

US-3

## **Doppler-Sonographie**

Christopher Krause  
christopher2.krause@tu-dortmund.de

Lucas Witthaus  
lucas.witthaus@tu-dortmund.de

Durchführung: 05.06.2018      Abgabe: 03.07.2018  
Korrektur

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3 Durchführung</b>	<b>4</b>
<b>4 Auswertung</b>	<b>5</b>
4.1 Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit . . . . .	5
4.2 Bestimmung des Strömungsprofils . . . . .	7
<b>5 Diskussion</b>	<b>10</b>
<b>Literatur</b>	<b>10</b>

# 1 Zielsetzung

In diesem Versuch sollen mithilfe von Ultraschall und dem Doppler-Effekt, Strömungen auf charakteristische Eigenschaften untersucht werden.

# 2 Theorie

Ultraschall ist eine Schallwelle mit einem Frequenzbereich von 20 kHz bis 1 GHz und somit nicht mehr für den Menschen hörbar.

Diese Wellen können unter anderem mit einem piezo-elektrischen Kristall, meist Quarze, erzeugt werden. In einem elektrischen Wechselfeld werden diese Kristalle zu Schwingungen angeregt und strahlen dabei Ultraschallwellen ab.

Mithilfe von Ultraschall kann die Geschwindigkeit von Strömungen berechnet werden. Die Frequenz der Ultraschallwelle wird beim Auftreffen auf ein bewegtes Objekt gemäß dem Doppler-Effekt verschoben. Dieser Effekt beschreibt die Vergrößerung der Frequenz einer Schallquelle, falls sich diese einem Empfänger nähert, oder der Empfänger sich der Quelle nähert. Dementsprechend verringert sich die Frequenz, falls sich die Quelle von dem Empfänger entfernt, oder sich der Empfänger von der Quelle entfernt.

$$\text{Für bewegte Quelle:} \quad \nu = \frac{\nu_0}{1 \mp \frac{v_S}{c}} \quad (1)$$

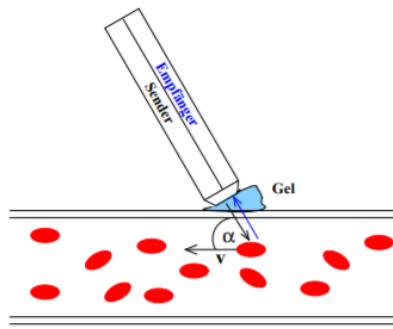
$$\text{Für bewegten Empfänger:} \quad \nu = \nu_0 \left( 1 \pm \frac{v_E}{c} \right) \quad (2)$$

Mit der Geschwindigkeit des Senders  $v_S$  und der Geschwindigkeit des Empfängers  $v_E$  und der Schallgeschwindigkeit des jeweiligen Mediums  $c$ .

Für die Frequenzverschiebung  $\Delta\nu$  bei dem Auftreffen des Ultraschalls auf die Strömung unter einem Winkel gilt:

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

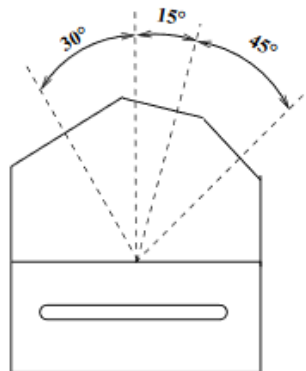
In Abbildung 1 ist die Beziehung des Winkels  $\alpha$  mit  $v_E$  dargestellt.



**Abbildung 1:** Verfahren zur Bestimmung der Geschwindigkeit von Strömungen. [1]

### 3 Durchführung

Der Versuch wird an einem System an Strömungsrohren durchgeführt, welche mit einem Gemisch aus Wasser, Glycerin und Glaskugeln gefüllt sind. Die Flussgeschwindigkeit dieses Gemischs kann mithilfe einer in das System integrierten Zentrifugalpumpe geregelt werden.



