

US3

## **Doppler-Sonographie**

Tahir Kamcili  
tahir.kamcili@udo.edu

Marina Andreß  
marina.andress@udo.edu

Durchführung: 11.05.2021

Abgabe: 18.05.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theoretische Grundlagen</b>	<b>3</b>
<b>3 Durchführung</b>	<b>4</b>
<b>4 Auswertung</b>	<b>5</b>
4.1 Vorbereitungsaufgabe . . . . .	5
4.2 Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit . . . . .	5
4.3 Erstellung eines Strömungsprofil . . . . .	6
<b>5 Diskussion</b>	<b>12</b>
5.1 Beobachtungen . . . . .	12
5.2 Allgemeine Fehlerquellen . . . . .	12
<b>Literatur</b>	<b>12</b>

## 1 Zielsetzung

In diesem Versuch werden Strömungen mittels Doppler-Sonographie untersucht. Dazu wird mit dem Impuls-Echo-Verfahren die Strömungsgeschwindigkeit sowie das Strömungsprofil bestimmt.

## 2 Theoretische Grundlagen

Bewegen sich eine Schallquelle und ein Schallempfänger relativ zueinander, tritt der Doppler-Effekt, eine Änderung der Frequenz auf.

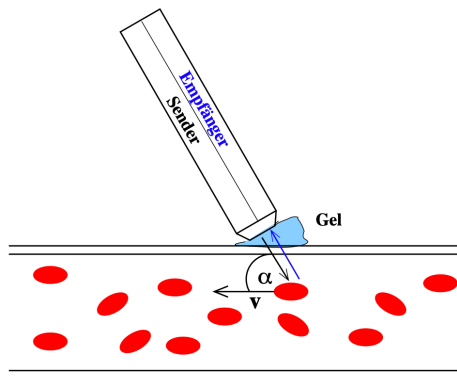
Bewegt sich die Quelle auf einen ruhenden Beobachter zu, verschiebt sich die Frequenz  $\nu_0$  zu höheren Frequenzen  $\nu_{kl}$ , bzw. verschiebt sich zu tieferen Frequenzen  $\nu_{gr}$ , wenn sich die Quelle vom Beobachter entfernt. Somit ist:

$$\nu_{kl/gr} = \frac{\nu_0}{1 \mp \frac{v}{c}}. \quad (1)$$

Bewegt sich der Beobachter auf eine ruhende Quelle zu, verschiebt sich die Frequenz  $\nu_0$  zu höheren Frequenzen  $\nu_h$ , bzw. verschiebt sich zu tieferen Frequenzen  $\nu_n$ , wenn sich der Beobachter von der Quelle entfernt und es gilt:

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

Der Ultraschall liegt mit Frequenzen von 20 kHz bis ca 1 GHz oberhalb der Hörschwelle und wird in Verbindung mit dem Doppler-Effekt genutzt, um in der Medizin z.B. die Geschwindigkeit von Blutströmungen zu messen. Dieses Verfahren ist in Abbildung (1) dargestellt.



**Abbildung 1:** Anwendung des Doppler-Effekts in der Medizin (Quelle: [6]).

Trifft eine Ultraschallwelle auf einen sich bewegenden Blutkörper, verschiebt sich seine Frequenz  $\nu$  nach dem Doppler-Effekt um

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

Dabei ist  $v$  die Geschwindigkeit des sich bewegenden Objekts und  $c$  die Schallgeschwindigkeit. Die Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  liegen zwischen  $v$  und der Wellennormalen der einlaufenden/auslaufenden Welle, die bei dem verwendeten Impuls-Echo Verfahren identisch sind, sodass

$$\Delta\nu = 2\nu_0 \frac{v}{c} \cos \alpha \quad (4)$$

gilt.

Die Erzeugung von Ultraschall kann durch die Anwendung des piezo-elektrischen Effekts erfolgen. Dabei wird ein piezoelektrischer Kristall, häufig Quarz, in einem elektrischen Wechselfeld zum Schwingen angeregt, sobald eine seiner polaren Achsen in Richtung des elektrischen Felds zeigt. Beim Schwingen strahlt der Kristall Ultraschallwellen ab, die extrem hohe Schallenergie dichten annehmen können, wenn die Anregungsfrequenz mit der Eigenfrequenz übereinstimmt und es zur Resonanz kommt.

Der Piezokristall kann auch als Schallempfänger genutzt werden, indem er durch eintreffende Schallwellen zum Schwingen angeregt wird.

