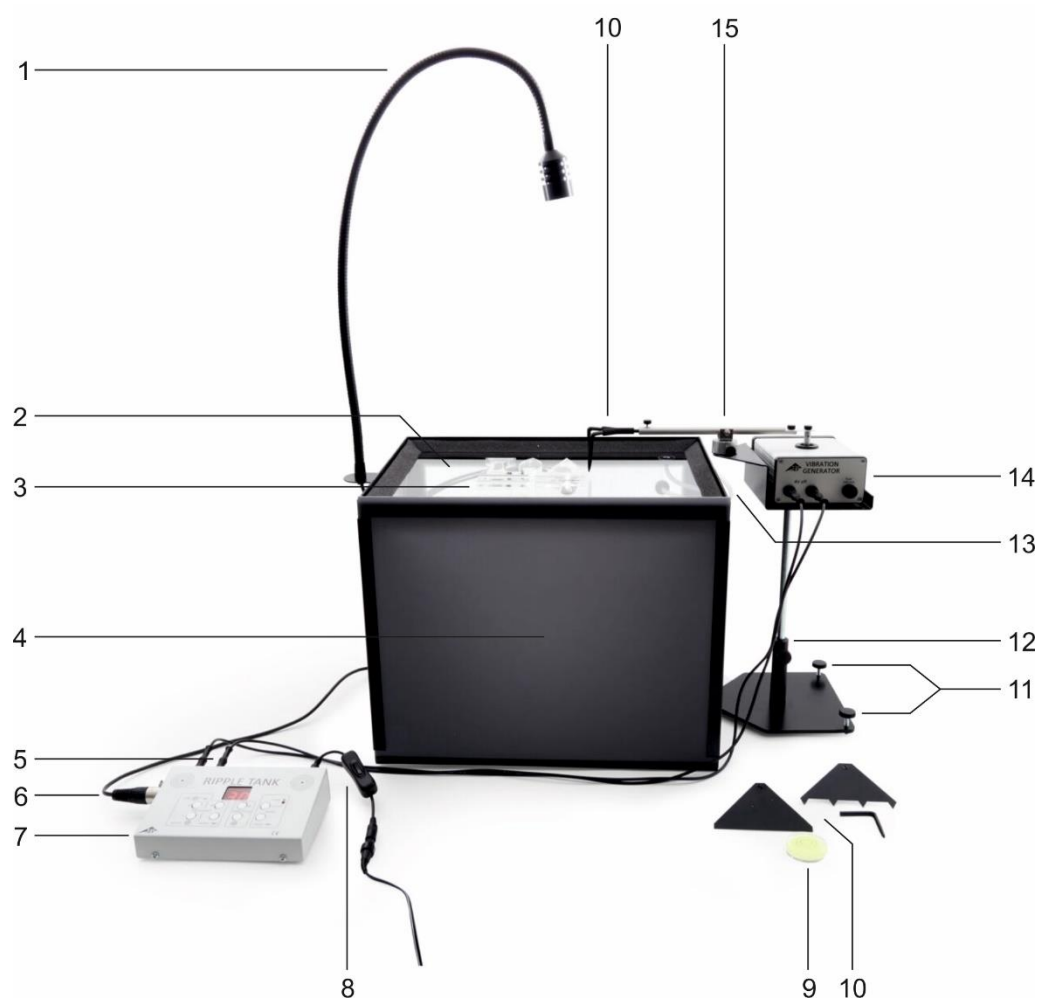


Wellenwanne 1026082

Bedienungsanleitung

11/25 Alf/GH/UD



- 1 Flexibles LED-Stroboskop mit Magnethalter
- 2 Wasserbecken
- 3 Einlegekörper
- 4 Mattscheibe
- 5 Anschlusskabel für Vibrationsgenerator
- 6 Stroboskopanschluss
- 7 Frequenzgenerator
- 8 Schalter
- 9 Libelle

- 10 Wellenerreger
- 11 Nivellierschrauben
- 12 Halter mit Fuß für Vibrationsgenerator
- 13 Ablaufschlauch
- 14 Vibrationsgenerator
- 15 Arm für Wellenerreger

1. Sicherheitshinweise

Es besteht Bruchgefahr der Glasteile der Wellenwanne.

- Wellenwanne keinen mechanischen Belastungen aussetzen.

