

US3

# **Dopplersonographie**

Jannis Vornholt

Mirjam Prayer

Durchführung: 4.5.2021

Abgabe: 9.5.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
1.1	Zielsetzung und Grundlagen . . . . .	3
1.2	Ultraschall . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Durchführung</b>	<b>4</b>
2.1	Bestimmung der Fließgeschwindigkeit . . . . .	4
2.2	laminare Strömungen . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Messwerte</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>8</b>

# 1 Theorie

## 1.1 Zielsetzung und Grundlagen

In diesem Versuch wird mittels eines Ultraschallgeräts die Fließgeschwindigkeit von einem speziellen Flüssigkeitsgemisch innerhalb von Schläuchen verschiedener Durchmesser bestimmt. Dazu wird der Dopplereffekt verwendet. Treffen Schallwellen auf einen bewegten Körper, ist die Frequenz der reflektierten Schallwellen verändert. Bewegt sich der Körper auf die Schallwelle zu, verschiebt sich die Frequenz in den höheren Bereich; entfernt sich der Körper von der Quelle der Schallwellen, sinkt die Frequenz. Die Frequenz der reflektierten Welle beträgt

$$f_{kl/gr} = \frac{f_0}{1 \pm \frac{v}{c}}. \quad (1)$$

Diese Eigenschaft wird verwendet, um die Fließgeschwindigkeit zu bestimmen. Dazu wird eine Sonde verwendet, die sowohl Ultraschallwellen aussendet, als auch die reflektierten Wellen misst. Diese wird wie in Abbildung dargestellt, unter einem bestimmten Winkel auf das zu untersuchende Medium gerichtet. Wie zuvor beschrieben, wird die reflektierte Schallwelle frequenzverschoben. Der Zusammenhang zu dem Winkel  $\alpha$  der Sonde zu dem Schlauch lautet

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

wobei  $v$  die Geschwindigkeit der Flüssigkeit darstellt und  $c$  die Schallgeschwindigkeit in dem Medium wie in Abbildung 1 dargestellt.

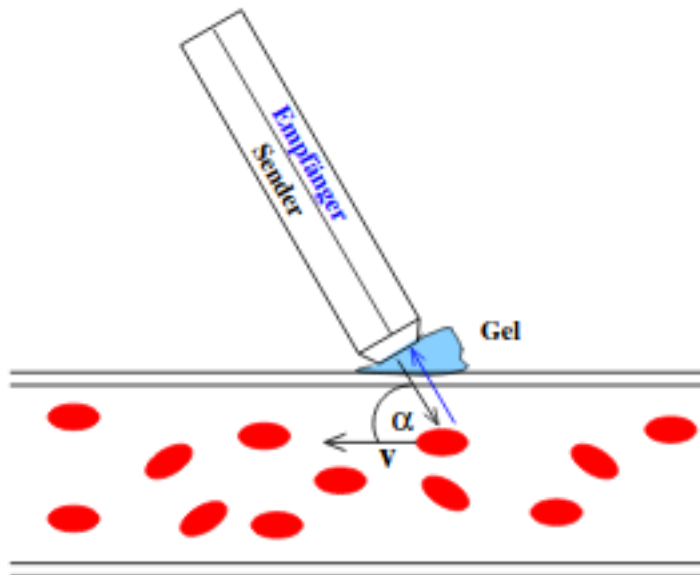


Abbildung 1: Darstellung der Ultraschallsonde

## 1.2 Ultraschall

Als Ultraschall wird der Schall bezeichnet, dessen Frequenz über der vom Menschen wahrnehmbaren Schwelle, d.h. über 20 kHz liegt. Um Ultraschall zu erzeugen wird sich der piezo-elektrische Effekt zu Nutzen gemacht. Dabei wird ein Piezokristall in ein elektrisches Wechselfeld eingebettet und dadurch zum Schwingen angeregt. Wird die Eigenfrequenz des Kristalls getroffen, kommen große Schwingungsamplituden zustande, so dass Ultraschallwellen mit hoher Schallenergiedichte erzeugt werden. Das selbe Prinzip kommt beim Empfangen der reflektierten Schallwelle zum tragen.

