

US 3

## **Dopplersonographie**

Tabea Hacheney  
tabea.hacheney@tu-dortmund.de

Bastian Schuchardt  
bastian.schuchardt@tu-dortmund.de

Durchführung: 31.05.2022

Abgabe: 07.05.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3 Durchführung</b>	<b>5</b>
<b>4 Auswertung</b>	<b>5</b>
4.1 Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Dopplerwinkels . . . . .	5
4.2 Strömungsprofil der Dopplerflüssigkeit . . . . .	5
<b>5 Diskussion</b>	<b>9</b>
5.1 Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Dopplerwinkels . . . . .	9
5.2 Strömungsprofil der Dopplerflüssigkeit . . . . .	9
<b>Anhang</b>	<b>9</b>
<b>Literatur</b>	<b>9</b>

## 1 Zielsetzung

Es soll mittels Doppler-Sonographie die Fließgeschwindigkeit und das Strömungsprofil an Strömungsrohren untersucht werden.

## 2 Theorie

Allgemein sind Schallwellen im Frequenzbereich von 16 kHz bis 20 kHz hörbar. Der Frequenzbereich von 20 kHz bis 1 GHz wird Ultraschall genannt. Der Frequenzbereich darüber wird Hyperschall genannt. Durch Aussenden durch eine Ultraschallsonde und anschließende Reflexion am Material können so die Eigenschaften des Materials bestimmt werden. Der Ultraschall wird in der Sonde durch Quarz-Kristalle mit Hilfe des Piezoelektrischen Effekts erzeugt. Der Piezoelektrische Effekt sorgt bei einer Anregung durch ein äußeres E-Feld für die Emission von Ultraschall. Durch den reziproken Piezoelektrischen Effekt können die reflektierten Ultraschallwellen ausgewertet werden.

Um die Geschwindigkeit eines Teilchens in einer Flüssigkeit zu bestimmen, wird der Dopplereffekt ausgenutzt. Der Dopplereffekt sorgt dafür, dass bei relativer Geschwindigkeit zwischen Quelle und Empfänger eine Frequenzverschiebung auftritt. Bewegen sich Quelle und Beobachter voneinander weg wird die Frequenz  $\nu_0$  zu einer niedrigeren Frequenz  $\nu_n$  verschoben. Dies lässt sich durch

$$\nu_{h/n} = \frac{\nu_0}{1 \mp \frac{v}{c}} \quad (1)$$

ausdrücken. Bewegen sich Quelle und Beobachter aufeinander zu wird die Frequenz zu einer höheren Frequenz  $\nu_h$  verschoben. Dies lässt sich durch

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

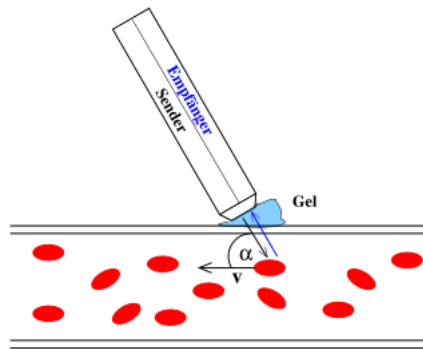
beschreiben. Dabei sind  $v$  die Geschwindigkeit des Objekts und  $c$  die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Material. Wird nun eine strömende Flüssigkeit mit einzelnen Festkörpern untersucht, lässt sich aus den in Abbildung 5 geometrischen Überlegung die Frequenzverschiebung durch

$$\Delta\nu = 2\nu_0 \frac{v}{c} \cos(\alpha) \quad (3)$$

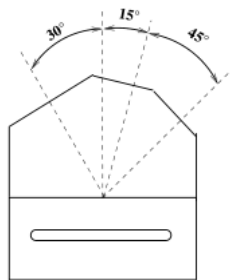
bestimmen. Dabei ist  $\alpha$  der Winkel zwischen der Geschwindigkeit  $v$  und der Wellennormalen. In der Praxis werden sogenannte Doppler-Prismen verwendet, die bei unterschiedlichen Winkeln für gleichbleibende Bedingungen sorgen. Für das in Abbildung 2 dargestellte Prisma lässt sich für  $\alpha$  der Zusammenhang

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin\left(\sin \theta \cdot \frac{c_L}{c_P}\right) \quad (4)$$

mit dem Prismenwinkel  $\theta$ , der Geschwindigkeit der Dopplerflüssigkeit  $c_L$  und der Geschwindigkeit des Prismas  $c_P$  bestimmen.