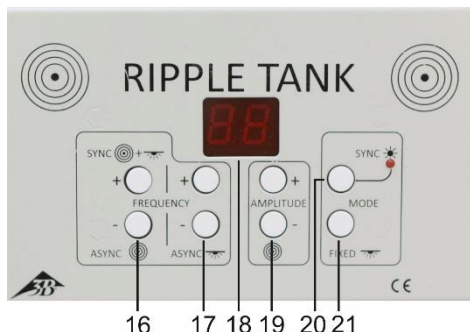
2. Lieferumfang

- 1 Wellenwanne mit Projektionsspiegel, Mattscheibe und Ablaufschlauch
- 1 Flexibles LED-Stroboskop mit Magnethalter
- 1 Frequenzgenerator
- 1 Steckernetzgerät 12 V DC
- 1 Schalter
- 1 Vibrationsgenerator
- 1 Halter mit Fuß für Vibrationsgenerator
- 2 Anschlusskabel für Vibrationsgenerator
- 1 Arm für Wellenerreger
- 1 Satz 4 Wellenerreger (ebene Wellen, Kreiswellen, zwei / vier interferierende Kreiswellen)
- 1 Satz 7 Einlegekörper (Prisma, Bikonvexlinse, Bikonkavlinse, drei lange / ein kurzer Quader)
- 1 Libelle
- 1 Aufbewahrungskoffer

3. Beschreibung

Die Wellenwanne dient der anschaulichen Demonstration grundlegender Phänomene der Wellenlehre wie die Erregung von ebenen Wellen und Kreiswellen, Brechung, Reflexion, Beugung und Interferenz anhand auf eine Mattscheibe projizierter Wasserwellen.

3.1 Bedienelemente Frequenzgenerator



- 16 Stellknöpfe zur Einstellung der Erregerfrequenz im synchronen Betrieb
17 Stellknöpfe zur Einstellung der Erregerfrequenz im asynchronen Betrieb
18 Frequenzanzeige
19 Stellknöpfe zur Einstellung der Erregeramplitude

Die Wellenwanne besteht aus einem Aluminiumrahmen, auf den ein flaches Becken mit Glasboden aufgesetzt ist. Im Glasboden befindet sich eine Öffnung mit Ablaufschlauch zum Ablassen des Wassers. Die horizontale Ausrichtung des Beckens erfolgt mit Hilfe einer Libelle über die vier höhenverstellbaren Füße unter der Wellenwanne. Durch lokale mechanische Schwingungen, deren Frequenz und Amplitude am Frequenzgenerator eingestellt werden, werden im Wasser ebene Wellen oder Kreiswellen erregt.

Eine LED-Lampe mit Magnethalter beleuchtet die Wanne von oben als Stroboskop mit synchroner oder asynchroner Frequenz. Im Rahmen befindet sich ein schräg gestellter Spiegel, über den die Wellen auf eine Mattscheibe projiziert werden. Der Anschluss des Stroboskops erfolgt über eine Dreipolbuchse an der linken Seite des Frequenzgenerators.

Am Frequenzgenerator lassen sich die Frequenz des Stroboskops sowie die Frequenz und die Amplitude der Wellenerregung getrennt einstellen. Die eingestellte Frequenz wird am Frequenzgenerator permanent angezeigt, die Amplitude temporär bei Änderung. Die Stromversorgung erfolgt über ein Steckernetzgerät.

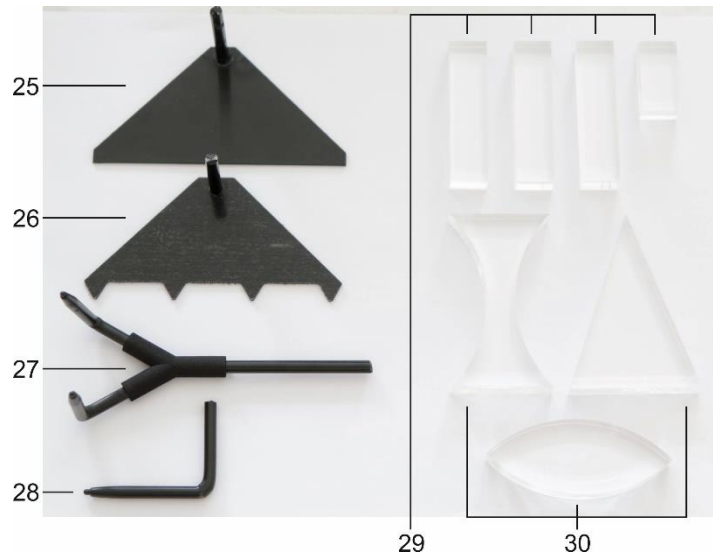
Die Wellenerregung erfolgt mit Hilfe eines Vibrationsgenerators. Ein Halter mit Fuß dient zur Aufnahme und Positionierung des Vibrationsgenerators. Im Tubus des Fußes befindet sich eine Schraubenfeder als Stoßdämpfer. Die Wellenerreger werden mechanisch über einen Arm angekoppelt. Die Stromversorgung erfolgt mit Hilfe zweier Anschlusskabel über den Frequenzgenerator. Zur Durchführung der Experimente stehen verschiedene Wellenerreger und Einlegekörper zur Verfügung.

An den Seiten der Wellenwanne befinden sich zwei Aussparungen zum Greifen für den Transport.



