

Beugung an Oberflächenspannungswellen auf dem Wasser

Einleitung

Die Entstehung und Ausbreitung von Wellen auf einer Flüssigkeitsoberfläche sind wichtige und gut untersuchte Phänomene. Die Rückstellkraft auf die schwingende Flüssigkeit beruht bei solchen Wellen teilweise auf der Schwerkraft und teilweise auf der Oberflächenspannung.

Für Wellenlängen, die viel kleiner als eine kritische Wellenlänge λ_c sind, ist der Einfluss der Schwerkraft vernachlässigbar. Nur die Oberflächenspannung muss in Betracht gezogen werden $\lambda_c = 2\pi \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}}$, wobei σ die Oberflächenspannung ist, ρ die Dichte der Flüssigkeit und g die Erdbeschleunigung).

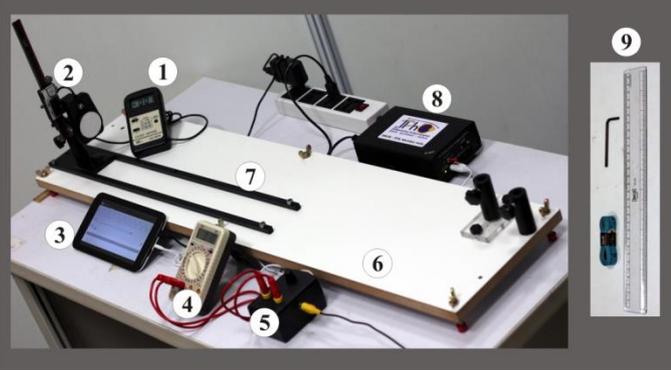
Hier untersuchst du Oberflächenspannungswellen auf der Oberfläche einer Flüssigkeit, die Wellenlängen kleiner als λ_c haben. Die Oberflächenspannung ist eine Eigenschaft von Flüssigkeiten, deretwegen die Oberfläche einer Flüssigkeit sich wie eine aufgespannte Membran verhält. Wenn die Flüssigkeitsoberfläche gestört wird, breitet sich die Störung als Welle, wie auf einer vibrierenden Membran, aus. Ein elektrisch betriebener Schwingungserzeuger wird verwendet, um die Wellen auf der Wasseroberfläche zu erzeugen. Wenn ein Laserstrahl unter einem Glanzwinkel auf die Oberflächenwellen einfällt, verhalten sich diese Oberflächenwellen wie ein Reflexionsgitter und erzeugen ein gut definiertes Beugungsmuster.

Oberflächenspannungswellen werden gedämpft. Ihre Amplitude nimmt allmählich ab, während sie sich ausbreiten. Die Dämpfung erfolgt wegen der Viskosität der Flüssigkeit. Dies hängt damit zusammen, dass es zwischen benachbarten Schichten einer Flüssigkeit Reibungskräfte gibt.

Ziel

Bestimmung der Oberflächenspannung und der Viskosität mit Hilfe der Beugung an Oberflächenspannungswellen auf der zur Verfügung gestellten Wasserprobe.

Experimentiermaterial

	[1]	Belichtungsmesser (verbunden mit der Lichtsensoreinheit)
	[2]	Lichtsensoreinheit auf einem digitalen Messschieber, montiert auf einer Halterung
	[3]	Tablet-Computer (verwendet als Sinus-Generator)
	[4]	Digital-Multimeter
	[5]	Box zur Regelung der Schwingungsamplitude
	[6]	Hölzerne Grundplatte
	[7]	Schienen zum Verschieben der Lichtsensoreinheit
	[8]	Gleichspannungsnetzteil (DC)
	[9]	Inbusschlüssel, Maßband und Kunststofflineal
Abbildung 1: Versuchsaufbau auf der Trägerplatte aus Holz		
	[10]	Lineal mit verschiebbarer Positionsanzeige
	[11]	Einheit zur Erzeugung von Schwingungen
	[12]	Wassertrog

	[13]	Kunststoffabdeckung
	[14]	Baugruppe zur Höhenverstellung des Schwingungserzeugers
	[15]	Laser 2 (Wellenlänge: $\lambda_L = 635 \text{ nm}$, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)
	[16]	Wasserprobe für den Versuch
	[17]	500 ml Messzylinder

