

VERSUCH NUMMER US3

Doppler-Sonographie

Irgendjemand

irgend.jemand@tu-dortmund.de

Durchführung: 14.06.2022

Someone

some.one@tu-dortmund.de

Abgabe: 21.06.2022

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	1
2 Theoretische Grundlagen	1
3 Versuchsaufbau und Durchführung	2
3.1 Aufbau	2
3.2 Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit	2
3.3 Bestimmung des Strömungsprofils	2
4 Auswertung	3
4.1 Strömungsgeschwindigkeit	3
4.2 Strömungsprofil	4
5 Diskussion	4
6 Anhang	5
Literatur	5

1 Zielsetzung

In diesem Versuch sollen mit Hilfe des Doppler-Effekts Aussagen über die Geschwindigkeiten von Flüssigkeiten gemacht werden. Durch diese Messungen sollen so Informationen über eine Flüssigkeit gewonnen werden ohne diese invasive zu untersuchen.

2 Theoretische Grundlagen

Mit Ultraschall ist eine Welle mit einer Frequenz von 20 kHz bis 1,0 GHz. Menschen hören nur in einem Bereich von 16 Hz bis 1,0 kHz. Da es sich bei Schall um eine Welle handelt besitzt dieser die selben Eigenschaften und Effekt wie jede andere Welle. Dazu zählt auch der hier untersuchte Doppler-Effekt. Dieser Effekt beschreibt die Änderung der Frequenz einer Welle wenn diese zwischen relativ bewegten Punkten gemessen wird. Ist die Quelle in Ruhe und der Beobachter bewegt sich auf diese zu wird aus der Frequenz f die größere Frequenz f_h . Andersherum wird die die Frequenz zur kleineren f_n . Diese können durch

$$f_{n/h} = f_0 \left(1 \pm \frac{v}{c} \right) \quad (1)$$

bestimmt werden. In Verbindung mit der Impuls-Echo Methode kann der Dopplereffekt ausgenutzt werden um die Geschwindigkeit einer Flüssigkeit in einem Rohr zu bestimmen.

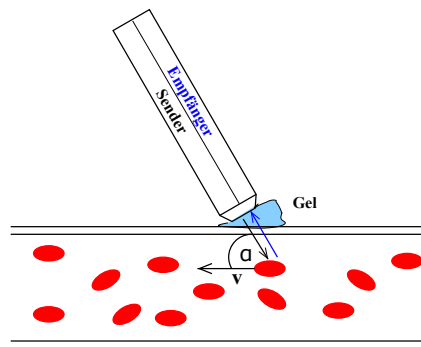


Abbildung 1: Untersuchung einer Flüssigkeit mit dem Impuls-Echo Verfahren [1].

Dieser Vorgang ist in Abbildung 1 zu erkennen. Durch die Bewegung der Teilchen in der Flüssigkeit kommt es aber noch zu einem weiteren Phänomen. Die Schallwelle erfährt eine Phasenverschiebung von

$$\Delta f = 2f_0 \frac{v}{c} \cos \alpha. \quad (2)$$

Für die Generation der Schallwellen wird in der Sonde der sogenannte reziproke piezo-elektrische Effekt ausgenutzt. Piezo-elektrische Materialien dehnen und kontrahieren sich in elektrischen Wechselfeldern. Wird der Resonanz Fall getroffen können so durch die vibration des Materials Schallwellen entstehen. Am häufigsten werden Quarze für diesen Zweck ausgenutzt. Diese haben zwar einen relativ schwachen piezo-elektrische Effekt aber sind durch ihre stabilen Eigenschaften gut geeignet. Für die bessere Kopplung zwischen Sonde und Rohr wird wie in Abbildung 2 zu erkennen ein Prisma zwischen die Sonde und Rohr gebaut.

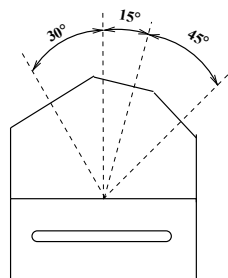


Abbildung 2: Darstellung des Prismas zur besseren Kopplung der Sonde [1].