- 20 Umschalter synchroner / asynchroner Betrieb
21 Ein- / Ausschalter der Stroboskop-Beleuchtung
22 Anschlussbuchse für Stroboskop
23 Anschlussbuchse für Steckernetzteil
24 Anschlussbuchsen für Vibrationsgenerator

3.2 Zubehör



- 25 Erreger für ebene Wellen
 26 Erreger für vier interferierende Kreiswellen
 27 Erreger für zwei interferierende Kreiswellen
 28 Erreger für Kreiswellen

- 29 Einlegekörper drei lange, ein kurzer Quader
 30 Einlegekörper Prisma, Bikonkav- und Bikonvexlinse

4. Technische Daten

Abmessungen

Wanne:	ca. 400x300x330 mm ³
Wasserbecken (nutzbare Glasfläche):	ca. 360x260 mm ²
Mattscheibe:	ca. 395x320 mm ²
Projektionsspiegel:	ca. 420x395 mm ²

Stroboskopleuchte

Leuchtmittel:	LED 3W
Durchmesser:	34 mm
Maximale Blitzfrequenz:	60 Hz

Frequenzgenerator

Abmessungen:	ca. 170x110x50 mm ³
Frequenzbereich:	1 – 60 Hz, in 1 Hz Schritten einstellbar
Amplitudeneinstellung:	1 – 30%
Versorgungsspannung:	12 V DC/ 1A über Steckernetzgerät 100 – 240 V

Vibrationsgenerator

Abmessungen:	ca. 110x90x110 mm ³
Stromstärke:	max. 400 mA
Überlastschutz:	500-mA-Sicherung
Anschluss:	4-mm-Sicherheitsbuchsen

5. Bedienung

Zusätzlich empfohlen:

1 Becherglas, 800 ml, hohe Form	1025694
1 Spritzflasche 500 ml	1009812
Wasser	

- Die Wellenwanne mit der Mattscheibe nach vorne auf einer waagrechten Unterlage erschütterungsfrei aufstellen.
- Die vier höhenverstellbaren Füße unter der Wellenwanne so weit herausschrauben, dass man den Fuß des Halters für den Vibrationsgenerator unter die Wellenwanne schieben kann, ohne dass dieser die Wellenwanne berührt.
- Die Wellenwanne mit Hilfe von Libelle und höhenverstellbaren Füßen horizontal ausrichten.
- Den Ablaufschlauch so in der Klemmvorrichtung an der Wellenwanne anbringen, dass er senkrecht nach oben zeigt.
- Den Halter mit Fuß für Vibrationsgenerator rechts mittig unter die Wellenwanne schieben, so dass die spitze Seite des Fußes zur Wellenwanne zeigt. Ggf. den Halter im Fuß so drehen und fixieren, dass seine spitze Seite ebenfalls zur Wellenwanne zeigt.
- Den Halter mit Hilfe von Libelle und den beiden Nivellierschrauben am Fuß horizontal ausrichten

- Den Vibrationsgenerator mit dem Bedienfeld nach vorne auf dem Halter positionieren.
- Den Arm für Wellenerreger-Module mit Hilfe seines Magnetfußes auf die Spitze des Halters setzen und mit Hilfe der Rändelschraube am Stift des Vibrationsgenerators befestigen.
- Gewünschten Wellenerreger in den Arm stecken und mit Hilfe der Rändelschraube fixieren.
- Verbindung zwischen Frequenzgenerator und Vibrationsgenerator über die beiden 4-mm-Sicherheitskabel herstellen.
- Das Stroboskop mit Hilfe des Magnethalters außen an der Wellenwanne befestigen und über das dreipolige Kabel an den Frequenzgenerator anschließen.
- Den Frequenzgenerator über den Schalter und das Steckernetzgerät an das Stromnetz anschließen.

Die Wellenwanne mit 5 mm Wasser befüllen. Die Einlegekörper ragen dann über die Wasseroberfläche hinaus.

- Die Eintauchtiefe des Wellenerregers durch Verstellen der Höhe des Halters so wählen, dass die Unterkante des Wellenerregers die Wasseroberfläche gerade berührt.
- Den Frequenzgenerator einschalten.

Beim Starten ist der synchrone Betrieb mit einer Frequenz von 30 Hz und einer Amplitude von 10% voreingestellt. Bei synchroner Erreger- und Stroboskopfrequenz können stehende Wellenbilder realisiert werden, bei asynchroner laufende.

- Das Stroboskop in Höhe und Position so ausrichten, dass die Wellenwanne vollständig ausgeleuchtet wird.
- Experiment durchführen. Ggf. Wassertiefe, Position der Wellenerreger sowie Frequenz und Amplitude der Schwingung anpassen, um die Darstellung der zu beobachtenden Phänomene zu optimieren.
- Nach Beendigung des Experiments Wellenwanne über den Ablaufschlauch in ein Becherglas entleeren.
- Das Gerät sorgfältig abtrocknen, um Kalkrückstände zu vermeiden.

6. Beispieleexperimente

6.1 Wellenerregung

- Sicherstellen, dass die Wellenwanne mit 5 mm Wasser befüllt ist.
- Nacheinander die entsprechenden Wellenerreger bis zum Anschlag in den Arm stecken, mit Hilfe der Rändelschraube fixieren und so ebene Wellen, Kreiswellen oder interferierende Kreiswellen erzeugen (Fig. 1a – d). Die

Eintauchtiefe des Wellenerregers durch Verstellen der Höhe des Halters jeweils so wählen, dass die Unterkante des Wellenerregers die Wasseroberfläche gerade berührt.