Abbildung 2: Schwingungserzeuger / Laserquelleneinheit

Beschreibung der Teile für das Experiment

a) Tablet-PC als Sinusgenerator

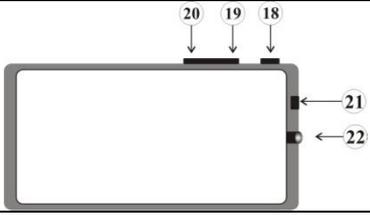
	<p>[18]: Ein-/Ausschalter</p> <p>[19]: Lautstärke erhöhen</p> <p>[20]: Lautstärke erniedrigen</p> <p>[21]: Ladebuchse</p> <p>[22]: Buchse zum Anschluss des Audiokabels, das mit der Box zur Regelung der Schwingungsamplitude [5] verbunden ist</p>
---	--

Abbildung 3: Schalter und Buchsen des Tablets

Hinweise

- Das Ladekabel immer am Tablet angeschlossen lassen.
- Zum Einschalten *ein Mal* leicht den Einschaltknopf drücken, um den Startbildschirm anzuzeigen.
- Stelle die Lautstärke auf das Maximum ein. Verwende dazu den “Lautstärke erhöhen”-Button [19]

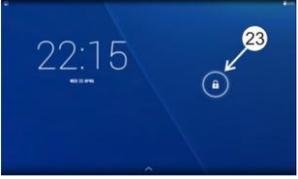
			
<p>Zum Entsperren: Berühren und Wischen [23]</p>		<p>Tippe auf den Icon [24], um den Sinusgenerator zu starten.</p>	

Abbildung 4: Startbildschirme des Tablets

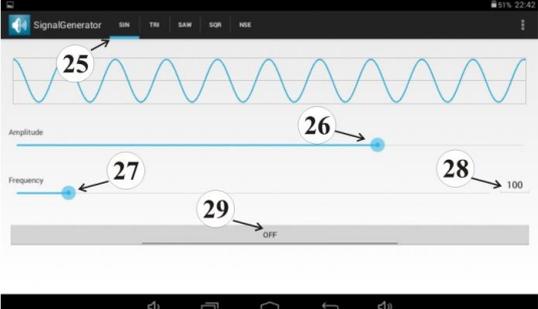
	<p>[25]: Wahl der Schwingungsform (immer auf “SIN” lassen)</p> <p>[26]: Schieber zum Einstellen der Amplitude</p> <p>[27]: Schieber zum Einstellen der Frequenz</p> <p>[28]: Anzeige des Frequenzwertes (Hz)</p> <p>[29]: Anwendungsstatusanzeige / Schalter “OFF” – Der Sinuswellengenerator ist AUS “ON” – Der Sinuswellengenerator ist AN</p>
---	--

Abbildung 5: Sinus – Generator - App

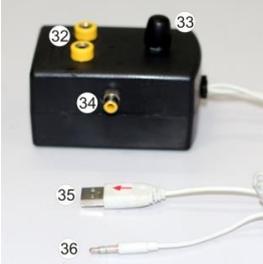
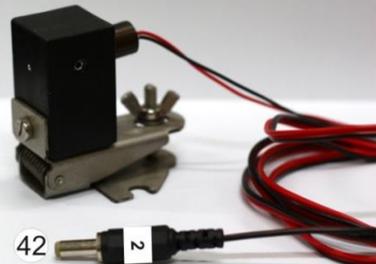
	<p><i>Um die Frequenz zu verändern</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Tippe den Frequenzwert in das Feld [28] (Abbildung. 5). Dabei öffnet sich das Zahlenfeld. • Tippe auf den Backspace-Button [30]. Dabei wird ein eventuell vorhandener Frequenzwert gelöscht. • Zum Abschluss drücke auf “Finished” [31].
---	---

Abbildung 6: Schirm zur Auswahl der Frequenz

Zur Veränderung der Amplitude

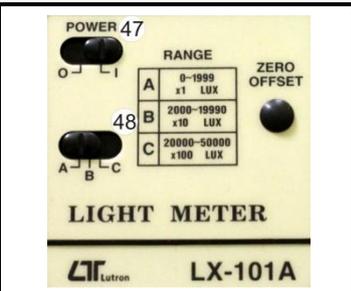
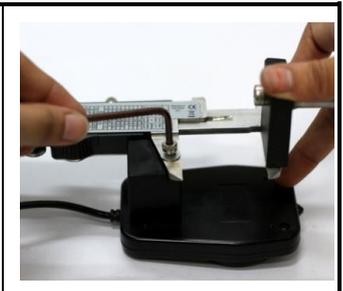
- Verwende am Tablet den Schieberegler [26] oder den Drehknopf [33] der Box[5].

