

1 Theorie

Der Doppler-Effekt tritt immer dann auf, wenn sich Sender und Empfänger einer Welle relativ zueinander bewegen. In dem Versuch 104 soll insbesondere die Verschiebung von akustischen Signalen, sprich die Frequenzänderung von Schallwellen im Medium Luft untersucht werden. Anders als bei elektromagnetischen Wellen, besteht hier ein Unterschied zwischen den Fällen in denen nur der Sender bzw. nur der Empfänger in Bewegung ist.

1.1 Sender in Ruhe, bewegter Empfänger

In diesem Fall gilt für die empfangene Frequenz ν_E :

$$\nu_E = \nu_0 \left(1 + \frac{u}{c}\right) \quad (1)$$

Mit der Ruhfrequenz ν_0 , der Geschwindigkeit u des Empfängers sowie der Phasengeschwindigkeit c (hier: Schallgeschwindigkeit in Luft bei Raumtemperatur). Das heißt die Frequenzverschiebung beträgt:

$$\Delta\nu = \nu_0 \frac{u}{c} \quad (2)$$

Entsprechend wird die Frequenz höher, wenn sich E auf S zu bewegt ($u > 0$) resp. tiefer, wenn sich E von S weg bewegt ($u < 0$).

1.2 Empfänger in Ruhe, bewegter Sender

Hierbei ergibt sich für die empfangene Frequenz ν_Q :

$$\nu_Q = \nu_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{u}{c}} \quad (3)$$

Dieser Ausdruck lässt sich in eine Reihe nach Potenzen von $\frac{u}{c}$ entwickeln:

$$\nu_Q = \nu_0 \left(1 + \frac{u}{c} + \left(\frac{u}{c}\right)^2 + \left(\frac{u}{c}\right)^3 + \dots\right) \quad (4)$$

$$= \nu_E + \nu_0 \left(\left(\frac{u}{c}\right)^2 + \dots\right) \quad (5)$$

Hieran lässt sich erkennen, dass stets $\nu_Q > \nu_E > \nu_0$ (für $u > 0$) gilt und dasss für den Fall $|u| \ll c$, $\nu_E \approx \nu_Q$ folgt.

Das Experiment soll die angegebenen Zusammenhänge überprüfen, wozu Messungen der einzelnen Größen durchgeführt wurden.

2 Versuchsdurchführung

Der Versuch Doppler-Effekt bestand an sich aus vier einzelnen Versuchen. In jedem dieser sollte entweder der Doppler-Effekt selber gemessen oder eine für die Auswertung entscheidene Größe bestimmt werden.

2.1 Messung der Relativgeschwindigkeit

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 1 zu entnehmen. Der Wagen wurde von einem zehngängigen Synchronmotor angetrieben. Dabei sollen die Lichtschranken Start- und Endpunkt der Messung festlegen. Um somit die Zeit zu bestimmen, die der Wagen benötigt um die beiden Lichtschranken zu passieren.

2.2 Messung der Schallgeschwindigkeit

Der Versuchsaufbau zur Messung der Schallgeschwindigkeit ist Abbildung **NUMMER EINFÜGEN** zu entnehmen.

Im Versuch werden das vom Quarzgenerator gelieferte Ton und der vom Mikrofon gemessene Ton an einem Oszilloskop angelegt. Dabei werden die Signale so eingestellt Lissajou-Figuren entstehen. Diese werden genutzt um den auf dem Lautsprecher montierten Schlitten, so einzustellen, dass beide Signale in Phase (Lissajou Figur entspricht einer Geraden) sind. Wenn nun immer der Abstand abgelesen wird, zwischen zwei Signalen gleicher Phase, kann auf die Wellenlänge geschlossen werden.