6.2 Brechung

- Sicherstellen, dass die Wellenwanne mit 5 mm Wasser befüllt ist.
- Den Erreger für ebene Wellen bis zum Anschlag in den Arm stecken und mit Hilfe der Rändelschraube fixieren.
- Die Bikonvexlinse, die Bikonkavlinse oder das Prisma mittig einige Zentimeter vor dem Wellenerreger in die Wellenwanne legen.
- Die Vorderkanten der Bikonkavlinse mit Hilfe zweier langer, hochkant gestellter Quader abschirmen (Fig. 2b), um unerwünschte Randeffekte wie Beugungs- und Interferenzerscheinungen zu minimieren.
- Das Prisma so drehen, dass die lange Seite, die dem Wellenerreger abgewandt ist, parallel zum Wellenerreger liegt (Fig. 2c).

Die zugewandte lange Seite schließt dann mit dem Wellenerreger einen Winkel von ca. 40° ein, der dem Spitzenwinkel des Prismas entspricht.

- Wasser nachfüllen, so dass der Einlegekörper vollständig mit Wasser bedeckt wird.
- Die Eintauchtiefe des Wellenerregers durch Verstellen der Höhe des Halters so wählen, dass die Unterkante des Wellenerregers die Wasseroberfläche gerade berührt.

Zur Beobachtung der Brechung darf der Einlegekörper nur knapp mit Wasser bedeckt sein.

- Den Frequenzgenerator einschalten und die Darstellung auf der Mattscheibe beobachten. Mit Hilfe z.B. einer Spritzflasche so viel Wasser aus der Wellenwanne entnehmen, bis hinter dem Einlegekörper die Brechung zu sehen ist. Bei mehrmaliger Entnahme die Spritzflasche zwischendurch in ein Becherglas entleeren. Eintauchtiefe des Wellenerregers und ggf. Frequenz und Amplitude anpassen, um die Darstellung zu optimieren.
- Das Experiment mit den anderen Einlegekörpern wiederholen.

Hinter der Bikonvexlinse entstehen konvergente Kreiswellen, die in einem Brennpunkt zusammenlaufen (Fig. 2a). Hinter der Bikonkavlinse entstehen divergente Kreiswellen, deren Ursprung in einem virtuellen Brennpunkt vor der Linse zu liegen scheint (Fig. 2b). Das Prisma leitet die ebenen Wellen um (Fig. 2c).

Oberhalb der Einlegekörper ist die Wassertiefe deutlich geringer als in der Umgebung der Einlegekörper. In solchen Bereichen geringer Wassertiefe laufen die Wellen langsamer, infolgedessen nimmt die Wellenlänge ab. Dementsprechend werden die Wellen beim Übergang vom tiefen in das flache Wasser gebrochen, vergleichbar mit dem Übergang von Lichtwellen von einem optisch dünneren in ein optisch dichteres Medium.

6.3 Reflexion

- Sicherstellen, dass die Wellenwanne mit 5 mm Wasser befüllt ist.
- Den Erreger für ebene Wellen bis zum Anschlag in den Arm stecken und mit Hilfe der Rändelschraube fixieren. Die Eintauchtiefe des Wellenerregers durch Verstellen der Höhe des Halters so wählen, dass die Unterkante des Wellenerregers die Wasseroberfläche gerade berührt.
- Die Bikonvexlinse oder die Bikonkavlinse in die Wellenwanne legen und das Reflexionsmuster beobachten.

Bei der Reflexion von ebenen Wellen an gekrümmten Hindernissen wirkt die Bikonvexlinse wie ein Wölbspiegel (Fig. 3a), die Bikonkavlinse wie ein Hohlspiegel (Fig. 3b).

- Die drei langen Quader unter 45° vor den Wellenerreger legen, so dass ein gerades, lückenloses Hindernis entsteht.

Bei der Reflexion von ebenen Wellen wirkt das gerade Hindernis wie ein Planspiegel. Die reflektierten Wellen sind wieder eben. Die Wellenlänge ändert sich nicht. Es gilt Einfallswinkel = Ausfallswinkel (Fig. 3c).

- Das Experiment mit dem Erreger für Kreiswellen wiederholen. Dazu das gerade Hindernis näher an den Wellenerreger heranschieben.

Bei der Reflexion von Kreiswellen wirkt das gerade Hindernis wie ein Planspiegel. Die reflektierten Wellen sind wieder kreisförmig. Ihr Ursprung liegt in einem virtuellen Punkt hinter dem geraden Hindernis, spiegelsymmetrisch zum Punkt der Erregung (Fig. 3d).

6.4 Beugung

- Sicherstellen, dass die Wellenwanne mit 5 mm Wasser befüllt ist.
- Den Erreger für ebene Wellen bis zum Anschlag in den Arm stecken und mit Hilfe der Rändelschraube fixieren. Die Eintauchtiefe des Wellenerregers durch Verstellen der Höhe des Halters so wählen, dass die Unterkante des Wellenerregers die Wasseroberfläche gerade berührt.

