

US3

Doppler-Sonographie

Amelie Hater
amelie.hater@tu-dortmund.de

Ngoc Le
ngoc.le@tu-dortmund.de

Durchführung: 07.05.2024

Abgabe: 14.05.2024

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
2.1 Vorbereitungsaufgaben	4
3 Versuchsaufbau	4
4 Durchführung	5
5 Auswertung	5
6 Diskussion	5
Literatur	6
Anhang	6
Technische Daten	6
Originaldaten	6

1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Versuchs ist die Untersuchung der Strömungsgeschwindigkeiten sowie des Strömungsprofils einer Dopplerphantomflüssigkeit anhand des Impuls-Echo-Verfahren.

2 Theorie

Die menschliche Hörschwelle liegt zwischen ca. 16 Hz und ca. 20 kHz. Der Ultraschall Frequenzbereich liegt oberhalb der Hörschwelle bei ca. 20 kHz bis ca. 1 GHz. Von einem Hyperschall wird gesprochen, wenn der Frequenzbereich über 1 GHz liegt. Der Infraschall Frequenzbereich liegt unterhalb der Hörschwelle. Der Doppler-Effekt beschreibt die Änderung der Frequenz bei relativer Bewegung zwischen einem Beobachter und einer Schallquelle. Wenn sich die Quelle auf den Beobachter zu bewegt, wird die Frequenz ν_0 zu einer höheren Frequenz ν_{gr} und wenn die Quelle sich vom Beobachter entfernt, sinkt die Frequenz ν_0 auf einer niedrigeren Frequenz ν_{kl} . Diese Beziehungen lassen sich mit der Gleichung

$$\nu_{\text{gr/kl}} = \frac{\nu_0}{1 \mp \frac{v}{c}} \quad (1)$$

beschreiben, wobei v die Geschwindigkeit des Objekts und c die Schallgeschwindigkeit ist. Falls die Quelle stationär bleibt und der Beobachter sich der Quelle nähert, dann erhöht sich die Frequenz ν_0 auf eine höhere Frequenz ν_{h} . Entfernt sich der Beobachter von der Quelle weg, dann sinkt die Frequenz ν_0 auf eine Frequenz ν_{n} . Die Veränderungen lassen sich durch folgende Beziehung beschreiben

$$\nu_{\text{h/n}} = \nu_0 \left(1 \pm \frac{v}{c} \right) . \quad (2)$$

Die Frequenzverschiebung $\Delta\nu$ wird mithilfe der Winkel α und β ermittelt, welche die Winkel zwischen der Geschwindigkeit v und der Wellennormalen der einlaufenden bzw. auslaufenden Welle beschreibt. Diese Beziehung lautet

$$\Delta\nu = \nu_0 \frac{v}{c} (\cos \alpha + \cos \beta) . \quad (3)$$

Bei diesem Versuch wird das Impuls-Echo-Verfahren verwendet, bei dem die Winkel α und β identisch sind. Daraus folgt für die Frequenzverschiebung

$$\Delta\nu = 2\nu_0 \frac{v}{c} \cos \alpha . \quad (4)$$

Die Erzeugung von Ultraschall ist unter anderem durch die Methode des reziproken piezoelektrischen Effekts möglich. Hierfür wird ein piezoelektrischer Kristall in ein elektrisches Wechselfeld eingeführt. Der Kristall wird zum schwingen angeregt, wenn eine polare Achse des Kristalls zum elektrischen Feld zeigen und strahlt Ultraschallwellen währenddessen ab. Große Schwingungsamplituden können bei Resonanz, also wenn die Anregungsfrequenz mit der Eigenfrequenz des Kristalls übereinstimmt, erzeugt werden. Dadurch können extrem hohe Schallenergiedichten verwendet werden. Außerdem kann der Piezokristall

umgekehrt ebenfalls als Schallempfänger dienen. Somit treffen die Schallwellen auf den Kristall, der zum schwingen angeregt wird. Am meisten werden als piezoelektrische Kristalle Quarze verwendet, obwohl diese einen relativ schwachen piezoelektrischen Effekt haben. Vorteilhaft sind bei Quarze die gleichbleibenden physikalische Eigenschaften.

2.1 Vorbereitungsaufgaben

Zur Vorbereitung soll der Dopplerwinkel von drei verschiedenen Prismenwinkeln θ berechnet werden. Diese lassen sich mithilfe der Gleichung 5 bestimmen und sind in der Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 1: Berechnete Dopplerwinkel zu drei verschiedenen Prismenwinkel mit den Schallgeschwindigkeiten $c_L = 1800 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und $c_P = 2700 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

$\theta [^\circ]$	$\alpha [^\circ]$
15	80,06
30	70,53
45	61,87

Außerdem sollen die Tiefeneinstellungen bestimmt werden, bei denen die Flussgeschwindigkeit der drei verschiedenen Rohren gemessen werden kann. Diese werden durch einen Dreisatz bestimmt, da für die Dopplerflüssigkeit $4 \mu\text{s} \hat{=} 7 \text{ mm}$ gilt.

Tabelle 2: Berechnete Tiefeneinstellungen der Dopplerflüssigkeit für drei verschiedene Rohreninnendurchmessern.