2.3 Frequenzmessung

Im Anhang **Nummer einfügen** wird der Versuchsaufbau dargestellt. Beim Versuch bewegt sich der, auf dem Wagen montierte, Lautsprecher entweder in Richtung des Mikrofons oder in gegengesetzter Richtung vom Mikrofons. Dadurch entsteht eine Relativbewegung und somit auch der Doppler-Effekt. Nachdem der Wagen mittels einer Lichtschranke den Messzeitraum startet. Das Mikrofon misst solange, jede angekommene Phase, bis der Untersetzter die Messung beendet. Der Versuch wird mit verschiedenen Wangengeschwindigkeit wiederholt, um die unterschiedliche Stärke des Doppler-Effekts festzustellen.

2.4 Frequenzmessung mit der Schwebungsmethode

Der Versuchsaufbau ist im Anhang **Nummer einfügen** skizziert. Im wesentlichen besteht hier der Unterschied zur vorherigen Frequenzmessung, dass sich bei dieser Messung Mikrofon und Lautsprecher statisch sind. Lediglich ein Reflektor auf einem Wagen bewegt sich. Der Lautsprecher, der neben dem Mikrofon platziert ist, schallt auf den Reflektor. Dadurch kommt es zu einer Überlagerung von zwei Schwingungen (1. Ruhefrequenz vom Lautsprecher und 2. vom Reflektor reflektierte Schwingung). Dadurch entsteht eine Schwebung, die vom Mikrofon gemessen wird. Anschließend filtert ein Tiefpass die vom Dopplereffekt verursachte Frequenzänderung raus.

3 Auswertung

3.1 Bestimmung der Relativgeschwindigkeit

In diesem Teil des Versuches wird bestimmt, mit welcher Geschwindigkeit der vom Synchronmotor angetriebene Wagen sich befindet. Dazu wurde für jede Getriebestufe, eine Messreihe mit $n = 5$ Messwerten aufgenommen. Die Messdaten wurden in **Tabelle 1** aufgelistet.

Um die Geschwindigkeit zu berechnen, wurde das Gesetz $v = \frac{s}{t}$ genutzt. Dazu wurde der Weg l auf $13 \cdot 10^{-2} \text{m}$ gemessen mit einer Fehlerabschätzung von $\pm 1 \cdot 10^{-3} \text{m}$. Der Mittelwert der Zeitintervalle t wurde mit der Formel

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

bestimmt. Durch Anwendung von

$$\bar{\sigma}_t = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}$$

konnte die Abweichung des Mittelwertes angegeben werden. Die Tabelle mit den gemessenen Werten befindet sich im Anhang des Protokolls.

3.2 Ruhefrequenzmessung

In diesem Versuch sollte die Größe ν_0 bestimmt werden. Diese Größe wurde mittels $\nu_0 = t * N$ bestimmt. Dabei sei t der festgelegte Messzeitraum und N die gemessene Anzahl an Phasendurchläufen.

Es ergibt sich folgende Frequenz:

Hier Tabelle einfügen

3.3 Bestimmung der Wellenlänge

Für die Berechnung der Wellenlänge wurde immer der Abstand von zwei Phasen gemessen. Damit ergaben sich, verschiedene Wellenlängen von den dann der Mittelwert berechnet wurde:

Wert der Wellenlänge einfügen

3.4 Ermittlung der Schallgeschwindigkeit

Die Schallgeschwindigkeit wurde mit dem Zusammenhang

$$c = \lambda \nu \quad (6)$$

,bestimmt. Dieser ist gültig bei einer Messung in Luft und bei Raumtemperatur. Dabei wurde für ν der Mittelwert der Ruhfrequenz eingesetzt. Aus der Theorie sei zu vermuten, dass es ein Unterschied ν_s und ν_e gibt. Doch im Versuch ist eine relevante Differenz nicht festzustellen. Denn bei der Betrachtung der Reihenentwicklung von **Hier Formelnummer einfügen**, wird deutlich, dass die quadratischen Terme schon so klein sind, dass sie nicht mehr in das Gewicht fallen. Ein Ziel des Versuches war es die Größe $\zeta = \frac{v_0}{c} = \frac{1}{\lambda}$ zu bestimmen. Durch Verwendung der gemittelten Wellenlänge ergibt sich:

Wert einfügen

3.5 Messung des Dopplereffekts 1

Die durch den Dopplereffekt eintretende Frequenzänderung, wurde mit $\Delta\nu = \nu_0 - \nu_l$ berechnet. Hierbei sein ν_l die gemessenen Werte, die im Anhang eingesehen werden können. Es ergab sich für die verschiedenen Geschwindigkeiten folgender Zusammenhang:

Hier Tabelle einfügen

Des Weiteren befindet sich im Anhang die grafische Auftragung von v zu $\Delta\nu$. Die oben erwähnte Größe ζ sollte dabei ungefähr der Steigung der Ausgleichsgeraden der Messwerte betragen. Mittels der aus Regressionsrechnung genutzte Gleichung

$$m = \frac{\bar{x}y - \bar{x}\bar{y}}{\bar{x}^2 - \bar{x}^2}$$

und dem dazugehörigen Fehler

$$o_m = \sqrt{\frac{\sigma^2}{N(\bar{x}^2 - \bar{x}^2)}}$$

ergibt sich für die Steigung der Wert:

Den nochmal mit zusammengefassten Bereichen berechnen

3.6 Messung des Dopplereffekts - Schwebungsmethode

Der Doppler-Effekt sollte auch einmal mit der Schwebungsmethode bestimmt werden. Dabei wurden folgende Werte für die Frequenzänderung bestimmt:

Tabelle einfügen

Des Weiteren ist im Anhang noch ein Plot von v zu $\Delta\nu$ zu finden. Auch hier ist es sinnvoll die Steigung der Ausgleichsgerade, mit Regressionsrechnung, zu bestimmen, um sie anschließend mit dem Faktor ζ zu vergleichen. Nach der Regressionsrechnung ergibt sich:

3.7 Students-t-Faktor

4 Diskussion

Im folgenden sollen die gewonnen Ergebnisse aus dem voran gegangenen Abschnitt, mit Hinblick auf die Präzision des verwendeten Versuchsaufbaus, auf ihre Plausibilität hin überprüft werden.

Der Literaturwert für die Schallgeschwindigkeit beträgt $v_{Schall} = 330m/s$ [Quelle]. Der in (Bezug) ermittelte Wert weicht um etwa 8,3% nach unten hin ab. Als maßgebliche Fehlerquelle ist hierfür das unpräzise Ablesen der Lissajou-Figuren zu nennen. Die vom Oszilloskop visualisierte verstärkte Signalspannung des Mikrophons wich stark von dem ausgesandten Signal des Generators ab, was es kompliziert machte die entsprechenden Figuren zu reproduzieren. In den drei Teilversuchen (Bezug...) wurde jeweils der Wert für die inverse Wellenlänge bestimmt. Hierbei weichen alle drei Werte relativ stark voneinander ab, wobei die Abweichung der Messung mittels der Schwebungsmethode von der Direktmessung der Frequenzänderung mit 21.5% deutlich höher ausfällt, als die Diskrepanz des Wertes aus der Wellenlängenmessung im Vergleich mit selbiger (11.9%). Der qualitative Vergleich der drei Werte mit Hilfe des Studentschen t-Tests (Abschnitt bla) zeigt, dass mit großer Wahrscheinlichkeit systematische Fehler aufgetreten sind.

Als Begründung hierfür sind mehrere Bestandteile des verwendeten Versuchsaufbaus zu nennen. Bei der Messung der Geschwindigkeit des durch den Synchrotronmotor angetriebenen Wagens zeigte sich, dass die Laufzeiten durchaus stark variierten, was sich in

der Standardabweichung des Mittelwerts (Bezug) widerspiegelt. In Verbindung mit der bereits erwähnten unpräzisen Tonmessung sieht sich hier die Ungenauigkeit der Frequenz- und insbesondere Schwebungsmessung begründet.

Zum Abschluss sei noch zu erwähnen, dass die verwendeten Lichtschranken ab der Geschwindigkeit in Gang 36 nicht mehr auslösten. Da sich hierdurch die Größe der Stichprobe in allen Messungen halbierte, ist die Signifikanz der Ergebnisse als relativ gering einzustufen.