## 2 Durchführung

### 2.1 Bestimmung der Fließgeschwindigkeit

Untersucht wird eine Flüssigkeitgemisch aus Wasser, Glycerin und Glaskugeln. Die Strömungsgeschwindigkeit wird in drei Rohren verschiedenen Durchmessers (7 mm, 10 mm, 16 mm) bestimmt. Es werden Dopplerprismen mit drei verschiedenen Einschallwinkeln ( $15^\circ$ ,  $30^\circ$  und  $60^\circ$ ) zur Ankopplung der Ultraschallsonde an die Rohre verwendet. Aufgrund von Brechung sind dies allerdings nicht die Winkel, unter denen die Schallwellen auf die Glaskugeln treffen. Diese berechnen sich zu

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

mit Schallgeschwindigkeit  $c_L$  der Flüssigkeit und  $c_P$  des Prismas. Bei den Messungen werden sowohl die Messwinkel als auch die Fließgeschwindigkeit variiert.

### 2.2 laminare Strömungen

Durch das Glycerin besitzt die Dopplerflüssigkeit eine gewisse Viskosität. Das führt dazu, dass laminare Strömungen entstehen, also das Wasser in der Mitte des Schlauches schneller fließt, als am Rand. Das Strömungsprofil wird im mitteldicken Schlauch bestimmt. Dazu wird die gleich Technik wie zuvor und ein Winkel von  $15^\circ$  verwendet. Variiert wird zwischen den Messungen die Messtiefe.

## 3 Messwerte

**Tabelle 1:** Frequenzen in Abhängigkeit von Prismawinkel und Flussgeschwindigkeit (Rohrinnendurchmesser: 7mm).

Winkel	$1,5 \left[\frac{l}{min}\right]$	$2,5 \left[\frac{l}{min}\right]$	$3,5 \left[\frac{l}{min}\right]$	$4,5 \left[\frac{l}{min}\right]$	$5,5 \left[\frac{l}{min}\right]$	$6,5 \left[\frac{l}{min}\right]$
15°	85	159	344	342	464	586
30°	-134	-281	-439	-659	-903	-1172
60°	232	537	903	1318	1893	2271

**Tabelle 2:** Frequenzen in Abhängigkeit von Prismawinkel und Flussgeschwindigkeit (Rohrinnendurchmesser: 10mm).

Winkel	$1,5 \left[\frac{l}{min}\right]$	$2,5 \left[\frac{l}{min}\right]$	$3,5 \left[\frac{l}{min}\right]$	$4,5 \left[\frac{l}{min}\right]$	$5,5 \left[\frac{l}{min}\right]$
15°	-61	-98	-146	-244	-342
30°	49	61	98	146	195
60°	110	220	366	525	537

**Tabelle 3:** Frequenzen in Abhängigkeit von Prismawinkel und Flussgeschwindigkeit (Rohrinnendurchmesser: 16mm).

Winkel	$1,5 \left[\frac{l}{min}\right]$	$2,5 \left[\frac{l}{min}\right]$	$3,5 \left[\frac{l}{min}\right]$	$4,5 \left[\frac{l}{min}\right]$	$5,5 \left[\frac{l}{min}\right]$	$6,5 \left[\frac{l}{min}\right]$
15°	0	49	61	85	122	134
30°	0	-61	-85	-146	-208	-269
60°	61	98	159	232	330	427

**Tabelle 4:** Frequenzen und Intensitäten bei verschiedenen Tiefen (Prismawinkel: 15°; Flussgeschwindigkeit:  $5,2 \frac{l}{min}$ ).

Tiefe [ $\mu s$ ]	13	14	15	16	17	18
Frequenz [Hz]	42	305	404	317	256	122
Intensität [ $\frac{1000 \cdot V^2}{s}$ ]	19	61	60	69	93	49

**Tabelle 5:** Frequenzen und Intensitäten bei verschiedenen Tiefen (Prismawinkel: 15°; Flussgeschwindigkeit:  $3,7 \frac{l}{min}$ ).

Tiefe [ $\mu s$ ]	13	14	15	16	17	18
Frequenz [Hz]	/	134	171	159	134	110
Intensität [ $\frac{1000 \cdot V^2}{s}$ ]	/	53	69	80	74	54

## 4 Auswertung

Aus den gegebenen Prismawinkeln ergeben sich die in Tabelle 6 aufgeführten Dopplerwinkel.