- Mit Hilfe von zwei langen Quadern nacheinander einen Einfachspalt mit drei unterschiedlichen Spaltbreiten realisieren, 1) deutlich größer als die Wellenlänge, 2) etwas größer als die Wellenlänge und 3) kleiner als die Wellenlänge.

Im ersten Fall passieren die ebenen Wellen den Spalt unverändert. Ausgehend von den Kanten breiten sich Kreiswellen mit schwächerer Amplitude in den abgeschatteten Bereich aus (Fig. 4a). Im zweiten Fall interferieren die von den Kanten ausgehenden Kreiswellen. Es bilden sich Interferenzmaxima und -minima aus, die auf Hyperbeln liegen, mit Brennpunkten an den Kanten als Quellen der Wellenerregung (Fig. 4b). Im dritten Fall bilden sich Kreiswellen, der Spalt wirkt wie ein punktförmiger Erreger (Fig. 4c).

- Einen langen Quader als Hindernis in die Wellenwanne legen.

Die Kanten des Quaders wirken wie die Erreger von Kreiswellen, die sich auch in den abgeschatteten Bereich ausbreiten und hinter dem Quader interferieren (Fig. 4d).

6.5 Interferenz

- Sicherstellen, dass die Wellenwanne mit 5 mm Wasser befüllt ist.
- Nacheinander die Erreger für zwei und vier interferierende Kreiswellen in den Arm stecken und mit Hilfe der Rändelschraube fixieren. Die Eintauchtiefe der Wellenerreger durch Verstellen der Höhe des Halters jeweils so wählen, dass die Unterkante der Wellenerreger die Wasseroberfläche gerade berührt.

- Die Interferenzmuster beobachten.

Die Interferenzmaxima und -minima liegen auf Hyperbeln mit Brennpunkten in den Punkten der Wellenerregung (Fig. 1c, d).

- Den Erreger für ebene Wellen bis zum Anschlag in den Arm stecken und mit Hilfe der Rändelschraube fixieren. Die Eintauchtiefe des Wellenerregers durch Verstellen der Höhe des Halters so wählen, dass die Unterkante des Wellenerregers die Wasseroberfläche gerade berührt.
- Mit Hilfe von zwei langen und dem kurzen Quader einen Doppelspalt realisieren.
- Die Interferenzmuster beobachten.

Die Interferenzmuster hinter dem Doppelspalt gleichen denen des Wellenerregers für zwei interferierende Kreiswellen. Nach dem Huygensschen Prinzip entstehen zeitgleich an beiden Spalten kreisförmige Wellenfronten mit gleicher Frequenz und Amplitude (Fig. 5).

6.6 Bestimmung der Wellenlänge

Zur Bestimmung der Wellenlänge ist der Vergrößerungsfaktor b zu berücksichtigen.

Der Vergrößerungsfaktor b lässt sich berechnen, indem z.B. die Bikonkavlinse auf die Wellenwanne gelegt und deren Größe A ins Verhältnis zur Größe ihrer Abbildung auf dem Beobachtungsschirm A' gesetzt wird.

$$b = A'/A$$

Aus der auf dem Beobachtungsschirm gemessenen Wellenlänge λ' ergibt sich die tatsächliche Wellenlänge λ :

$$\lambda = \lambda'/b$$

7. Aufbewahrung und Reinigung

- Wellenwanne staubfrei aufbewahren.
- Wellenwanne nach Gebrauch sorgfältig trocknen, um Kalkrückstände und Wasserflecken zu vermeiden.

8. Entsorgung

- Die Verpackung ist bei den örtlichen Recyclingstellen zu entsorgen.
- Sofern das Gerät selbst verschrottet werden soll, so gehört dieses nicht in den normalen Hausmüll. Es sind die lokalen Vorschriften zur Entsorgung von Elektroschrott einzuhalten.



