

## Erregung von kreisförmigen und geraden Wasserwellen

### Versuchsziele

- Erregung von kreisförmigen Wasserwellen mit dem Kreiswellenerreger
- Erregung von geraden Wasserwellen mit dem Erreger für gerade Wellen
- Beobachtung der Wasserbewegung in einer Welle und Vergleich mit der Wellenausbreitung
- Messung der Wellenlänge  $\lambda$  einer Wasserwelle bei verschiedenen Erregerfrequenzen  $f$  und Berechnung der Wellengeschwindigkeit  $v$
- Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v_{gr}$  eines Wellenpaketes

### Grundlagen

Für Wellen allgemein geltende Zusammenhänge lassen sich besonders anschaulich an Wasserwellen demonstrieren, da hier die Phänomene mit bloßem Auge beobachtbar sind und quasi-zweidimensional stattfinden. Grundlegende Begriffe zur Wellenausbreitung wie Wellenfront, Ausbreitungsrichtung, Wellenpaket, Energietransport, Wellengeschwindigkeit und Aus-

breitungsgeschwindigkeit, gerade bzw. ebene Wellen, kreisförmige Wellen bzw. Kugelwellen können daher anschaulich eingeführt werden.

Die Wasserwellen werden in der mit Wasser gefüllten Wellenwanne erzeugt, deren Boden aus einer Glasscheibe besteht. Dazu werden die Schwingungen einer Membran im Versorgungsgerät durch Luftdruckschwankungen über Wellenerreger auf die Wasseroberfläche übertragen.

Durchleuchtet man die Wellenwanne mit einer Punktlichtlampe, so erzeugen die wie Sammellinsen wirkenden Wellenberge auf dem Beobachtungsschirm helle Streifen, die wie Zerstreuungslinsen wirkenden Wellentäler dunkle Streifen. Zur Darstellung eines stehenden Bildes ist eine Stroboskopbeleuchtung mit dem Frequenzgenerator für die Erregermembran synchronisiert.

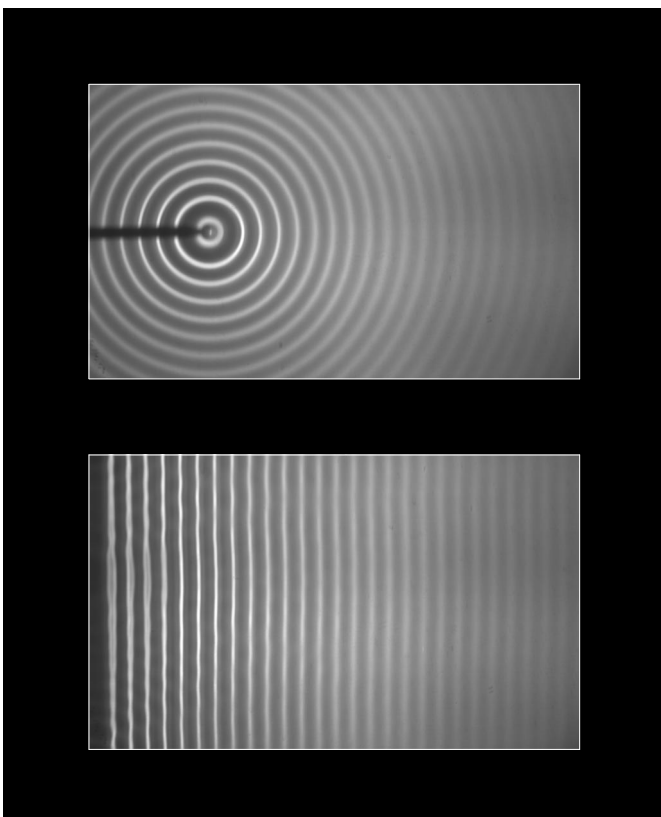


Fig. 1 Ausbreitung von Wasserwellen (Photos)  
Oben: kreisförmige Wellen  
Unten: gerade Wellen

**Geräte**

1 Wellenwanne mit Motorstroboskop . . . . .	401 501
1 Stoppuhr . . . . . z.B.	313 031
1 Lineal oder Bandmaß . . . . . z.B.	311 77

*zusätzlich:*

Spülmittel,  
millimetergroße Styroporkugeln oder Papierstückchen

**Aufbau**

Der Versuchsaufbau ist in Fig. 2 dargestellt.