**Abbildung 2:** Abbildung eines Doppler-Prismas. [1]

Zu Beginn werden Doppler-Prismen (Abbildung 2) auf drei zu untersuchende Schlauchstellen gesteckt. Dabei wird auf die Prismen an ihrer Kontaktstelle zum Schlauch sowie oben auf die späteren Kontaktstellen zur Ultraschallsonde jeweils Ultraschallgel aufgetragen, um die Messung vernünftig durchführen zu können. Sodann wird eine Ultraschallsonde an einen Doppler-Generator angeschlossen. Dieser ist ebenfalls mit einem Rechner verbunden, auf dem die Ergebnisse der Messung dargestellt werden können.

Anschließend werden dann jeweils an allen drei Einstellflächen (15°, 30°, 60°) eines jeden Prismas (welche sich an den drei unterschiedlich dicken zu untersuchenden Rohren befin-

den) für fünf unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten die Frequenzverschiebungen gemessen.

Im zweiten Teil des Versuchs wird dann ein Strömungsprofil der Dopplerflüssigkeit erstellt. Dazu wird bei insgesamt zwei verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten in unterschiedlichen Tiefen des Rohres die Frequenzänderung sowie die Standardabweichung bestimmt. Die Messtiefe kann dabei am Ultraschallgenerator eingestellt werden.

## 4 Auswertung

### 4.1 Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit

In Tabelle 1 sind die gemessenen Frequenzen in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit  $v$  und des Winkels  $\alpha$  der einzelnen Rohre. Zusätzlich werden die mit diesen Werten aus Gleichung 3 berechneten Geschwindigkeiten der Dopplerflüssigkeit aufgeführt.

**Tabelle 1:** Frequenzen und Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Dicke des Rohres, des Winkels und der Strömungsgeschwindigkeit.

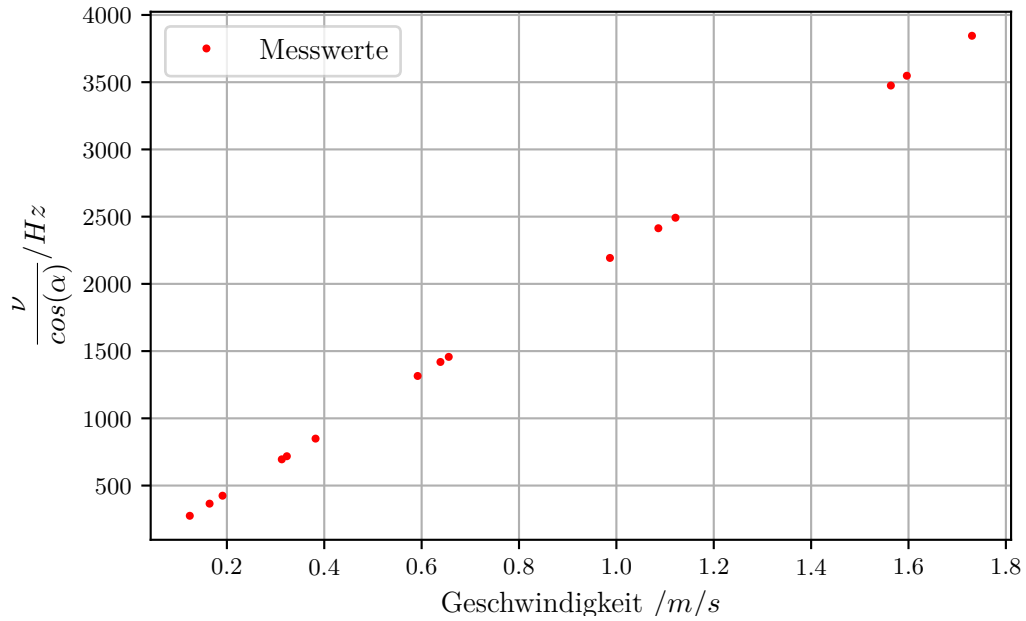
$v/\text{rpm}$	7mm Rohr			10mm Rohr			16mm Rohr		
	$\alpha/^\circ$	$\nu/\text{Hz}$	$v/\text{ m/s}$	$\alpha/^\circ$	$\nu/\text{Hz}$	$v/\text{ m/s}$	$\alpha/^\circ$	$\nu/\text{Hz}$	$v/\text{ m/s}$
2000	15	-73	-0,191	15	-49	-0,128	15	-61	-0,160
2000	30	122	0,164	30	73	0,098	30	49	0,066
2000	60	-159	-0,124	60	-98	-0,076	60	-61	-0,048
3000	15	-146	-0,382	15	-85	-0,222	15	-49	-0,128
3000	30	232	0,313	30	110	0,148	30	73	0,098
3000	60	-415	-0,323	60	-159	-0,124	60	-122	-0,095
4000	15	-244	-0,639	15	-146	-0,382	15	-73	-0,191
4000	30	439	0,592	30	232	0,313	30	110	0,148
4000	60	-842	-0,656	60	-415	0,323	60	-183	-0,143
5000	15	-415	-1,086	15	-183	-0,479	15	-98	-0,257
5000	30	732	0,987	30	354	0,477	30	171	0,231
5000	60	-1440	-1,121	60	-696	-0,542	60	-281	-0,219
6000	15	-610	-1,597	15	-269	-0,704	15	-134	-0,351
6000	30	1160	1,564	30	549	0,740	30	232	0,313
6000	60	-2222	-1,730	60	-1062	-0,827	60	-391	-0,304

