

US3

Doppler-Sonographie

Fritz Agildere
fritz.agildere@udo.edu

Amelie Strathmann
amelie.strathmann@udo.edu

Durchführung: 23. Mai 2023

Abgabe:

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----------|
| 1 Zielsetzung | 2 |
| 2 Theorie | 2 |
| 2.1 Doppler-Effekt | 2 |
| 2.2 Messverfahren | 3 |
| 2.2.1 Impuls-Echo-Ultraschalltechnik | 3 |
| 2.2.2 Piezoelektrische Erzeugung und Detektion | 4 |
| 2.2.3 Doppler-Winkel und akustisches Prisma..... | 4 |
| 3 Durchführung | 5 |
| 4 Auswertung | 5 |
| 4.1 Vorbereitungsaufgabe | 5 |
| 4.2 Strömungsgeschwindigkeit | 5 |
| 5 Diskussion | 8 |
| Literatur | 8 |
| Anhang | 9 |

1 Zielsetzung

Im nachfolgenden Versuch werden die charakteristischen Strömungseigenschaften der Flussgeschwindigkeit und des räumlichen Geschwindigkeitsprofils bei spezifischen Rohrdurchmessern untersucht. Als Unterkategorie der Doppler-Sonographie wird dazu das Impuls-Echo Verfahren verwendet. Auf diese Weise lässt sich anschließend die Laminarität der Strömung bewerten.

2 Theorie [1]

Das menschliche Gehör ist für Frequenzen von 16 Hz bis 20 kHz empfindlich. Außerhalb der unteren Hörschwelle handelt es sich um Infraschall, der Bereich von 20 kHz bis 1 GHz wird als Ultraschall bezeichnet. Oberhalb davon liegen noch die Hyperschallfrequenzen.

2.1 Doppler-Effekt

Mit dem Doppler-Effekt wird die Frequenzänderung $\Delta\nu$ beschrieben, welche als Resultat der Bewegung von Beobachter und Quelle mit relativer Geschwindigkeit v zueinander auftritt. Die Wellen mit Ausgangsfrequenz ν_0 breiten sich mit Schallgeschwindigkeit c im Raum aus. Sollte sich die Quelle in Richtung des Beobachters bewegen, so wächst ν auf

$$\nu_{\text{kl}} = \frac{\nu_0}{1 - \frac{v}{c}}$$

an. Entfernt sie sich vom Beobachter, sinkt die Frequenz bis

$$\nu_{\text{gr}} = \frac{\nu_0}{1 + \frac{v}{c}}$$

ab. Für eine ruhende Quelle erhöht sich ν nach

$$\nu_{\text{h}} = \nu_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

wenn sich der Beobachter auf die Quelle zubewegt. Vergrößert sich sein Abstand gibt

$$\nu_{\text{n}} = \nu_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

die Verschiebung der Frequenz in niedrigere Bereiche an.

2.2 Messverfahren

In der Ultraschalltechnik wird der Doppler-Effekt ausgenutzt, um die Geschwindigkeit von Strömungen zu ermitteln. Medizinisch finden solche Verfahren zur Bestimmung der Flussgeschwindigkeit in Blutbahnen Anwendung. Wird die Ultraschallwelle mit ν_0 von einem bewegten Objekt reflektiert, erfährt deren Frequenz gemäß

$$\Delta\nu = \nu_0 \frac{v}{c} (\cos \alpha + \cos \beta)$$

eine Verschiebung, wobei α und β die Winkel von Geschwindigkeit v mit den Normalen von einlaufender und auslaufender Welle bezeichnen.

2.2.1 Impuls-Echo-Ultraschalltechnik

Für das Impuls-Echo Verfahren sind Sender und Empfänger wie in Abbildung 1 angeordnet, sodass immer $\alpha = \beta$ gilt.



Abbildung 1: Schematische Darstellung der Messanordnung zum Impuls-Echo Verfahren.

Aus dem vorherigen Zusammenhang ergibt sich in diesem Fall

$$\Delta\nu = 2\nu_0 \frac{v}{c} \cos \alpha \quad (1)$$

als Ausdruck für die Frequenzverschiebung.