- Wellenwanne erschütterungsfrei aufstellen; dabei Gebrauchsanweisung zur Wellenwanne beachten.

**Durchführung**

**a) Erzeugung von Kreiswellen:**

- Einen Kreiswellenerreger gemäß Fig. 3 anschließen.
- Mit Drehknopf **(e)** Frequenz von ca. 20 Hz einstellen und mit Drehknopf **(d)** die Amplitude der Erregung vorsichtig erhöhen, bis sich deutliche Wellenfronten bilden (siehe Gebrauchsanweisung zur Wellenwanne).
- Ggf. Stroboskopscheibe mit Rändelschraube **(f)** aus dem Strahlengang drehen, so daß die Glasscheibe im Boden der Wellenwanne vollständig ausgeleuchtet ist.
- Ggf. mit der Einstellschraube **(h1)** die Eintauchtiefe verändern.
- Zur Beobachtung von stehenden Wellen Stroboskop mit Schalter **(a)** einschalten, nach kurzer Anlaufzeit ggf. die Feinjustierung der Synchronisation von Erreger- und Stroboskopfrequenz mit Drehknopf **(b)** nachstellen, bis ein stehendes Wellenbild entsteht.
- Verschiedene Erregerfrequenzen zwischen 10 Hz und 80 Hz einstellen und Wellenbilder beobachten. Gegebenenfalls jeweils Synchronisation und Amplitude nachstellen.

**b) Erzeugung von geraden Wellen:**

- Erreger für gerade Wellen gemäß Fig. 4 anschließen.
- Frequenz von ca. 20 Hz einstellen und die Amplitude der Erregung vorsichtig erhöhen, bis sich deutliche Wellenfronten bilden (siehe Gebrauchsanweisung zur Wellenwanne).
- Ggf. Stroboskopscheibe aus dem Strahlengang drehen, so daß die Glasscheibe im Boden der Wellenwanne vollständig ausgeleuchtet ist.
- Ggf. mit der Einstellschraube **(h2)** die Eintauchtiefe verändern.
- Zur Beobachtung von stehenden Wellen Stroboskop einschalten, nach kurzer Anlaufzeit ggf. die Feinjustierung der Synchronisation von Erreger- und Stroboskopfrequenz nachstellen, bis ein stehendes Wellenbild entsteht.
- Verschiedene Erregerfrequenzen zwischen 10 Hz und 80 Hz einstellen und Wellenbilder beobachten. Gegebenenfalls jeweils Synchronisation und Amplitude nachstellen.

**c) Beobachtung der Wasserbewegung in einer Welle und Vergleich mit der Wellenausbreitung:**

- Stroboskop ausschalten, ggf. Stroboskopscheibe aus dem Strahlengang drehen.
- Bei verschiedenen Erregerfrequenzen einige Styroporkugeln oder Papierstückchen einstreuen, deren Lage beobachten und mit der Wellenausbreitung vergleichen.

**d) Messung der Wellenlänge  $\lambda$  bei verschiedenen Erregerfrequenzen  $f$  und Berechnung der Wellengeschwindigkeit  $v$ :**

- Stroboskop einschalten und durch Synchronisation stehendes Wellenbild erzeugen.
- Abstand zwischen zwei Wellenfronten auf dem Beobachtungsschirm **(g)** ausmessen. Zur Ermittlung der tatsächlichen Wellenlänge den Abbildungsmaßstab berücksichtigen (siehe Gebrauchsanweisung zur Wellenwanne).
- Verschiedene Erregerfrequenzen zwischen 10 Hz und 80 Hz einstellen und Wellenlängen wie oben messen.
- Mit Hilfe der gemessenen Werte für die Wellenlänge und der eingestellten Frequenzwerte jeweils die Wellengeschwindigkeit berechnen ( $v = \lambda \cdot f$ ).