b) Box zur Regelung der Schwingungsamplitude, Digitalmultimeter, Gleichspannungsnetzteil (DC) mit Anschlüssen

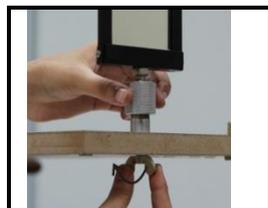
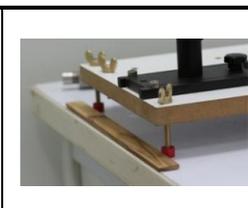
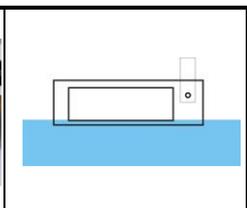
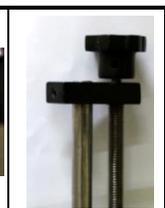
		
<p>[32]: Buchsen zum Anschluss des Multimeters</p>	<p>[37]: Wellenerreger</p>	<p>Abbildung 10: Laser 2 [15] mit Anschluss [42] (auf einem Metallsockel montiert)</p>
<p>[33]: Drehknopf zur Regelung der Amplitude der Sinusschwingung [34]: Buchse für den Stecker des Kabels zum Schwingungserzeuger</p>	<p>[38]: Stecker des Kabels zum Schwingungserzeuger Abbildung 8: Einheit zur Erzeugung von Schwingungen [11]</p>	
<p>[35]: USB Stecker für die Verbindung des Gleichspannungs-Netzgerätes [36]: Audio-Stecker für das Tablet</p>	 <p>[39]: AC/DC Wahlschalter [40]: Messbereichs-Dreh- schalter [41]: Input-Buchsen</p>	<p>[43]: Intensitätsschalter (Verwende nur die Stellung "High") [44]: USB Buchse für den USB Stecker der Box zur Regelung der Schwingungsamplitude [45]: Buchse für den Anschluss des Lasers 2</p>
<p>Abbildung 7: Box zur Regelung der Schwingungsamplitude [5]</p>	<p>Abbildung 9: Digital multimeter [4]</p>	<p>Abbildung 11: Gleichspannungsnetzteil (DC) [8]</p>

			
<p>[36]→[22]</p>	<p>[38]→[34]</p>	<p>[41]↔[32]</p>	<p>[35]→[44] and [42]→[45]</p>
<p>Abbildung 12: Verbindungen zwischen Tablet, Box zur Regelung der Schwingungsamplitude und dem Gleichspannungsnetzteil (DC)</p>			

c) Lichtsensoreinheit und Belichtungsmesser

			
<p> [46]: Kreisförmige Blende am Lichtsensor [47]: Ein/Ausschaltknopf am Belichtungsmesser [48]: A, B, C – Empfindlichkeitsbereiche des Belichtungsmessers </p>	<p> Eine Backe des Messschiebers passt in einen Schlitz auf der Rückseite des Belichtungsmessers. </p>		<p> Ziehe die Schraube mit dem Imbusschlüssel fest. </p>
<p>Abb. 13: Lichtsensoreinheit und Belichtungsmesser</p>		<p>Abb. 14: Zusammenbau der Lichtsensoreinheit</p>	

Einstellungen zu Beginn

				
<p>Abbildung 15: Abmontieren des rechten Spiegels</p>	<p>Abbildung 16: Höhenverstellungsschrauben berühren den Holzstab</p>	<p>Abbildung 17: Korrekte Position des Wellenerregers und schwarzer Drehknopf für die Höheneinstellung</p>		

1. Ziehe den Anschluss vom Laser 1 ab und schließe den Laser 2 an. Verwende dafür die Buchse des Gleichspannungsnetzteils.

Hinweis: Laser 2 wurde bereits an einen bestimmten Einfallswinkel angepasst. Berühre keinesfalls die Laserquelle!

2. Durch das Drehen der Schraube unter der hölzernen Plattform entferne den in E-I verwendeten rechten Spiegel (Abb. 15).

3. Entferne den in E-I verwendeten Schirm und füge die Lichtsensor-Einheit in die Schirmhalterung. Stelle dies zwischen die Führungsschienen.

4. Stelle die hölzerne Grundplatte [6] so auf, dass ihre Höhenverstellungsschrauben den an den Arbeitstisch angeschlossenen hölzernen Streifen berühren (Abb. 16).