2.2.2 Piezoelektrische Erzeugung und Detektion

Wird ein elektrisches Wechselfeld parallel zu einer polaren Achse eines piezoelektrischen Kristalls geschaltet, kann dieser zu Schwingungen im Ultraschallbereich angeregt werden. Abstimmung von Anregungs- und Eigenfrequenz erlaubt durch Resonanz das Erzeugen großer Wellenamplituden. Verwenden dieses mit dem Begriff reziproker piezoelektrischer Effekt bezeichneten Phänomens ermöglicht die Nutzung extrem hoher Schallenergiedichten. Über den umgekehrten Effekt dient der Piezokristall auch als Detektor, indem er durch eintreffende Schallwellen in Schwingung versetzt wird. Wegen ihrer gleichbleibenden physikalischen Eigenschaften werden solche Messapparaturen typischerweise mithilfe von Quarzen realisiert.

2.2.3 Doppler-Winkel und akustisches Prisma

Um präzise Ankopplungswinkel der Ultraschallsonde an die Strömungsrohe zu garantieren, werden Doppler-Prismen mit drei speziell angeordneten Einstellflächen eingesetzt.

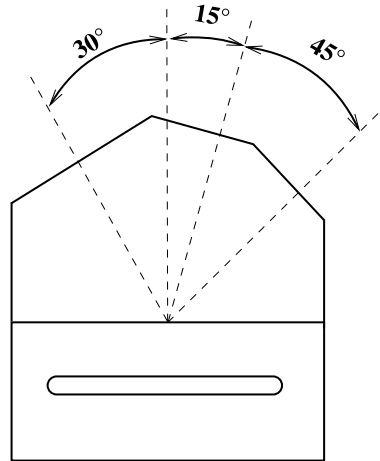


Abbildung 2: Schema zum an ein Strömungsrohr angesetzten Doppler-Prisma.

Aus Abbildung 2 geht hervor, dass sowohl Abstand und Winkel zur strömenden Flüssigkeit mithilfe des Aufbaus reproduzierbar definiert sind. Mit den angegebenen Winkeln θ ergibt sich unter Ausnutzung des Brechungsgesetzes über

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin\left(\frac{c_L}{c_P} \sin \theta\right) \quad (2)$$

der Doppler-Winkel, wobei c_L und c_P den Schallgeschwindigkeiten von Flüssigkeit und Prismenmaterial entsprechen.

3 Durchführung

Zur Vorbereitung lassen sich für Prismenwinkel θ von 15° , 30° und 60° die entsprechenden Doppler-Winkel $\alpha(\theta)$ berechnen, indem die Schallgeschwindigkeiten $c_L = 1800 \text{ m s}^{-1}$ und $c_P = 2700 \text{ m s}^{-1}$ in Ausdruck (2) eingesetzt werden:

$$\alpha(15^\circ) = 80,06^\circ \qquad \alpha(30^\circ) = 70,53^\circ \qquad \alpha(60^\circ) = 54,74^\circ$$

4 Auswertung

4.1 Vorbereitungsaufgabe

Der Dopplerwinkel lässt sich über die Gleichung

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin \left(\sin \theta \frac{c_L}{c_P} \right)$$

bestimmen. Die berechneten Werte sind in der Tabelle 1 aufgetragen.

H

Tabelle 1: Vorbereitungsaufgabe: Dopplerwinkel zu den jeweiligen Prismenwinkeln

| θ | α |
|------------|---------------|
| 15° | $80,06^\circ$ |
| 30° | $70,53^\circ$ |
| 45° | $54,74^\circ$ |

4.2 Strömungsgeschwindigkeit

In der Tabelle 2 sind die aufgenommenen Messwerte der Frequenzdifferenzen $\Delta\nu = \nu_{\text{mean}} - \nu_{\text{max}}$ der jeweiligen Prismenwinkel θ dargestellt. Die Frequenzdifferenzen wird für fünf verschiedene Leistungen für die drei Winkel θ gemessen. Die verwendete Pumpe hat dabei eine maximale Leistung von $7,5 \text{ L min}^{-1}$.

Tabelle 2: Die Frequenzverschiebung der drei Prismenwinkel

| $v/\text{L min}^{-1}$ | $\Delta\nu_{15^\circ}$ | $\Delta\nu_{30^\circ}$ | $\Delta\nu_{60^\circ}$ |
|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 2 | 56 | 94 | 153 |
| 2.5 | 65 | 132 | 208 |
| 3.0 | 90 | 167 | 292 |
| 3.5 | 114 | 253 | 334 |
| 4 | 165 | 311 | 468 |

Anhand der Gleichung 1 wird die Strömungsgeschwindigkeit berechnet. Für die verwendete Sonde ist ν_0 angegeben als 2 MHz.