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung der Doppler-Sonographie an einem Blutgefäß [1].



**Abbildung 2:** Darstellung des im Versuch verwendeten Doppler Primas [1].

### 3 Durchführung

Es wird ein Kreislauf aus Strömungsrohren mit einem Gemisch aus Wasser, Glycerin und Glaskugeln aufgebaut und an eine Pumpe angeschlossen. Weiterhin wird eine 2 MHz-Ultraschallsonde an einen Ultraschall-Doppler-Generator angeschlossen, der zur Auswertung an einen Computer mit dem Programm FlowView verbunden ist. Um die Winkel zu variieren wird ein Dopplerprisma mit genug Ultraschallgel auf dem Strömungsrohr angebracht. Zuerst werden die Frequenzverschiebungen für fünf unterschiedliche Pumpfrequenzen und drei Winkeln von  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  und  $45^\circ$  gemessen. Dazu wird am Ultraschallgenerator das Sample Volume auf Large gestellt. Danach für einen Winkel von  $15^\circ$  die Strömungsgeschwindigkeit bei 4200 rpm und 6400 rpm, was ungefähr 45 % bzw. 70 % der maximalen Pumpleistung entspricht, bestimmt. Dazu wird das Sample Volume auf Small gestellt und mit dem Depthregler die Messtiefe von  $12\text{ }\mu\text{s}$  bis  $19\text{ }\mu\text{s}$  gesteigert.  $4\text{ }\mu\text{s}$  entsprechen dabei ungefähr 10 mm in Acryl und  $4\text{ }\mu\text{s}$  entsprechen ungefähr 6 mm in der Dopplerflüssigkeit.

### 4 Auswertung

#### 4.1 Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Dopplerwinkels

Bei diesem Versuchsteil werden bei unterschiedlichen Pumpgeschwindigkeiten und Einstrahlwinkeln die Frequenzverschiebungen des ausgehenden und eingehenden Schalls untersucht um daraus die Strömungsgeschwindigkeit zu berechnen.

Die Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Dopplerwinkels lässt sich durch Gleichung 3 berechnen. Da nicht die Frequenzverschiebung, sondern die Geschwindigkeit gesucht ist, wird die Formel nach  $v$  umgestellt. In die resultierende Formel

$$v_{\text{Str}} = \frac{\Delta\nu \cdot c}{2\nu_0 \cos \alpha}$$

werden dann alle aufgenommenen Messwerte eingesetzt und die Strömungsgeschwindigkeiten ausgerechnet.

Die Messwerte lassen sich in Tabelle 1 finden. Die Frequenzverschiebungen wurden jeweils bei Einstrahlwinkeln von  $\theta = 15^\circ$ ,  $\theta = 30^\circ$  und  $\theta = 45^\circ$  untersucht. Aus diesen Einstrahlwinkeln lässt sich mithilfe von Gleichung 4 der Dopplerwinkel berechnen.