Um aus dem Prismawinkel θ den gewünschten Dopplerwinkel α zu bekommen wird die Formel

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin\left(\frac{c_L}{c_P} \cdot \sin \theta\right) \quad (3)$$

verwendet.

3 Versuchsaufbau und Durchführung

3.1 Aufbau

Für den Versuch steht eine 2,0 MHz Sonde zur Verfügung. Zur Auswertung der Messung ist diese mit einem Computer verbunden der die Daten darstellt. Des weiteren sind Röhren mit verschiedenen Durchmessern in einem geschlossenen Kreislauf mit einer Pumpe angebracht. Durch die regulierbare Pumpe wird die Dopplerflüssigkeit durch das System gepumpt. Wie in Abbildung 2 zu erkennen ist auch ein Prisma zur Kopplung der Sonde angebracht. Dieses besitzt drei verschiedene Winkel die aber alle die gleiche Entfernung zum Rohr besitzen.

3.2 Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit

Für die erste Messung soll die Fussgeschwindigkeit für 5 verschiedene Pumpeneinstellungen gemessen werden. Dazu wird die Sonde an ein Rohr mit Durchmesser $d = 16$ mm angekoppelt und für alle drei Winkel die Phasenverschiebung Δf bestimmt. Dabei ist es wichtig im Programm SAMPLE VALUE auf LARGE zu stellen. Aus dieser lässt sich die Geschwindigkeit der Flüssigkeit berechnen. Diese Messungen werden für vier weitere Pumpeneinstellungen wiederholt.

3.3 Bestimmung des Strömungsprofils

Nun wird an einem Schlauch mit Durchmesser $d = 10$ mm gemessen. Für diese Messung muss SAMPLE VALUE auf SMALL gestellt werden. Um die Geschwindigkeit an verschiedenen Tiefen bestimmen zu können wird die Tiefe an dem Regler DEPTH eingestellt. Die Pumpe wird auf eine Leistung von 70 % gestellt und in einer Tiefe von 30 mm die Geschwindigkeit sowie der Streuintensitätswert bestimmt. Die Messung wird in Schritten der Größe 0,75 mm wiederholt bis zu einer Tiefe von 11 mm. Das Messprogramm wird dann mit einer Pumpleistung von 70 % wiederholt.

4 Auswertung

4.1 Strömungsgeschwindigkeit

Zuerst werden zu den Prismawinkeln θ über (3) die Dopplerwinkel α berechnet. Diese sind in Tabelle 1 zu finden.

Tabelle 1: Dopplerwinkel und Prismawinkel

$\theta / ^\circ$	$\alpha / ^\circ$
15	80
30	71
45	62

Die Strömungsgeschwindigkeiten wurden am Rohr mit dem Innendurchmesser $d = 16 \text{ mm}$ gemessen. Durch umstellen von (2) ergibt sich

$$v = \frac{\Delta f c_L}{2f_0 \cos(\alpha)}$$

Mithilfe dieser Gleichung werden die Strömungsgeschwindigkeiten v in Tabelle 2 berechnet.

Tabelle 2: Berechnete Strömungsgeschwindigkeiten

rpm	$\Delta f / \text{Hz}$			$v / \text{m/s}$		
	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
3500	46	38	-31	0,12	0,051	-0,030
4300	51	65	99	0,13	0,088	0,095
5100	55	88	140	0,14	0,12	0,14
5900	70	140	200	0,18	0,19	0,19
6700	120	180	310	0,32	0,24	0,29
7500	160	230	430	0,40	0,31	0,41

In Abbildung 3 wird der Quotient $\frac{\Delta f}{\cos(\alpha)}$ gegen die Strömungsgeschwindigkeiten v aus Tabelle 2 aufgetragen.