Daraus ergeben sich die in Tabelle 2 dargestellten Mittelwerte  $v_m$  für die einzelnen Geschwindigkeiten.

**Tabelle 2:** Mittelwerte der errechneten Geschwindigkeiten.

	7mm Rohr	10mm Rohr	16mm Rohr
$v/\text{rpm}$	$v_{mk}/\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$v_{mm}/\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$v_{mg}/\frac{\text{m}}{\text{s}}$
2000	$0,160 \pm 0,020$	$0,101 \pm 0,015$	$0,091 \pm 0,035$
3000	$0,339 \pm 0,022$	$0,165 \pm 0,029$	$0,107 \pm 0,011$
4000	$0,629 \pm 0,019$	$0,339 \pm 0,022$	$0,161 \pm 0,015$
5000	$1,065 \pm 0,041$	$0,499 \pm 0,022$	$0,236 \pm 0,012$
6000	$1,630 \pm 0,051$	$0,757 \pm 0,037$	$0,323 \pm 0,015$

Trägt man  $\frac{\nu}{\cos(\alpha)}$  gegen die jeweils errechnete Strömungsgeschwindigkeit auf, so ergibt sich das folgende Diagramm (hier exemplarisch für das dünne Rohr).



**Abbildung 3:** Streuintensität bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 3000rpm

Es ergibt sich eine Gerade. Bei den anderen Rohrdicken verhalten sich die Diagramme analog.