Tabelle 3: Die Strömungsgeschwindigkeit der drei Prismenwinkel

| $v_{15^\circ}/\text{m s}^{-1}$ | $v_{30^\circ}/\text{m s}^{-1}$ | $v_{60^\circ}/\text{m s}^{-1}$ |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 0.243 | 0.211 | 0.199 |
| 0.282 | 0.297 | 0.270 |
| 0.391 | 0.376 | 0.379 |
| 0.495 | 0.569 | 0.434 |
| 0.716 | 0.699 | 0.608 |

In den ??, ?? und ?? wird das Verhältnis von $\frac{\Delta\nu}{\cos(\alpha)}$ in Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit ν aufgetragen. Zudem wurde eine Ausgleichsgerade an die Messwerte gefittet.

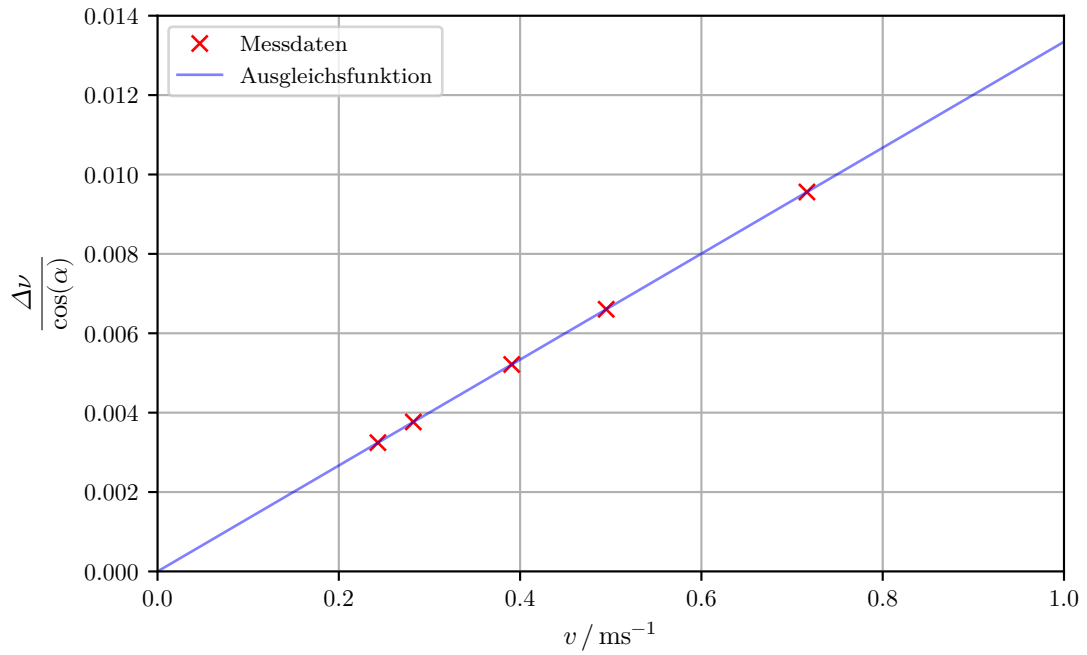


Abbildung 3: Die Frequenzverschiebung in Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit für $\theta = 15^\circ$.