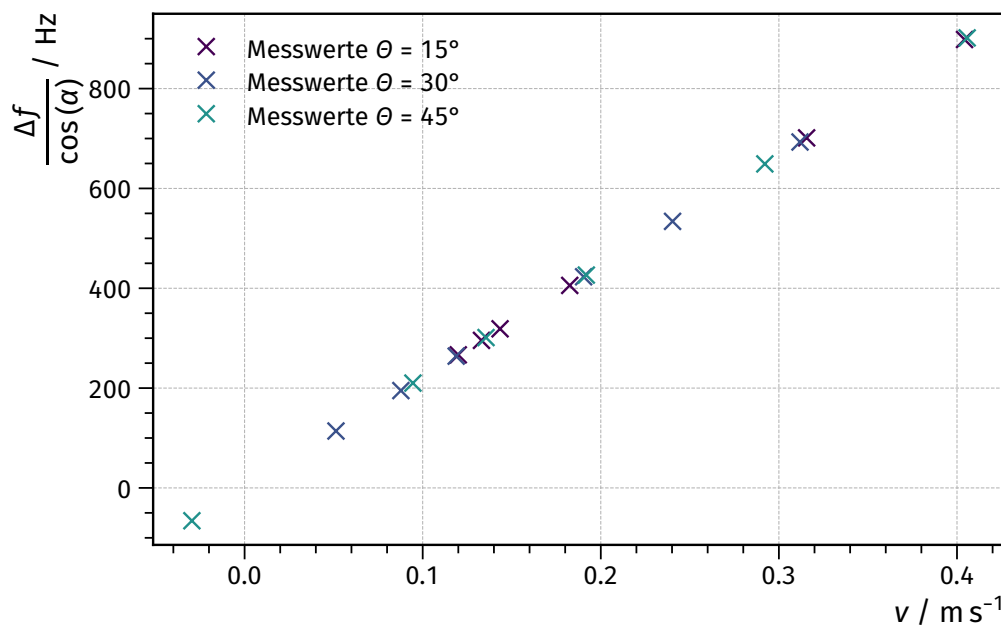
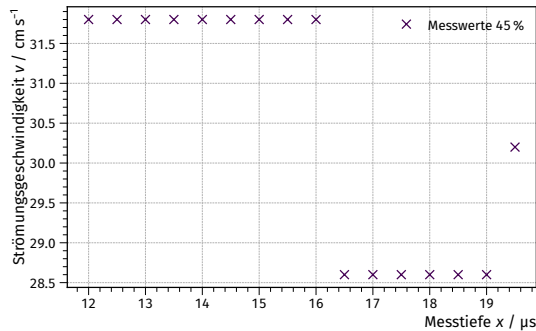


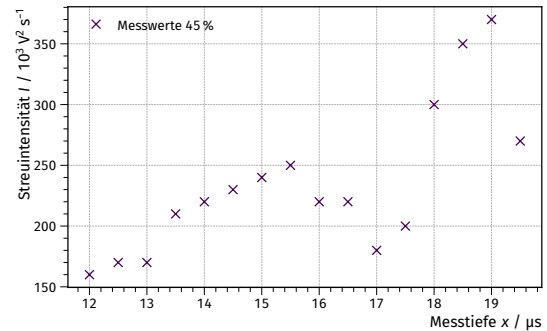
Abbildung 3: $\frac{\Delta f}{\cos(\alpha)}$ als Funktion der Strömungsgeschwindigkeit v

4.2 Strömungsprofil

Zuerst sollte aus der Messtiefe in μs der Bereich innerhalb des Rohres bestimmt werden. In Acryl entspricht $1,0 \mu\text{s}$ 2,5 mm und in der Dopplerflüssigkeit 1,5 mm. Da das Dopplerprisma eine Länge von 31 mm, ergibt sich eine entsprechende Vorlaufstrecke. Umgerechnet startet der Interessante Bereich für die Messung also bei circa $13 \mu\text{s}$. Der Innendurchmesser des Rohres beträgt 10 mm. Somit geht der interessante Messbereich bis zu einer Messtiefe von $19 \mu\text{s}$. In den folgenden Graphen werden die Strömungsgeschwindigkeit v und die Streuintensität I gegen die Messtiefe x aufgetragen. Eine Pumpleistung von 45 % entspricht hier 3825 rpm und 70 % 5950 rpm.