**Tabelle 6:** Prismawinkel und Dopplerwinkel.

Prismawinkel	15°	30°	60°
Dopplerwinkel	80,06°	70,57°	54,74°

Mit Gleichung (4) werden die Geschwindigkeiten der Glaskugeln der Dopplerphantomflüssigkeit bestimmt. Die berechneten Geschwindigkeiten hängen jeweils von der Frequenzverschiebung und dem Dopplerwinkel ab und sind in Tabelle 7 dargestellt.

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

**Tabelle 7:** Berechnete Strömungsgeschwindigkeiten.

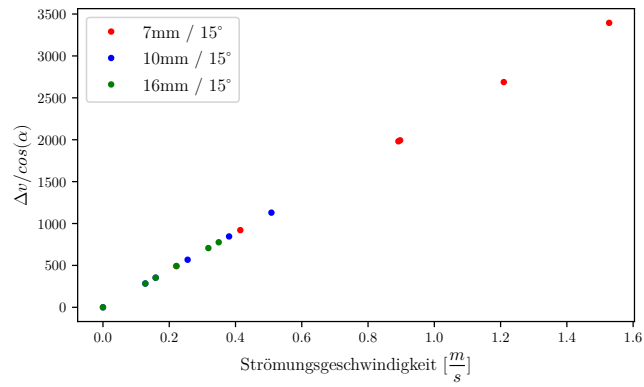
Flussgeschwindigkeit [ $\frac{l}{min}$ ] :	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5
Rohrinnendurchmesser [mm] / Prismawinkel	Strömungsgeschwindigkeit [ $\frac{m}{s}$ ]					
7 / 15°	0,222	0,415	0,897	0,892	1,210	1,528
7 / 30°	-0,181	-0,380	-0,594	-0,891	-1,222	-1,505
7 / 60°	0,181	0,419	0,704	1,027	1,476	1,770
10 / 15°	0,128	0,159	0,255	0,381	0,508	/
10 / 30°	-0,083	-0,133	-0,198	-0,330	-0,463	/
10 / 60°	0,086	0,171	0,285	0,409	0,419	/
16 / 15°	/	0,128	0,159	0,222	0,318	0,349
16 / 30°	/	-0,083	-0,115	-0,198	-0,281	-0,364
16 / 60°	0,048	0,076	0,124	0,181	0,257	0,333

Graphik 2 zeigt  $\frac{\Delta\nu}{\cos(\alpha)}$  in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit, für den Dopplerwinkel  $\alpha = 80,06^\circ$  und alle drei Rohre. Zur Bestimmung der Punkte wird Gleichung (4) zu

$$\frac{\Delta\nu}{\cos(\alpha)} = \frac{2\nu \cdot v}{c}, \quad (5)$$

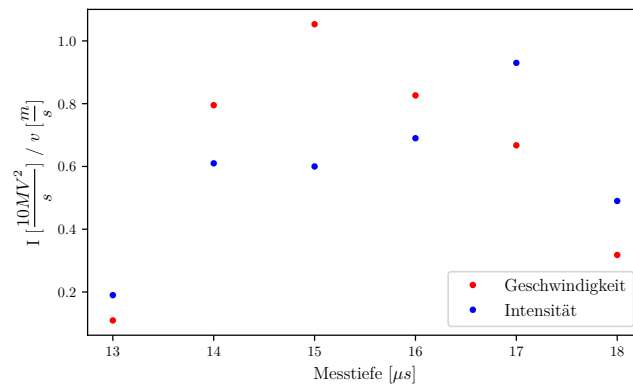
umgestellt.

Für das Strömungsprofil werden zunächst die Strömungsgeschwindigkeiten der verschiedenen Tiefen bei einer Pumpleistung von 70% bzw. 45% bestimmt. Um das Strömungsprofil veranschaulichen zu können, werden die Strömungsgeschwindigkeiten  $v$  berechnet und zusammen mit den Streuintensitäten  $I$  in Abhängigkeit von der Messtiefe, in ein



**Abbildung 2:** Verhältnis der Frequenzverschiebung zum Dopplerwinkel abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit.