## 4.2 Bestimmung des Strömungsprofils

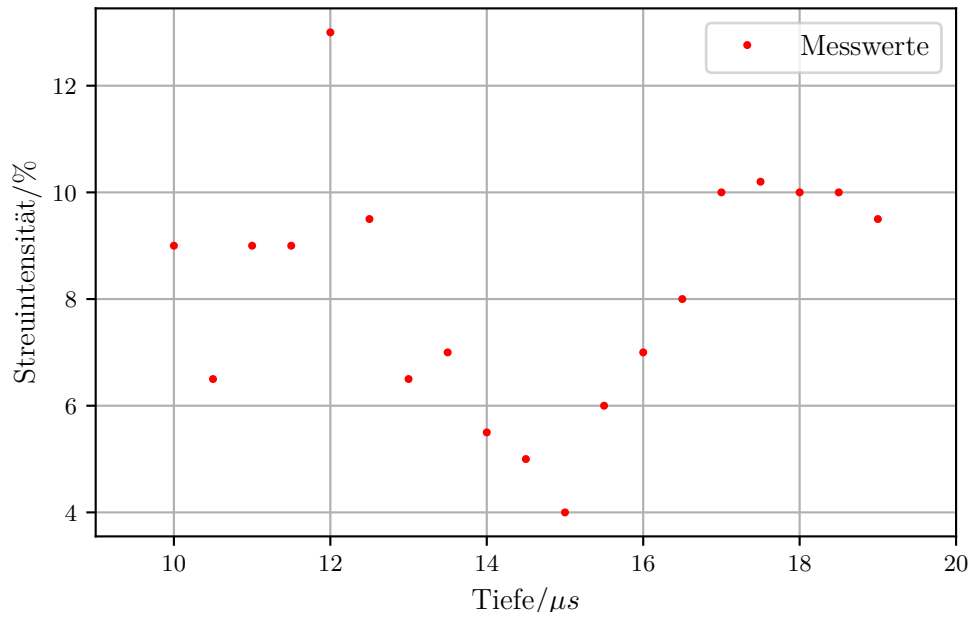
Die Frequenz, die Tiefe und die Standardabweichung (Std.) werden in Tabelle (3) für die Geschwindigkeiten  $v_1 = 3000\text{rpm}$  und  $v_2 = 5000\text{rpm}$  dargestellt.

**Tabelle 3:** Frequenzen und Tiefen bei verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten.

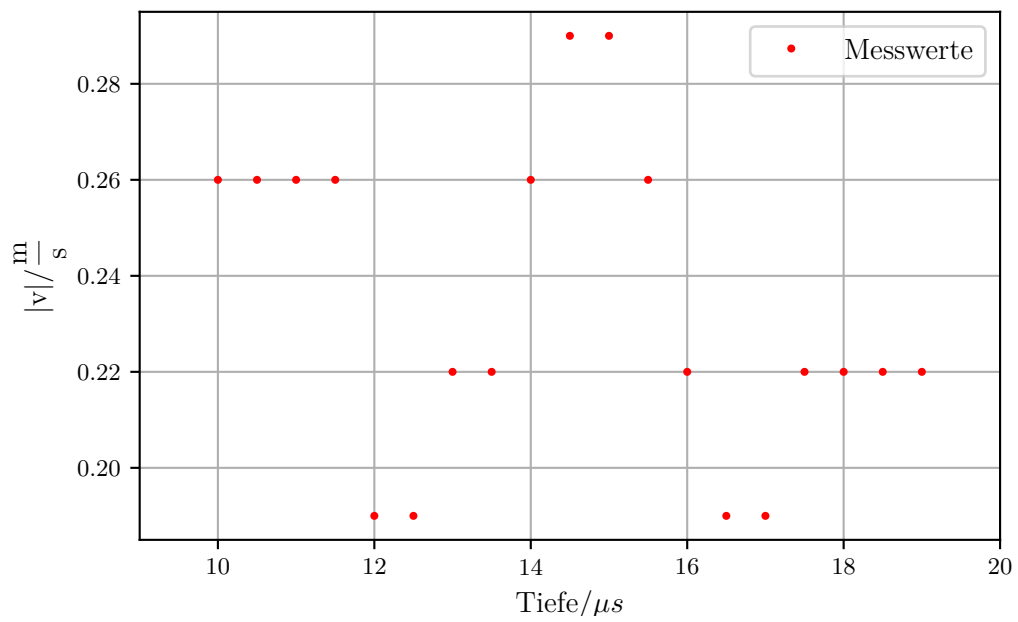
Tiefe/ $\mu\text{s}$	$v_1 = 3000\text{rpm}$			$v_2 = 5000\text{rpm}$		
	$\nu/\text{Hz}$	Std/%	$v/\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\nu/\text{Hz}$	Std/%	$v/\frac{\text{m}}{\text{s}}$
10,0	−98	9,0	−0,26	−232	7,0	−0,61
10,5	−98	6,5	−0,26	−232	7,0	−0,61
11,0	−98	9,0	−0,26	−232	7,0	−0,61
11,5	−98	9,0	−0,26	−183	12,5	−0,48
12,0	−73	13,0	−0,19	−134	10,0	−0,35
12,5	−73	9,5	−0,19	−159	8,0	−0,42
13,0	−85	6,5	−0,22	−183	5,0	−0,48
13,5	−85	7,0	−0,22	−232	6,0	−0,61
14,0	−98	5,5	−0,26	−269	4,0	−0,70
14,5	−110	5,0	−0,29	−305	3,0	−0,80
15,0	−110	4,0	−0,29	−305	3,5	−0,80
15,5	−98	6,0	−0,26	−293	3,2	−0,77
16,0	−85	7,0	−0,22	−256	3,5	−0,67
16,5	−73	8,0	−0,19	−195	5,0	−0,51
17,0	−73	10,0	−0,19	−146	7,2	−0,38
17,5	−85	10,2	−0,22	−140	13,0	−0,37
18,0	−85	10,0	−0,22	−183	10,0	−0,48
18,5	−85	10,0	−0,22	−208	8,0	−0,54
19,0	−85	9,5	−0,22	−195	8,0	−0,51