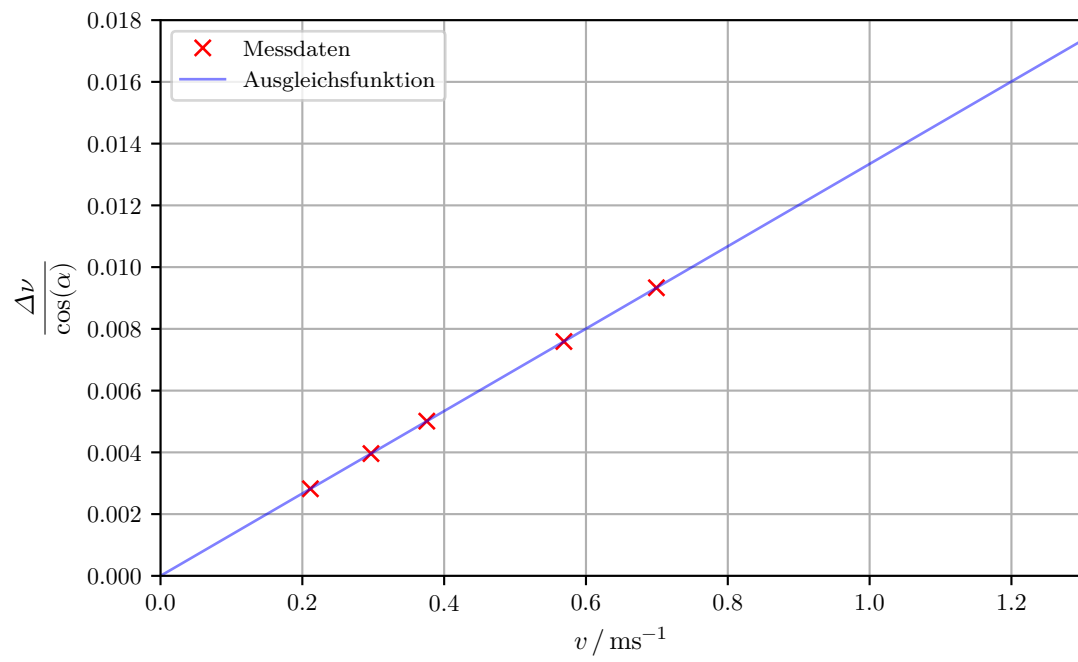


Abbildung 4: Die Frequenzverschiebung in Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit für $\theta = 30^\circ$.

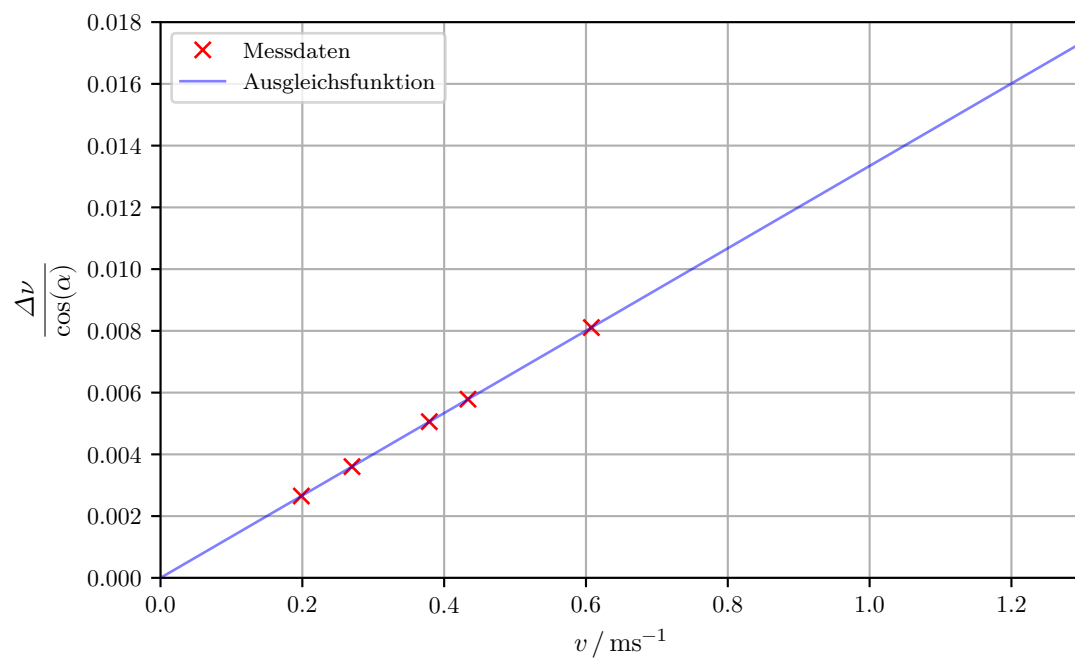


Abbildung 5: Die Frequenzverschiebung in Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit für $\theta = 60^\circ$.

5 Diskussion

Literatur

- [1] *Anleitung zu Ultraschall 3, Dopplersonographie*. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2023.

Anhang