Wellenerregung

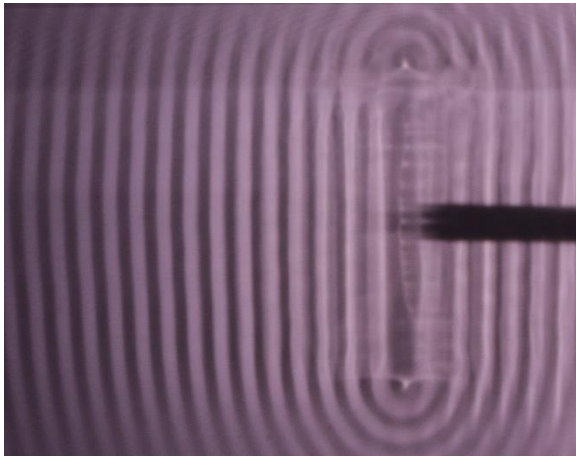


Fig. 1a: Erregung von ebenen Wellen

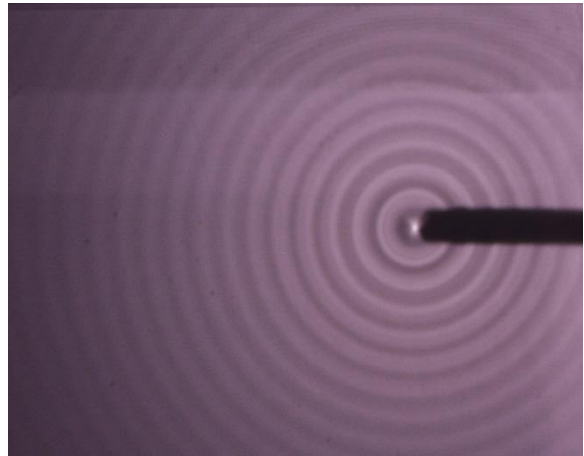


Fig. 1b: Erregung von Kreiswellen

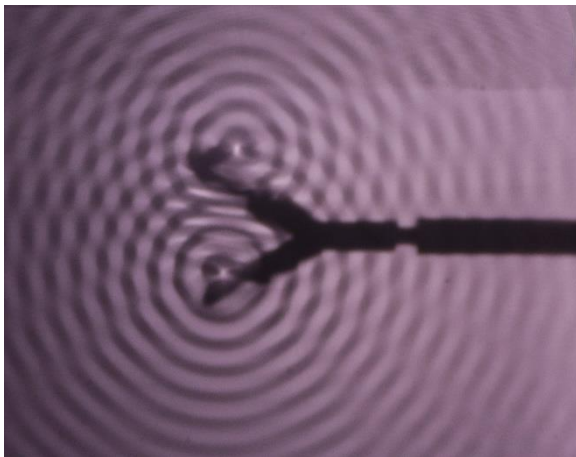


Fig. 1c: Erregung von zwei interferierenden Kreiswellen

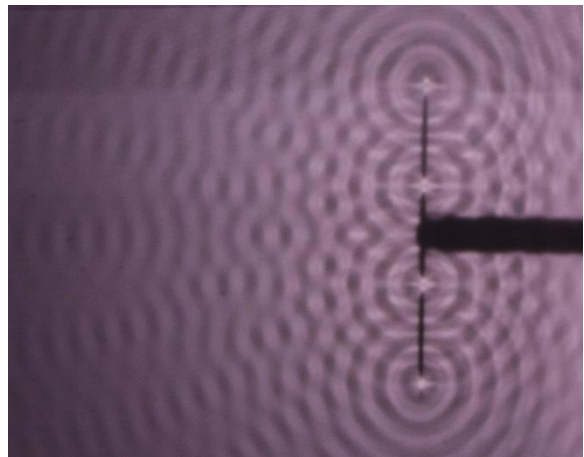


Fig. 1d: Erregung von vier interferierenden Kreiswellen

Brechung

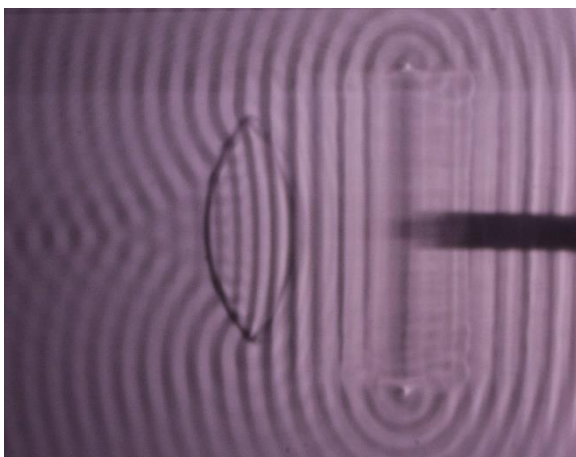


Fig. 2a: Brechung von ebenen Wellen an einer Bikonvexlinse

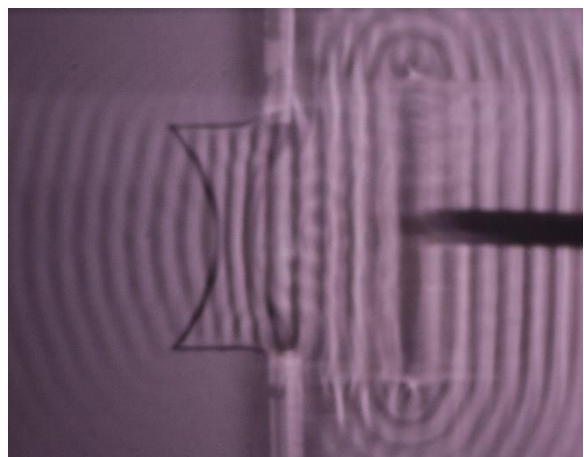


Fig. 2b: Brechung von ebenen Wellen an einer Bikonkavlinse. Die Vorderkanten der Linse sind mit Hilfe zweier langer, hochkant gestellter Quader abgeschirmt, um unerwünschte Randeefekte wie Beugungs- und Interferenzerscheinungen zu minimieren