Diagramm eingezeichnet. Dies zeigt Graphik 3 für die 70% Pumpleistung und Graphik 4 für die 45% Pumpleistung.



**Abbildung 3:** Strömungsprofil bei 70% Pumpleistung.

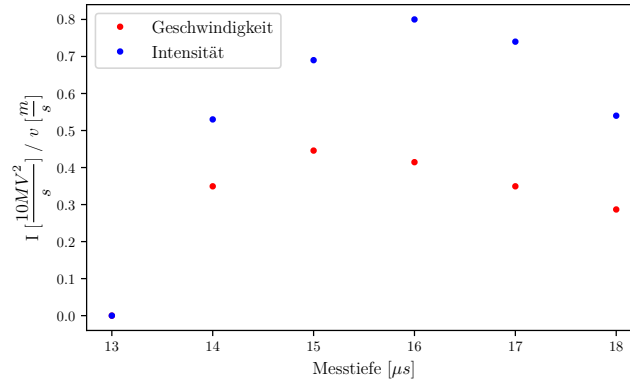


Abbildung 4: Strömungsprofil bei 45% Pumpleistung.

## 5 Diskussion

Bei den berechneten Strömungsgeschwindigkeiten fällt auf, dass sie für gleiche Flussgeschwindigkeiten stark von den Innendurchmessern der verwendeten Röhren abhängen. Wie zu erwarten sind die Strömungsgeschwindigkeiten beim schmalsten Rohr mit 7mm Innendurchmesser immer am größten, danach kommen die des mittleren Rohres und am geringsten sind die Strömungsdurchmesser beim dicksten Rohr mit 16mm Innendurchmesser. Ebenso ist zusehen, dass bei gleichem Rohr und gleicher Flussgeschwindigkeit die Strömungsgeschwindigkeiten in der selben Größenordnung sind. Daraus lässt sich schließen, dass die Strömungsgeschwindigkeit nicht vom Dopplerwinkel abhängt, was zu erwarten war. Die bestimmten Geschwindigkeiten beim Prismawinkel von  $30^\circ$  sind alle negativ, da bei diesem Prismawinkel die Ultraschallsonde in die entgegengesetzte Fließrichtung der Dopplerphantomflüssigkeit zeigt. Das Vorzeichen kann daher ignoriert werden. Bei Graphik 2 fällt auf, dass das Verhältnis der Frequenzverschiebung zum  $\cos(\alpha)$  des Dopplerwinkels linear mit steigender Strömungsgeschwindigkeit ansteigt. Dies hängt nicht vom Durchmesser des Rohres ab. Dies zeigt die Abhängigkeit der Frequenzverschiebung vom Dopplerwinkel  $\alpha$ . Bei der Bestimmung des Strömungsprofils und somit bei Graphik 3 und 4, ist zu sehen wie sowohl die Strömungsgeschwindigkeit als auch die Intensität zur Mitte des Rohres hin anwächst und an den Seiten abfällt. Bis auf die beiden Intensitätspunkte bei  $15\mu s$  und  $16\mu s$ , bei einer 70%-igen Flussgeschwindigkeit, ist dies eindeutig. Diese beiden Fehler könnten durch ungenaues Messen zustande gekommen sein, eine naheliegende Erklärung für eine geringer gemessene Intensität sind Luftblasen in dem Gel zwischen Ultraschallsonde und Prisma oder zwischen Prisma und Schlauch. Diese würden die Ultraschallblasen z.B. reflektieren, wenn diese von der Flüssigkeit zurück zur Sonde laufen, wodurch diese nicht gemessen werden können und die gemessene Intensität sinkt. Die restlichen Messpunkte zeigen, dass die Strömungsgeschwindigkeit am Rand geringer ist. Die ebenfalls am Rand geringere Intensität gibt einen Hinweis auf Wirbel am Rand. Durch diese würde sowohl die Strömungsgeschwindigkeit sinken, als auch die Intensität, da die Ultraschallwellen an diesen Wirbeln gestreut werden. Insgesamt sind



in allen drei Aufgabenteilen die zu erwartenden Phänomene beobachtet worden, was auf gute Messwerte schließen lässt.