### 3 Durchführung

Für den Versuch stehen 3 Strömungsrohre verschiedener Innendurchmesser (7 mm, 10 mm und 16 mm) die mit Schläuchen verbunden sind zur Verfügung. Durch das Rohrsystem fließt eine Dopplerflüssigkeit die durch eine Zentrifugalpumpe angetrieben wird. Die Ankopplung der Ultraschallsonde an die Rohre erfolgt durch Ultraschall Gel und Doppler-Prismen, die auf die Rohre gesetzt werden und drei Prismenwinkel haben, sodass eine reproduzierbare Durchführung und Einstellung des Dopplerwinkels garantiert ist.

Um die Strömungsgeschwindigkeit zu bestimmen wird die Ultraschallsonde mit Ultraschallgel an eine Fläche des Prismas gehalten, welches sich auf einem der Strömungsrohre befindet. Mithilfe des Programms FlowView kann der Wert f-mean bestimmt werden. Die Flussgeschwindigkeit der Dopplerflüssigkeit wird an der Zentrifugalpumpe erhöht und der dazugehörige f-mean Wert wird notiert. Dieser Vorgang wird für alle drei Prismenwinkel und alle drei Strömungsrohre durchgeführt. Die dabei aufgenommenen Messwerte sind in Tabelle (2) notiert.

Zur Bestimmung des Strömungsprofils wird die Ultraschallsonde mit Ultraschallgel bei einem Prismenwinkel von  $15^\circ$  an das Prisma gehalten, wobei nur das mittlere Strömungsrohr verwendet wird. Nun kann am Ultraschallgenerator die Meßtiefe variiert werden. Die Messung wird für eine Tiefe von  $13\mu\text{s}$  bis  $17,5\mu\text{s}$  durchgeführt, während jeweils f-mean und der Streuintensitätswert notiert wird. Dies wird für eine Flussgeschwindigkeit von 5,3 l/min und 3,4 l/min durchgeführt. In Tabelle (4) befinden sich die Messwerte.

## 4 Auswertung

In diesem Abschnitt wird der Versuch ausgewertet.

### 4.1 Vorbereitungsaufgabe

Als Vorbereitungsaufgabe für den Versuch wurden die Dopplerwinkel  $\alpha$  zu den Prismenwinkel  $\theta = 15^\circ, 30^\circ$  und  $60^\circ$  bestimmt.

**Tabelle 1:** Prismenwinkel zu Dopplerwinkel

$\theta$	$\alpha$
$15^\circ$	$80.064^\circ$
$30^\circ$	$70.528^\circ$
$60^\circ$	$54.735^\circ$

### 4.2 Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit

Die aufgenommenen Messwerte bei den unterschiedlichen Rohr Innendurchmessern  $d$  werden in die Tabelle (2) eingetragen, wobei  $k$  für den Dopplerwinkel steht.

**Tabelle 2:** Messergebnisse der Dopplerverschiebung mit der Flussgeschwindigkeit  $v_0$

$d$ in mm	$v_0$ / L/min	$k$ bei $15^\circ$ / Hz	$k$ bei $30^\circ$ / Hz	$k$ bei $60^\circ$ / Hz
7	2	55	195	378
	3	146	342	647
	4	244	525	989
	5	354	732	1385
	6	452	964	1843
	7.5	647	1367	2515
10	2	-49	85	-122
	3	-73	134	-220
	4	-110	208	-342
	5	-146	305	-464
	6	-183	403	-647
	7.5	-256	598	-879
16	2	49	49	61
	3	61	73	122
	4	73	110	183
	5	98	134	256
	6	110	171	342
	7.5	171	256	500

Mithilfe der Formel (5) und der verwendeten Ultraschallsonde mit  $\nu_0 = 2\text{MHz}$  lässt sich die Strömungsgeschwindigkeit  $\nu$ , sowie der Winkel  $\alpha$  bestimmen. Diese werden in die Tabelle (3) eingetragen.