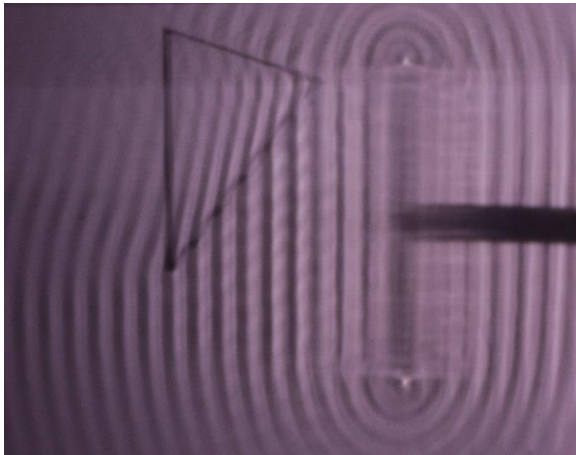


Fig. 2c: Brechung von ebenen Wellen an einem Prisma

Reflexion

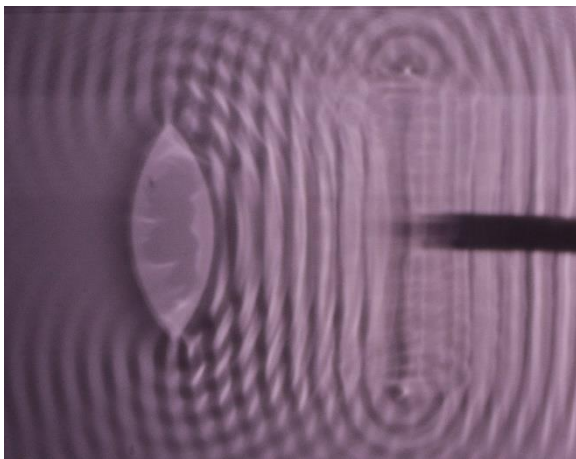


Fig. 3a: Reflexion von ebenen Wellen an einer Bikonvexlinse

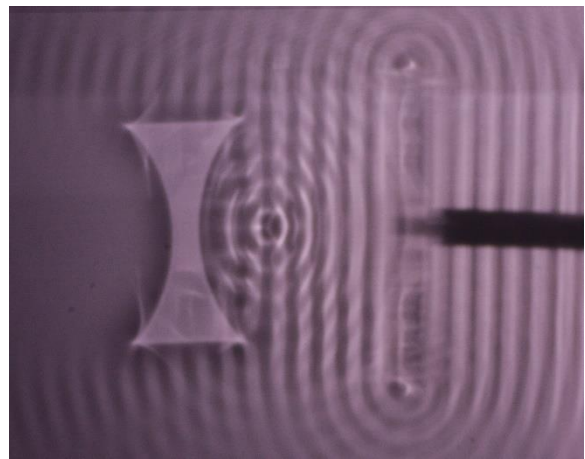


Fig. 3b: Reflexion von ebenen Wellen an einer Bikonkavlinse

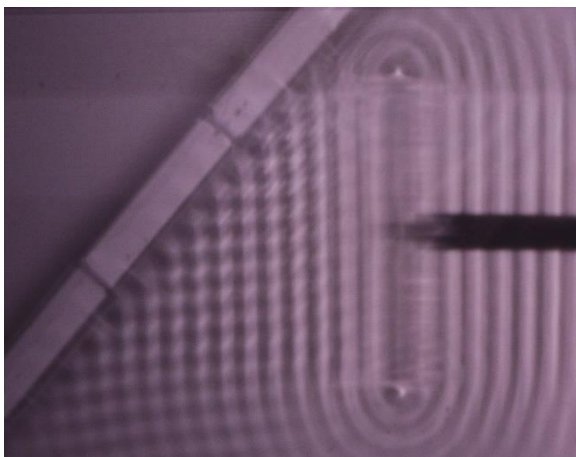


Fig. 3c: Reflexion von ebenen Wellen an einem geraden Hindernis

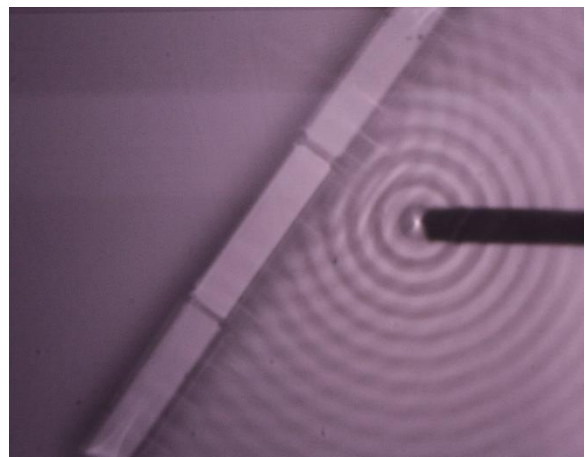


Fig. 3d: Reflexion von Kreiswellen an einem geraden Hindernis

Beugung

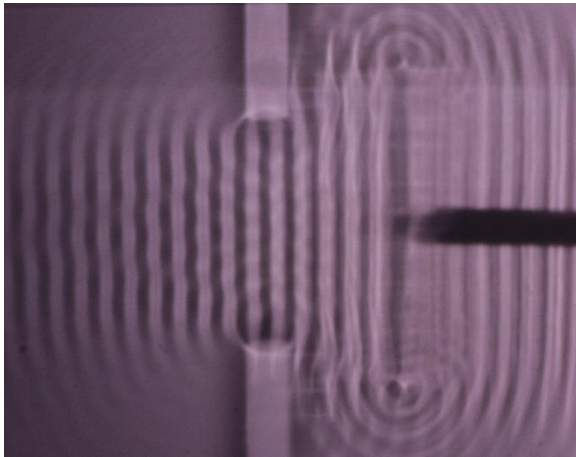