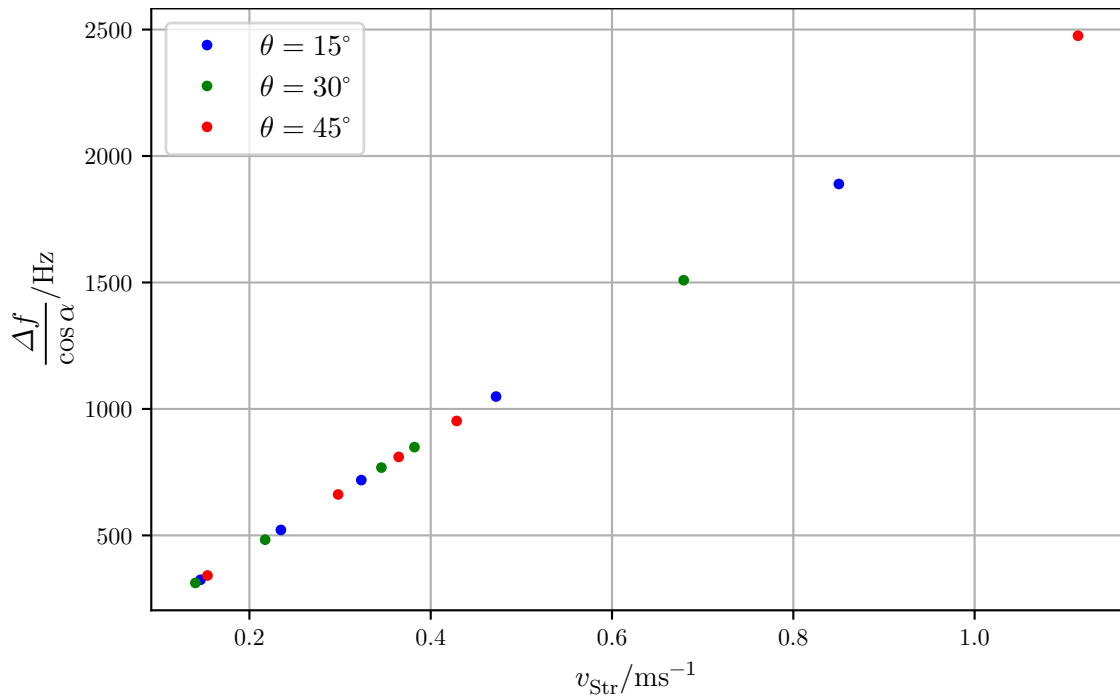
Mithilfe der obigen Formel werden dann die Strömungsgeschwindigkeiten ausgerechnet und ein Plot erstellt, wo  $\frac{\Delta\nu}{\cos \alpha}$  gegen die Strömungsgeschwindigkeit aufgetragen wird. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 zu sehen.

#### 4.2 Strömungsprofil der Dopplerflüssigkeit

Für diesen Versuchsteil werden für unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten und Messtiefen jeweils die Frequenzverschiebungen, die Streuintensitäten des Ultraschalls und die Momentangeschwindigkeit der Flüssigkeit bei einem Einstrahlwinkel von  $\theta = 15^\circ$

Pumpengeschwindigkeit / rpm	Fr.-versch. $\Delta\nu$		
	15°	30°	45°
3970	56	104	161
5000	90	161	312
6000	124	256	382
7000	181	283	449
9300	326	503	1167

**Tabelle 1:** Aufgenommene Messwerte zur Untersuchung der Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Dopplerwinkels.



**Abbildung 3:** Die Frequenzverschiebungen geteilt durch den Cosinus des Dopplerwinkels aufgetragen gegen die Strömungsgeschwindigkeit.

aufgenommen.

Als Strömungsgeschwindigkeiten werden 4200 rpm (ca. 45% der Gesamtleistung) und 6400 rpm (ca. 70% der Gesamtleistung) gewählt. Die aufgezeichneten Messwerte sind jeweils in Tabelle 2 und Tabelle 3 zu finden.

