

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	6
5 Diskussion	6
Literatur	6
Anhang	7

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.

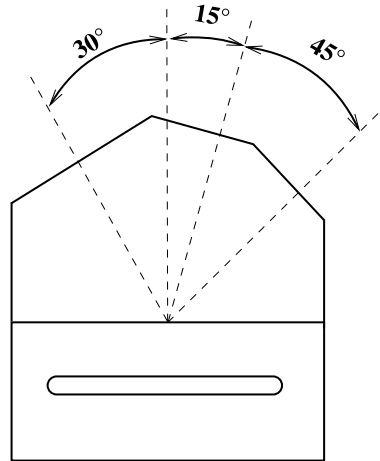


Abbildung 2: Schema zum an ein Strömungsrohr angesetzten Doppler-Prisma.

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:

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

Der Messapparat setzt sich aus einem Ultraschall-Doppler-Generator im Pulsbetrieb und einer daran angeschlossenen Ultraschallsonde zusammen, welche 2 MHz als Arbeitsfrequenz verwendet. Zur Aufnahme und Analyse der gewonnenen Daten ist ein Rechner mit dem entsprechenden Auswertungsprogramm **FlowView** angeschlossen. Damit wird ein Strömungsrohr mit Durchmesser 10 mm untersucht, das die Dopplerphantomflüssigkeit enthält. Dabei handelt es sich um eine Mischung aus Wasser, Glycerin und Glaskugeln, dessen Viskosität so gewählt ist, dass sich bei den verwendeten Flussgeschwindigkeiten eine laminare Strömung ausbildet. Um die Strömungsgeschwindigkeit zu variieren, ist zudem eine Zentrifugalpumpe mit maximaler Leistung von 7,5 L/min im Kreislauf verbaut. Zur Schonung der Gerätschaft werden 70 % dieser Spitzenleistung nicht überschritten.

Zunächst soll die Strömungsgeschwindigkeit als Funktion des Dopplerwinkels bestimmt werden. Dazu ist am Ultraschall-Generator das **SAMPLE-VOLUME** auf **LARGE** gestellt. An der Pumpe wird die Leistung beginnend bei 2,0 L/min in Stufen von 0,5 L/min erhöht. Mithilfe von Doppler-Prisma und Kontakt-Gel werden dazu jeweils 15° , 45° und 60° als Winkel bei gleichbleibendem Abstand zum Rohr betrachtet.

Zur Untersuchung des Strömungsprofils am Schlauch wird bei **SAMPLE-VOLUME** auf **SMALL** und festem Ansetzwinkel gleich 15° über den Regler **DEPTH** die Messtiefe in aufsteigenden Schritten von $0,5 \mu\text{s}$ eingestellt. In Acryl entsprechen $2 \mu\text{s} = 5 \text{ mm}$, in der Flüssigkeit sind $2 \mu\text{s} = 3 \text{ mm}$. Bei 45 % und 70 % der maximalen Pumpleistung wird je die gesamte Rohrtiefe abgetastet, Momentangeschwindigkeit und Streuintensität werden aufgezeichnet.

4 Auswertung

4.1 Vorbereitungsaufgabe

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

Tabelle 2: Messwerte der Dopplerverschiebung

Leistung	$\Delta\nu_{15}$	$\Delta\nu_{30}$	$\Delta\nu_{60}$
2	56	94	153
2.5	65	132	208
3.0	90	167	292
3.5	114	253	334
4	165	311	468

5 Diskussion

Literatur

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

Anhang