentation leicht abweichen, da unsere Geräte ständig weiterentwickelt werden.

© Alle Rechte vorbehalten – web: www.conatex.com – Email: info@conatex.com