**e) Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v_{gr}$  eines Wellenpaketes:**

- Zur Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v_{gr}$  einen Abdeckschieber 20 cm vom Wellenerreger entfernt als Markierung auf die Glasplatte legen.
- Ggf. Stroboskopscheibe aus dem Strahlengang drehen, Amplitudendrehknopf **(d)** ganz nach links drehen. Darauf achten, daß der Wellenerreger über seine ganze Länge das Wasser gerade berührt und die erzeugten Wellenfronten noch an der Markierung sichtbar sind.
- Stoppuhr und Druckknopf für Einzelwellenerregung **(c)** gleichzeitig betätigen.
- Zeit  $t$  messen, die das Wellenpaket, für die markierte Strecke  $s$  benötigt. Ausbreitungsgeschwindigkeit berechnen.

**Meßbeispiel und Auswertung**

Zwei Photos mit Meßbeispielen sind in Fig. 1 abgebildet.

Tab. 1: Wellenlänge  $\lambda$  und Wellengeschwindigkeit  $v$  von Wasserwellen in Abhängigkeit von der Erregerfrequenz  $f$

$f$ Hz	$\lambda$ cm	$v$ cm · s <sup>-1</sup>
10	2,1	21
20	1,1	22
30	0,8	24
40	0,6	24
50	0,4	20
60	0,4	24
70	0,3	21
80	0,3	24

Tab. 2: Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Wellenpaketes

$s$ cm	$t$ s	$v_{gr}$ cm · s <sup>-1</sup>
20	1	20

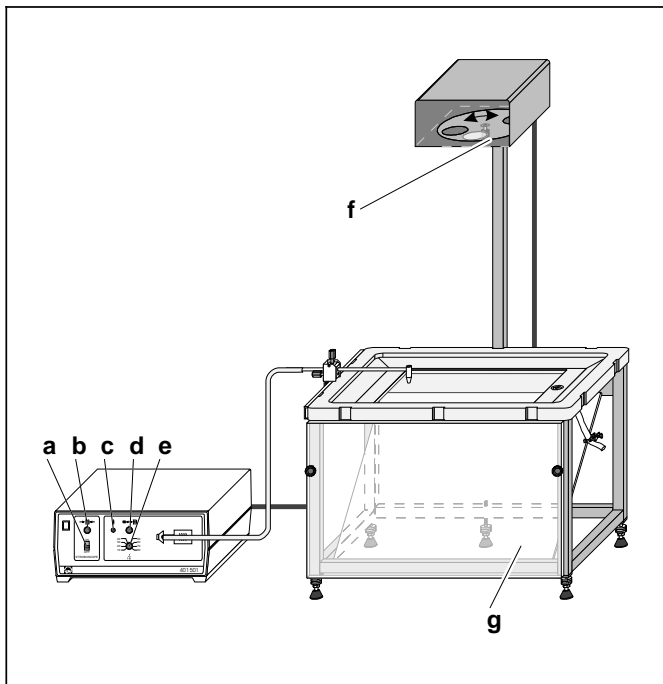
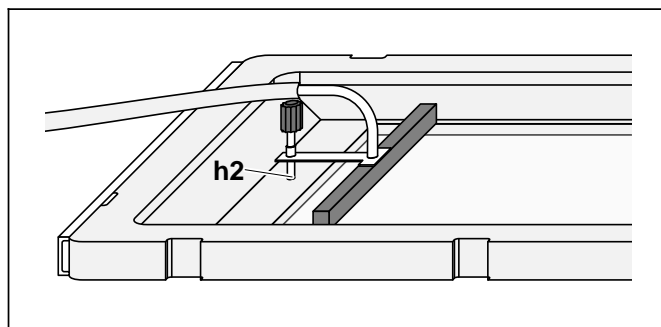
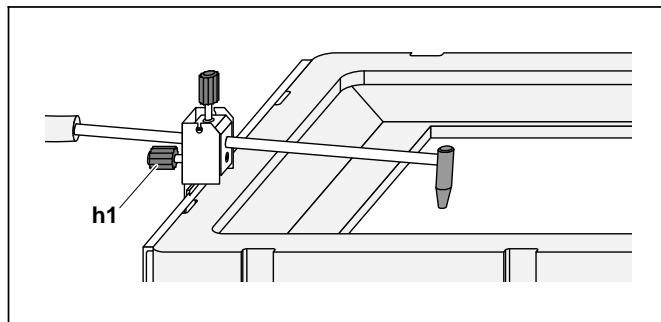


