

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

Das Ziel dieses Versuchs ist die Untersuchung der Strömungsgeschwindigkeiten sowie des Strömungsprofils einer Dopplerphantomflüssigkeit anhand des Impuls-Echo-Verfahren. Hierfür wird an verschiedenen Strömungsrohren die Flussgeschwindigkeit und das Strömungsprofil als Funktion der Strömungsgeschwindigkeit  $v$  sowie des Dopplerwinkels  $\sin \alpha$  ermittelt.

## 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  $\nu_0$  zu einer höheren Frequenz  $\nu_{\text{gr}}$  und wenn die Quelle sich vom Beobachter entfernt, sinkt die Frequenz  $\nu_0$  auf eine niedrigeren Frequenz  $\nu_{\text{kl}}$ . 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  $\nu_0$  auf eine höhere Frequenz  $\nu_{\text{h}}$ . Entfernt sich der Beobachter von der Quelle weg, dann sinkt die Frequenz  $\nu_0$  auf eine Frequenz  $\nu_{\text{n}}$ . 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  $\alpha$  und  $\beta$  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  $\alpha$  und  $\beta$  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 gleichbleibende physikalische Eigenschaften.

## 2.1 Vorbereitungsaufgaben

Zur Vorbereitung soll der Dopplerwinkel von drei verschiedenen Prismenwinkeln  $\theta$  berechnet werden. Diese lassen sich mithilfe der Gleichung ?? bestimmen und sind in der Tabelle ?? aufgelistet.

**Tabelle 1:** Berechnete Dopplerwinkel zu drei verschiedene 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 für die Dopplerflüssigkeit.

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

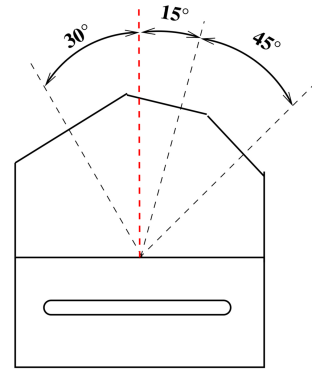
## 3 Versuchsaufbau

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.. Bei diesem Versuch ist diese Flüssigkeit laminar, da sich der Messbereich in einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit befindet. Zusätzlich kann mithilfe einer Zentrifugalpumpe die Strömungsgeschwindigkeit von  $0 \text{ l/min}$  bis  $10 \text{ l/min}$  eingestellt werden. Allerdings soll für diesen Versuch eine Strömungsgeschwindigkeit von  $7 \text{ l/min}$  nicht überschritten werden.

Auf dem Computer lassen sich die vom Echoskop gemessenen Daten mit der Messsoftware erfassen, anzeigen und auswerten. Außerdem fließt eine Flüssigkeit (Dopplerphantomflüssigkeit), welche aus Wasser, Glycerin und Glaskugeln besteht, durch verschiedene Des Weiteren werden Doppler-Prismen mit drei verschiedenen Einschallwinkel, wie in Abbildung ?? 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  $\alpha$  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  $\theta$  den Prismenwinkel.



**Abbildung 1:** Skizze der verwendeten Doppler-Prismen Q[anleitungUS3].

## 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  $15^\circ$  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  $3\text{ l/min}$  und  $6\text{ l/min}$  durchgeführt.

## 5 Auswertung

## 6 Diskussion

## 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