5. Hebe die Seitenklappe der Kunststoffabdeckung des rechten Teiles des Arbeitsplatzes an. Gieße mit dem Messzylinder [17] genau 500 ml Wasser in den Trog [12].

6. Schalte den Laser ein. Suche den reflektierten Laser-Punkt auf den Lichtsensor. Wenn du die Lichtsensoreinheit die Schienen entlang vor und zurück bewegst soll der Laserpunkt vertikal verschoben werden und nicht in einem Winkel zur Vertikalen.

Mit kleinen Nachadjustierungen der hölzernen Plattform und vertikalen Adjustierungen der Lichtsensor-Einheit kann der Laserpunkt genau auf die Blende gelenkt werden. Die vom Belichtungsmesser angezeigte Intensität wird maximal, wenn der Mittelpunkt des Laser-Spots mit dem Mittelpunkt der Blende zusammenfällt.

7. Der Wellenerreger ist bereits in der richtigen vertikale Position eingerichtet worden. **Adjustiere keinesfalls** die Höheneinstellung mit dem schwarzen Drehknopf [14] (Abb. 17).

8. Der Wellenerreger kann horizontal hin und her bewegt werden. Die Positionsmarkierung zeigt dessen Position auf dem Lineal [10].

9. Während der Aufnahme der Daten halte die Klappe der Kunststoffabdeckung abgesenkt, um die Wasseroberfläche vor Luftströmungen zu schützen.

Versuch

Teil C: Messung des Winkels θ seitens des Lasers zur Wasseroberfläche

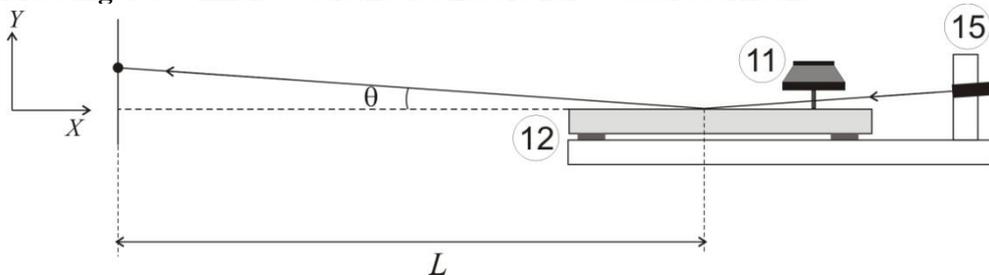


Abbildung 18: Messung des Winkels θ

Aufgabe	Beschreibung	Punkte
C1	Bewegen Sie die Lichtsensor-Montage durch geeignete Schritte entlang der Strecke. Notieren Sie sich die X-Verschiebung der Montage und die entsprechende Y-Verschiebung des Laser-Fleckes. Tragen Sie Ihre Ablesungen in die Tabelle C1. (Wählen Sie einen geeigneten Bereich in den Belichtungsmesser aus)	1.0
C2	Zeichnen Sie ein geeignetes Diagramm. Beschriften Sie es „Diagramm C1“. Bestimmen Sie den Winkel θ in Grad von seiner Steigung.	0.6

Teil D: Bestimmung der Oberflächenspannung σ der gegebenen Wasserprobe

Anhand der Beugungstheorie kann nachgewiesen werden, dass

$$k = \frac{2\pi}{\lambda_L} \sin\theta \sin\gamma \tag{1}$$

wobei $k = 2\pi/\lambda_w$ die Wellenzahl der Oberflächenspannungswellen ist,

λ_w und λ_L sind die Wellenlängen der Oberflächenspannungswellen und des Lasers.

Der Winkel γ ist der Winkelabstand zwischen dem zentralen Maximum und dem Maximum erster Ordnung (Abb. 19).

Die Schwingungsfrequenz (f) der Wellen bezieht sich auf die Wellenzahl k wie unten gezeigt:

$$\omega = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} k^q \quad (2)$$

wobei $\omega = 2\pi f$, ρ die Dichte des Wassers und q eine Ganzzahl ist.