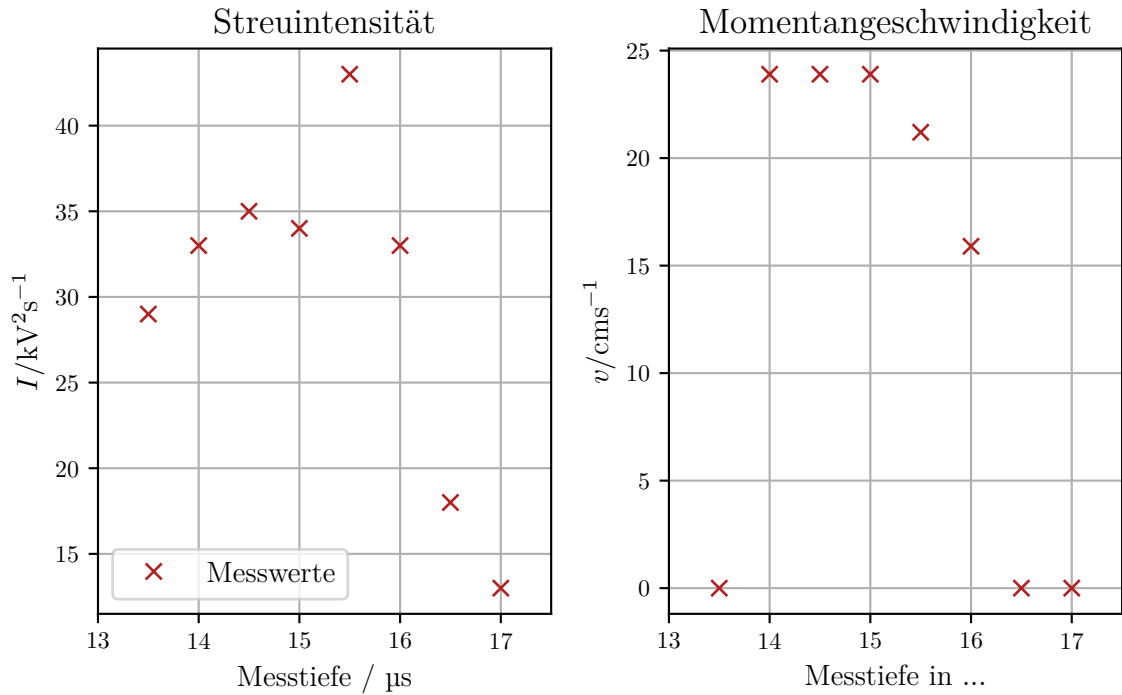
Messtiefe $l$ / $\mu\text{s}$	Fr.-versch. $\Delta\nu$ / Hz	Strömungsgeschw. $v$ / cm/s	Intensität / $\text{kV}^2/\text{s}$
13.5	0	0	29
14	81	23.9	33
14.5	71	23.9	35
15	74	23.9	34
15.5	70	21.2	43
16	68	15.9	33
16.5	0	0	18
17	0	0	13

**Tabelle 2:** Aufgenommenen Messwerte bei einer Durchlaufgeschwindigkeit des Wassers von 4200 rounds per minute.

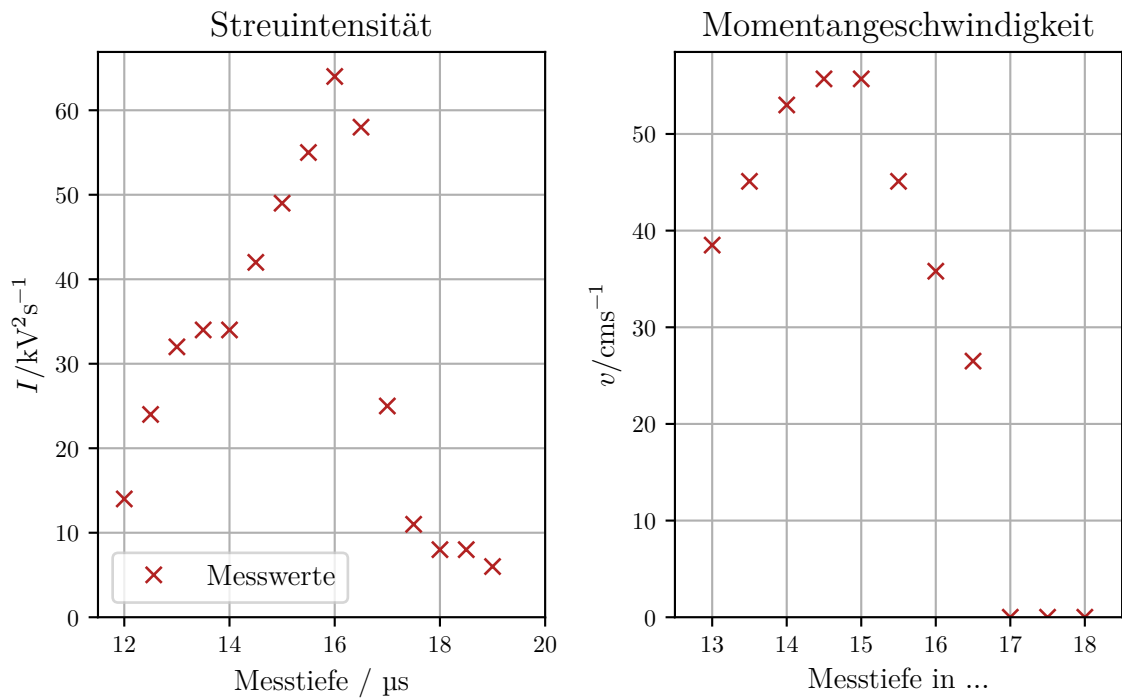
Messtiefe $l$ / $\mu\text{s}$	Fr.-versch. $\Delta\nu$ / Hz	Strömungsgeschw. $v$ / cm/s	Intensität / $\text{kV}^2/\text{s}$
12	0	0	14
12.5	0	0	24
13	155	38.5	32
13.5	188	45.1	34
14	183	53.0	34
14.5	181	55.7	42
15	180	55.7	49
15.5	173	45.1	55
16	148	35.8	64
16.5	145	26.5	58
17	0	0	25
17.5	0	0	11
18	0	0	8
18.5	0	0	8
19	0	0	6