Der Dopplerwinkel beträgt dabei  $\alpha = 15^\circ$ .

Für beide Geschwindigkeiten werden die Streuintensitäten und die Momentangeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Tiefe dargestellt. Dies ist in den Diagrammen 4 5 6 7 dargestellt.

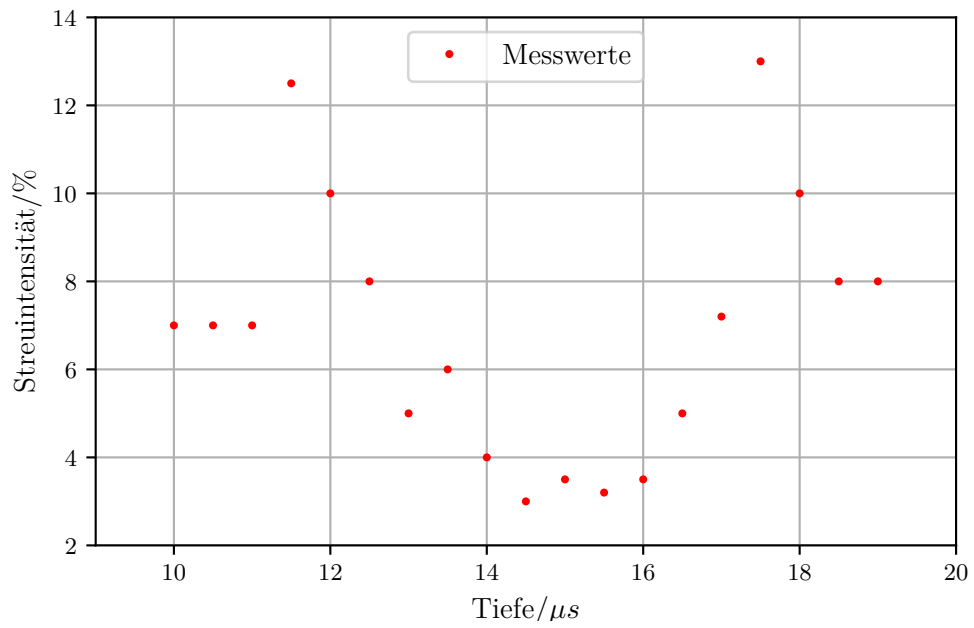


**Abbildung 4:** Streuintensität bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 3000rpm

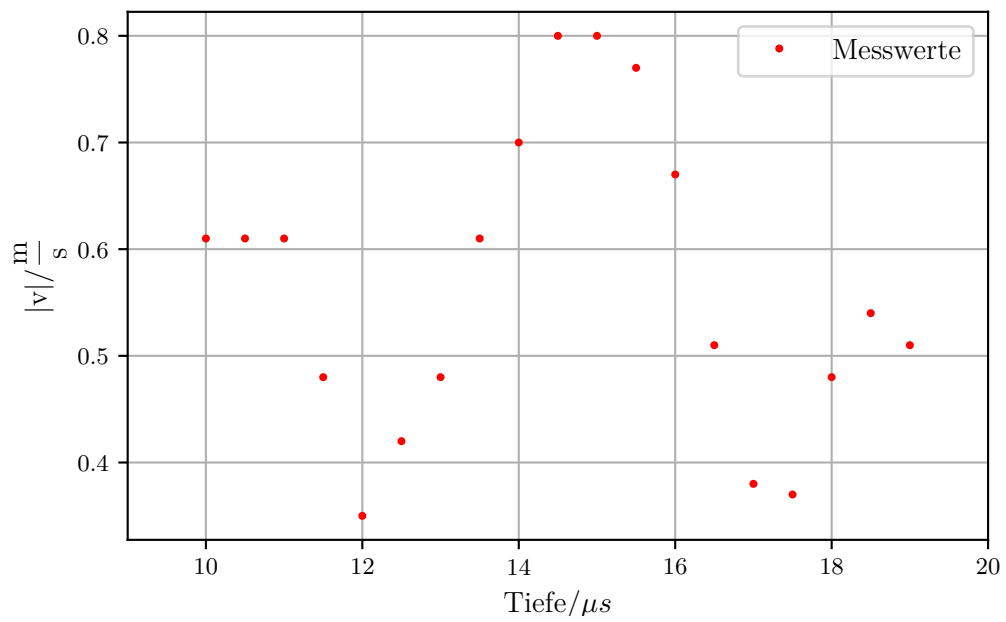


**Abbildung 5:** Momentangeschwindigkeit bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 3000rpm





**Abbildung 6:** Streuintensität bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 5000rpm



**Abbildung 7:** Momentangeschwindigkeit bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 5000rpm

## 5 Diskussion

Die errechneten Strömungsgeschwindigkeiten verhalten sich wie erwartet. Bei jeder der fünf unterschiedlichen Antriebseinstellungen sollte die Geschwindigkeit im größten Rohr am geringsten und im kleinsten Rohr am größten sein. Dieser Zusammenhang ist auch deutlich erkennbar. Zudem decken sich die gemessenen Frequenzdifferenzen auch in etwa mit den dazu vergleichbaren Frequenzdifferenzen aus der zweiten Messung. Dass die Geschwindigkeiten daher vollständig den realen Werten entsprechen ist jedoch nicht gesichert, da bei der Rechnung idealisierte Annahmen wie z.B. eine vollständig laminare Dopplerflüssigkeit gemacht werden. Zudem ist teilweise das Ablesen der Messwerte von dem Rechner durch häufige Schwankungen erschwert. Allerdings sollte eine ungefähre Übereinstimmung zur Realität trotzdem gegeben sein.

Die Momentangeschwindigkeit beschreibt näherungsweise den zu erwarteten Verlauf im Rohr. Sie ist in der Mitte des Rohres größer als am Rand. Die Abweichung der ersten drei und letzten Messwerte sind dadurch zu erklären, dass die Messtiefe außerhalb des Schlauches war, weshalb diese nicht relevant sind. Auch das Verhalten der Streuintensitäten war wie zu erwarten, da am Rand größere Turbulenzen, wegen der Wand des Schlauches, auftreten. Die Messwerte am linken und rechten Rand liegen wieder außerhalb des Schlauches, weshalb diese nicht relevant sind.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung des Versuches US-3-Doppler-Sonographie*. 2014.