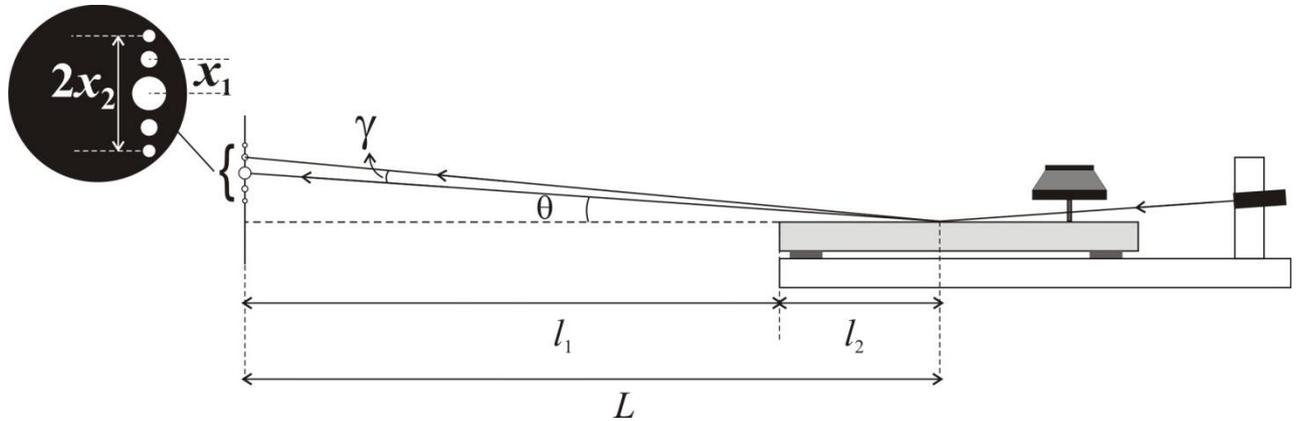


Abbildung 19: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

1. Messen Sie die Länge l

Aufgabe	Beschreibung	Punkte
D1	Messen Sie die Länge l_1 zwischen der Lichtsensor-Blende und der Außenkante der Wasserschale. Sie sehen eine Linie ebendort, wo der Laser die Wasseroberfläche schlägt. Die Mitte dieser Linie ist der Einfallspunkt des Lasers. Messen Sie l_2 , den Abstand dieses Punktes von der Kante. Erhalten Sie L . Schreiben Sie die Werte auf den Antwortbogen.	0.3

2. Set the vibrator position marker at 7.0 cm mark on the horizontal scale [10].
3. Set the sine wave frequency to 60 Hz and adjust its amplitude such that the first- and second-order maxima of the diffraction pattern are clearly visible (Fig. 19 inset).

Aufgabe	Beschreibung	Punkte
D2	Measure the distance between the second-order maximum above and below the central maximum. Hence calculate x_1 . Record your observations in Table D1. Repeat this by increasing the frequencies in appropriate steps.	2.8
D3	Identify the appropriate variables for a suitable graph whose slope would give the value of q . Enter the variable values in Table D2. Plot the graph to find q (label it Graph D1). Write down equation 2 with the appropriate integer value of q .	0.9
D4	From the equation 2, identify the appropriate variables for a suitable graph whose slope would give the value of σ . Enter the variable values in Table D3. Plot the graph to determine σ (label it Graph D2). ($\rho = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$).	1.2

Part E: Determination of the attenuation constant, δ and the viscosity of the liquid, η

The surface tension waves are damped due to the viscosity of water. The wave amplitude, h , decreases exponentially with the distance, s , measured from the vibrator,

$$h = h_0 e^{-\delta s} \quad (3)$$

where, h_0 is the amplitude at the vibrator position and δ is the attenuation constant.

Experimentally, amplitude h_0 can be related to the voltage (V_{rms}) applied to the vibrator assembly as,

$$h_0 \propto (V_{rms})^{0.4} \quad (4)$$

The attenuation constant is related to the viscosity of the liquid as

$$\delta = \frac{8 \pi \eta f}{3 \sigma} \quad (5)$$

where, η is the viscosity of the liquid.

1. Set the vibrator position marker at 8.0 cm.
2. Adjust the frequency to 100 Hz.
3. Adjust the light sensor using the vernier caliper such that the first-order maximum of the diffraction pattern falls on the aperture.
4. Adjust the amplitude of sine wave (V_{rms}) such that the reading in the light meter is 100 on range A. Note down V_{rms} corresponding to the light meter reading.
5. Move the vibrator away from the point of incidence of the laser in steps of 0.5 cm and adjust V_{rms} to get the light meter reading 100. Note down corresponding V_{rms} .

Tasks	Description	Marks
E1	Record your data for every step in Table E1.	1.9
E2	Plot a suitable graph (label it Graph E1) and determine the attenuation constant δ from its slope.	1.0
E3	Calculate the viscosity η of the given water sample.	0.3