Fig. 2 Versuchsaufbau (zur Erregung von Kreiswellen)  
 a Stroboskop-Schalter  
 b Drehknopf (Feineinstellung der Stroboskopfrequenz)  
 c Druckknopf (Einzelwellenerregung)  
 d Drehknopf (Amplitudeneinstellung der Wellenerregung)  
 e Drehknopf (Frequenzeinstellung der Wellenerregung)  
 f Rändelschraube (Drehen der Stroboskopscheibe von Hand)  
 g Beobachtungsschirm

Fig. 3 Anschluß eines Kreiswellenerregers  
 h1 Stellschraube (Einstellung der Eintauchtiefe)

Fig. 4 Anschluß des Erregers für gerade Wellen  
 h2 Stellschraube (Einstellung der Eintauchtiefe)



### Zusatzinformation

Bei Wasserwellen wird die rücktreibende Kraft auf ein schwingendes (besser kreisendes) Wasserteilchen bestimmt durch die Gewichtskraft und durch die Oberflächenspannung. Die Phasengeschwindigkeit (oder Wellengeschwindigkeit)  $v$  ist abhängig von der Wellenlänge  $\lambda$ :

$$v = \sqrt{g \cdot \frac{\lambda}{2\pi} + \frac{\sigma}{\rho} \cdot \frac{2\pi}{\lambda}} \quad (I).$$

( $g$ : Fallbeschleunigung,  $\sigma$ : Oberflächenspannung,  $\rho$ : Dichte)

Oberhalb von  $\lambda = 1,7$  cm überwiegt der Beitrag durch die Gewichtskraft, man spricht von Schwerewellen. Die Wellengeschwindigkeit steigt hier mit zunehmender Wellenlänge an. Unterhalb von  $\lambda = 1,7$  cm überwiegt die Oberflächenspannung, man spricht von Kapillarwellen. Die Wellengeschwindigkeit nimmt hier mit zunehmender Wellenlänge ab.

Wegen der beschriebenen Dispersion sind Phasengeschwindigkeit  $v$  und Gruppengeschwindigkeit (oder Ausbreitungsgeschwindigkeit)  $v_{gr}$  verschieden. Allerdings ist die Dispersion im hier untersuchten Bereich um  $\lambda = 1,7$  cm so gering, daß Phasengeschwindigkeit und Gruppengeschwindigkeit als näherungsweise gleich angenommen werden können.

Gleichung (I) gilt streng genommen nur bei genügend tiefem Wasser. In flachem Wasser der Tiefe  $h$  ist die Wellengeschwindigkeit der Schwerewellen

$$v = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi} \cdot \tanh\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right)} \quad (II).$$

### Ergebnisse

Wellen, die von einem Punkterreger erzeugt werden, breiten sich radial mit kreisförmigen Wellenfronten aus.

Wellen, die von einem geraden Erreger erzeugt werden, breiten sich geradlinig mit zur Ausbreitungsrichtung senkrechten geraden Wellenfronten aus.

Dämpfung führt zu einer kontinuierlichen Abnahme der Amplitude. Das Wellenbild wird mit zunehmendem Abstand vom Erreger kontrastärmer.

Bei der Wellenausbreitung wird Wasser nicht transportiert, sondern in Schwingung versetzt. Transportiert wird Schwingungsenergie.

Im Frequenzbereich zwischen 10-80 Hz verringert sich die Wellenlänge bei zunehmender Frequenz.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v_{gr}$  eines Wellenpakets stimmt hier im Rahmen der Meßgenauigkeit mit der aus Frequenz und Wellenlänge berechneten Wellengeschwindigkeit überein.