**Tabelle 3:** Aufgenommenen Messwerte bei einer Durchlaufgeschwindigkeit des Wassers von 6400 rounds per minute.

Für die zwei Strömungsgeschwindigkeit werden jeweils Diagramme erstellt, wo die Streuintensität und die Momentangeschwindigkeit gegen die Messtiefe aufgetragen werden.



**Abbildung 4:** Die Streuintensität und Momentangeschwindigkeit ausgetragen gegen die Messtiefe bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 4200 rpm.



**Abbildung 5:** Die Streuintensität und Momentangeschwindigkeit ausgetragen gegen die Messtiefe bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 6400 rpm.



## 5 Diskussion

### 5.1 Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Dopplerwinkels

Es wird der Zusammenhang zwischen dem Dopplerwinkel und der Strömungsgeschwindigkeit  $v_{\text{Str}}$  untersucht.

Dafür wurde  $\frac{\Delta\mu}{\cos\alpha}$  gegen die Strömungsgeschwindigkeit in einem Diagramm aufgetragen. Da  $\Delta\mu$  von  $\cos\alpha$ ,  $v_{\text{Str}}$  und weiteren Konstanten abhängt, muss sich ein linearer Zusammenhang ergeben, wo die Messwerte bei den drei Einfallswinkeln jeweils gruppiert sind. Der lineare Zusammenhang lässt sich wie erwartet anhand von Abbildung 3 bestätigen. Allerdings ist bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten eine größere Streuung der Messwerte zu erkennen. Die Messwerte zu den jeweiligen Winkeln sind also nicht mehr gruppiert.

Dies lässt sich dadurch erklären, dass beim Aufnehmen der Messwerte starke Schwankungen der aufgenommenen Frequenzen zu beobachten war, wodurch eine starke Ungenauigkeit resultiert.

### 5.2 Strömungsprofil der Dopplerflüssigkeit

Wie in den Grafiken abzulesen ist, wird zu bestimmten Messtiefen keine Streuintensität oder Momentangeschwindigkeit aufgenommen. Das liegt daran, dass sich diese Messtiefen außerhalb der Röhre befinden. Daher wird hier kein Strom und Intensität gemessen.

Ansonsten zeigen die dargestellten Strömungsprofile die typischen Merkmale einer laminaren Strömung auf. Die Strömungsgeschwindigkeiten weisen bei circa 15  $\mu\text{s}$  einen Peak auf, was in etwa der Mitte der Röhre entspricht und sinkt dann leicht zu den Rändern der Röhre hin.

Der im Vergleich zur Momentangeschwindigkeit verschobenen Peak der Streuintensität lässt sich durch eine größere Frequenzverschiebung bei größeren Strömungsgeschwindigkeiten erklären.

## Anhang

## Literatur

- [1] *Versuch zur Dopplersonographie*. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2014.