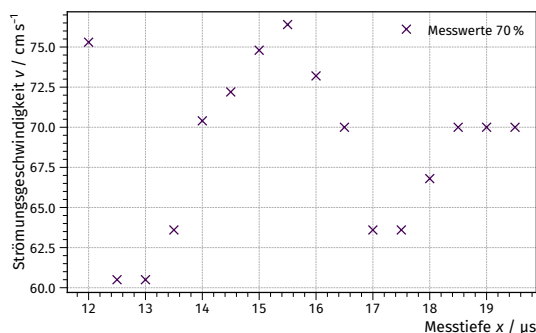


(a) Strömungsgeschwindigkeit.

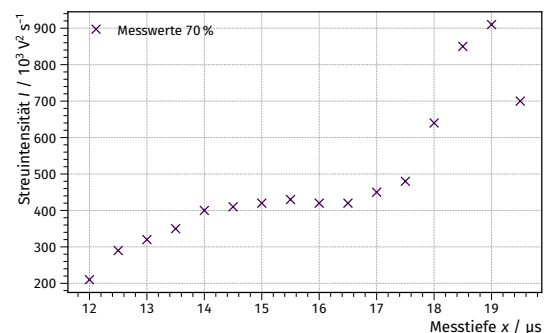


(b) Streuintensität.

Abbildung 4: Messung bei einer Pumpleistung von 45 %.



(a) Strömungsgeschwindigkeit.



(b) Streuintensität.

Abbildung 5: Messung bei einer Pumpleistung von 70 %.

5 Diskussion

In Abbildung 3 ist zu erkennen, dass alle Werte eine Gerade bilden. Dies spricht dafür, dass die Strömungsgeschwindigkeit v proportional zum Quotienten $\frac{\Delta f}{\cos(\alpha)}$ ist. Außerdem scheint die Strömungsgeschwindigkeit im Rahmen der Messungenauigkeiten nicht von dem Messwinkel abzuhängen.

An Abbildung 5a ist zu erkennen, dass die Geschwindigkeit parabelförmig verläuft. Es ist also ein Strömungsprofil zu erkennen. Der zweite Anstieg ist zu ignorieren, da er am Rande des Messbereiches liegt und über die Reflexion des Schalls an der hinteren Rohrwand zu erklären ist. Da in Abbildung 4a kein Strömungsprofil zu erkennen ist, liegt hier wahrscheinlich ein Messfehler vor und das Ergebnis ist somit nicht näher zu diskutieren.

In Abbildung 4b und Abbildung 5b sollte eigentlich ein in etwa inverser Verlauf zu den Geschwindigkeiten zu erkennen sein, dass dies hier nicht der Fall ist ist vor allem durch das starke Schwanken der Streuintensität zu begründen. Diese konnte beim Messen nicht genau abgelesen werden. Insgesamt eignet sich dieser Versuchsaufbau also hauptsächlich zu qualitativen Aussagen über das Strömungsverhalten um quantitative Aussagen zu treffen, müsste der Versuchsaufbau verbessert oder gar ein anderer Versuchsaufbau verwendet werden.

6 Anhang

VUS3 16mm			10mm		
3000 rpm			5950 rpm 15°		
15°	30°	45°	12ms	-75,3 $\frac{cm}{s}$	210 $\frac{1000 \mu^2}{s}$
95-69	105-61	167-198	12,8	-60,5	290
4300 rpm			13	-60,5	320
15°	30°	45°	13,5	-63,6	350
112-61	150-85	246-116	14	-70,4	400
5100 rpm			14,5	-72,2	410
15°	30°	45°	15	-74,8	420
140-88	210-122	350-209	15,5	-76,9	430
5900 rpm			16	-73,2	420
15°	30°	45°	16,5	-70,0	420
180-110	300-173	470-269	17	-63,6	450
6700 rpm			17,5	-63,6	480
15°	30°	45°	18	-66,7	640
255-134	400-232	745-409	18,5	-70,0	850
7500 rpm			19	-70	910
15°	30°	45°	18,5	-70,0	700
350-195	500-269	550-525			

J. Müller

Abbildung 6: Daten im Messbuch.

Literatur

- [1] Versuch Nr. US3. Doppler-Sonographie. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2022.