$[\mu\text{s}]$	$[\mu\text{s}]$	$[\mu\text{s}]$
bei 7 mm	bei 10 mm	bei 16 mm
4	5,714	9,143

3 Versuchsaufbau

Für dieses Experiment werden ein Ultraschall Doppler-Generator im Pulsbetrieb, eine Ultraschallsonde mit einer Frequenz von 2 MHz, Strömungsrohre mit unterschiedlichen Innen- und Außendurchmessern und ein Computer für die Datenaufnahme und -analyse verwendet. Außerdem fließt eine Flüssigkeit (Dopplerphantomflüssigkeit), welche aus Wasser, Glycerin und Glaskugeln besteht, durch die verschiedenen Rohre. Diese Flüssigkeit ist bei der Durchführung laminar, da sich der Messbereich in einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit befindet. Zusätzlich kann mithilfe einer Zentrifugalpumpe die Strömungsgeschwindigkeit auf 0 l/min bis 10 l/min eingestellt werden. Allerdings soll für diesen Versuch eine Strömungsgeschwindigkeit von 7 l/min nicht überschritten werden.

Auf dem Computer lassen sich die vom Echoskop gemessenen Daten mit der Messsoftware erfassen, anzeigen und auswerten. Des Weiteren werden Doppler-Prismen mit drei verschiedenen Einschallwinkel, wie in Abbildung 1 zu erkennen, verwendet. Diese werden für die Ankopplung der Ultraschallsonde genutzt und für jeden Rohrdurchmesser ist ein Doppler-Prisma vorhanden. Der Abstand zwischen der Sonde und der Flüssigkeit ist für die drei verschiedenen Einstellwinkel gleich. Der Dopplerwinkel α wird über

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin \left(\sin \theta \cdot \frac{c_L}{c_P} \right) \quad (5)$$

berechnet. Hier beschreibt c_L die Schallgeschwindigkeit der Dopplerflüssigkeit und c_P die Schallgeschwindigkeit des Prismenmaterials und θ den Prismenwinkel.

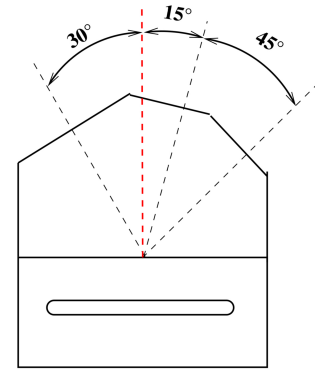


Abbildung 1: Skizze der verwendeten Doppler-Prismen Q[1].

4 Durchführung

Als Erstes wird die Strömungsgeschwindigkeit als Funktion des Dopplerwinkels ermittelt. Hierfür wird am Ultraschallgenerator bei den Geschwindigkeitsmessungen das **SAMPLE VOLUME** auf *LARGE* eingestellt. Bei der Zentrifugalpumpe wird **Mode M1** aktiviert. Dann wird mithilfe der Ultraschallsonde die Frequenzverschiebung $\Delta\nu$ für fünf verschiedene Flussgeschwindigkeiten gemessen. Diese Messung wird an zwei Rohrdurchmessern mit allen drei Prismenwinkeln durchgeführt. Anschließend wird das Strömungsprofil der Doppler-Flüssigkeit bestimmt. Dabei wird die Frequenzverschiebung an zwei Rohren bei einem Prismenwinkel von 15° für verschiedene Messtiefen gemessen. Hier wird beim Ultraschallgenerator das **SAMPLE VOLUME** auf *SMALL* eingestellt und die Messtiefen lassen sich bei dem **DEPTH** Regler einstellen. Diese Messungen werden mit den Strömungsgeschwindigkeiten 3 l/min und 6 l/min durchgeführt.

5 Auswertung

6 Diskussion

Die relative Abweichung zwischen dem theoretischen und dem experimentellen Wert wird bestimmt durch

$$\text{rel. Abweichung} = \frac{|\text{exp. Wert} - \text{theo. Wert}|}{\text{theo. Wert}}.$$

Anfänglich waren Messschwierigkeiten aufgrund eines Wackelkontakts der Ultraschallsonde vorhanden. Sobald diese behoben wurden, wurden die experimentellen Fehler durch den sich nicht veränderten Versuchsaufbau verhindert. Zusätzlich wurden die Messdaten durch einen Computer aufgenommen, wodurch keine Ablesefehler entstehen konnten.

Literatur

[1] Unknown. *Doppler-Sonographie*. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2024.

Anhang

Technische Daten

Tabelle 3: Technische Daten der Dopplerflüssigkeit.

Dichte	$\rho = 1,15 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Schallgeschwindigkeit	$c_L = 1800 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Viskosität	$\eta = 12 \text{ mPa s}$

Tabelle 4: Technische Daten des Dopplerprisma.

Schallgeschwindigkeit	$c_P = 2700 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Länge	$l = 30,7 \text{ mm}$

Tabelle 5: Technische Daten der Strömungsrohre.

Innendurchmesser	Außendurchmesser
7 mm	10 mm
10 mm	15 mm
16 mm	20 mm

Originaldaten