Fig. 4a: Beugung von ebenen Wellen an einem Spalt mit einer Breite deutlich größer als die Wellenlänge

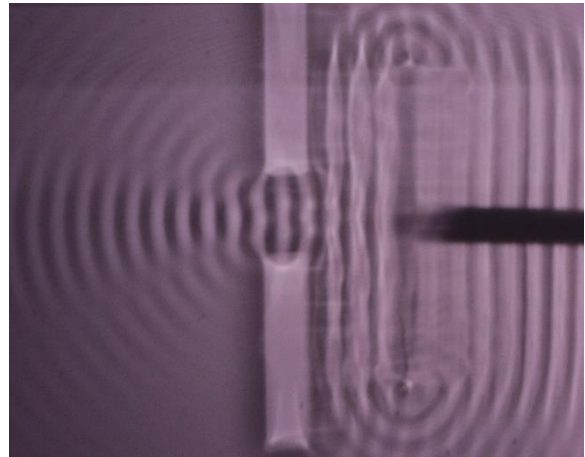


Fig. 4b: Beugung von ebenen Wellen an einem Spalt mit einer Breite etwas größer als die Wellenlänge

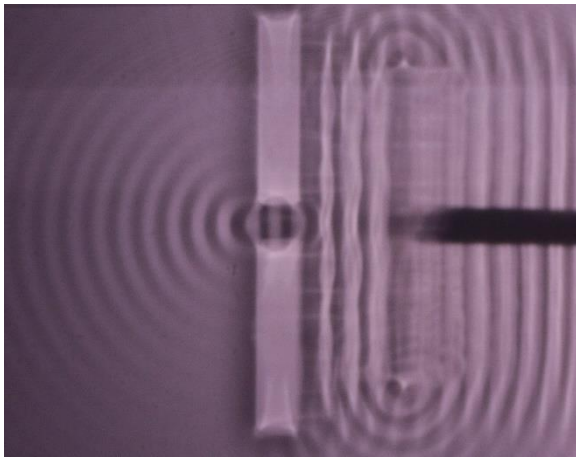


Fig. 4c: Beugung von ebenen Wellen an einem Spalt mit einer Breite kleiner als die Wellenlänge

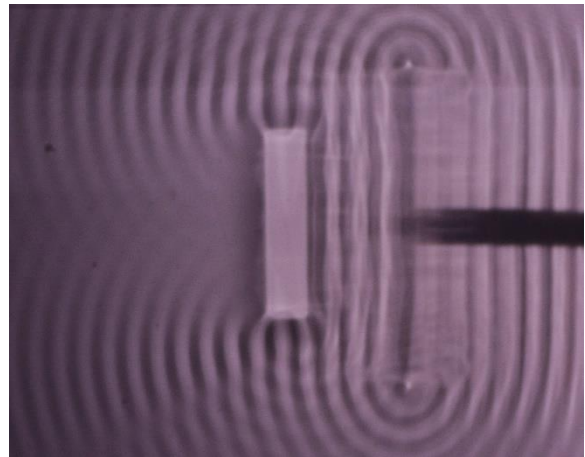


Fig. 4d: Beugung von ebenen Wellen an den Kanten eines Quaders

Interferenz

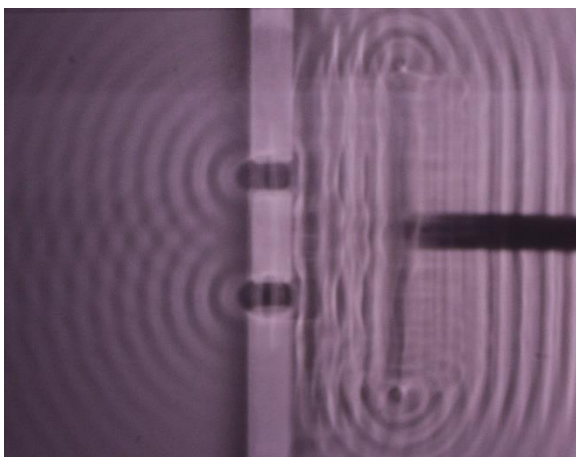


Fig. 5: Interferenz am Doppelspalt