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

**Tabelle 3:** Berechnete Flussgeschwindigkeit  $v_0$  in Abhängigkeit des Winkels

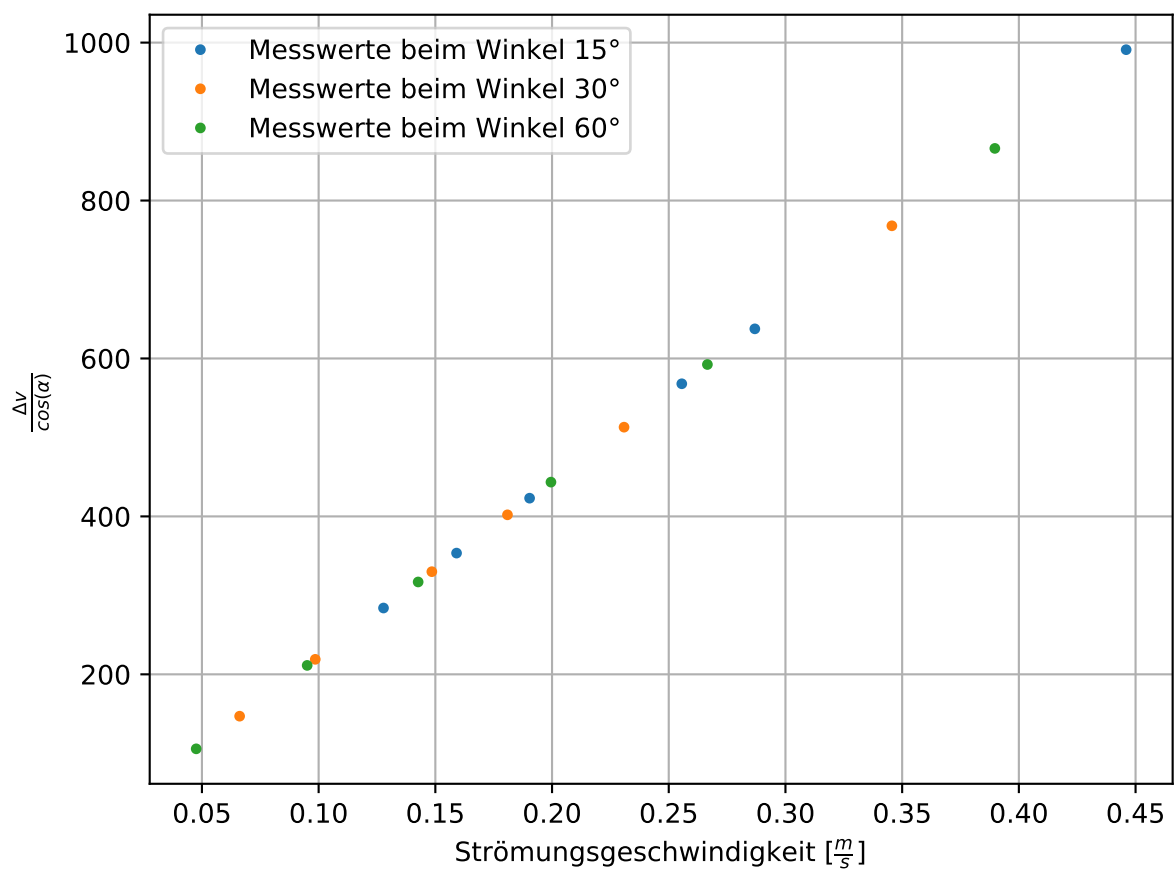
$d$ in mm	$v_0$ in L/min	$\nu$ bei $15^\circ$ in m/s	$\nu$ bei $30^\circ$ in m/s	$\nu$ bei $60^\circ$ in m/s
7	2	0.143	0.263	0.294
	3	0.380	0.461	0.504
	4	0.636	0.708	0.770
	5	0.923	0.988	1.079
	6	1.178	1.301	1.436
	7.5	1.687	1.845	1.960
10	2	-0.127	0.114	-0.095
	3	-0.190	0.180	-0.171
	4	-0.286	0.280	-0.266
	5	-0.380	0.411	-0.361
	6	-0.477	0.544	-0.504
	7.5	-0.667	0.807	-0.685
16	2	0.127	0.066	0.047
	3	0.159	0.098	0.095
	4	0.190	0.148	0.142
	5	0.255	0.180	0.199
	6	0.286	0.230	0.266
	7.5	0.445	0.345	0.389

In den folgenden Grafiken ist  $\frac{\Delta\nu}{\cos(\alpha)}$  gegen die Strömungsgeschwindigkeit, für alle drei Rohr Innendurchmesser, aufgetragen.

### 4.3 Erstellung eines Strömungsprofil

Nun wird um das Strömungsprofil zu untersuchen, bei einem Prismenwinkel von  $\theta = 15^\circ$  gemessen. Einmal bei einer Leistung von 70% und einmal bei einer Leistung von 45%. Das entspricht etwas einer Flussgeschwindigkeit von 5,3 und 3,4 L/min. Alle Messwerte mit dem Index 1 sind bei 5,3 L/min und alle Messwerte mit dem Index 2 sind bei 3,4 L/min gemessen worden. Daraus folgt die Tabelle (4).

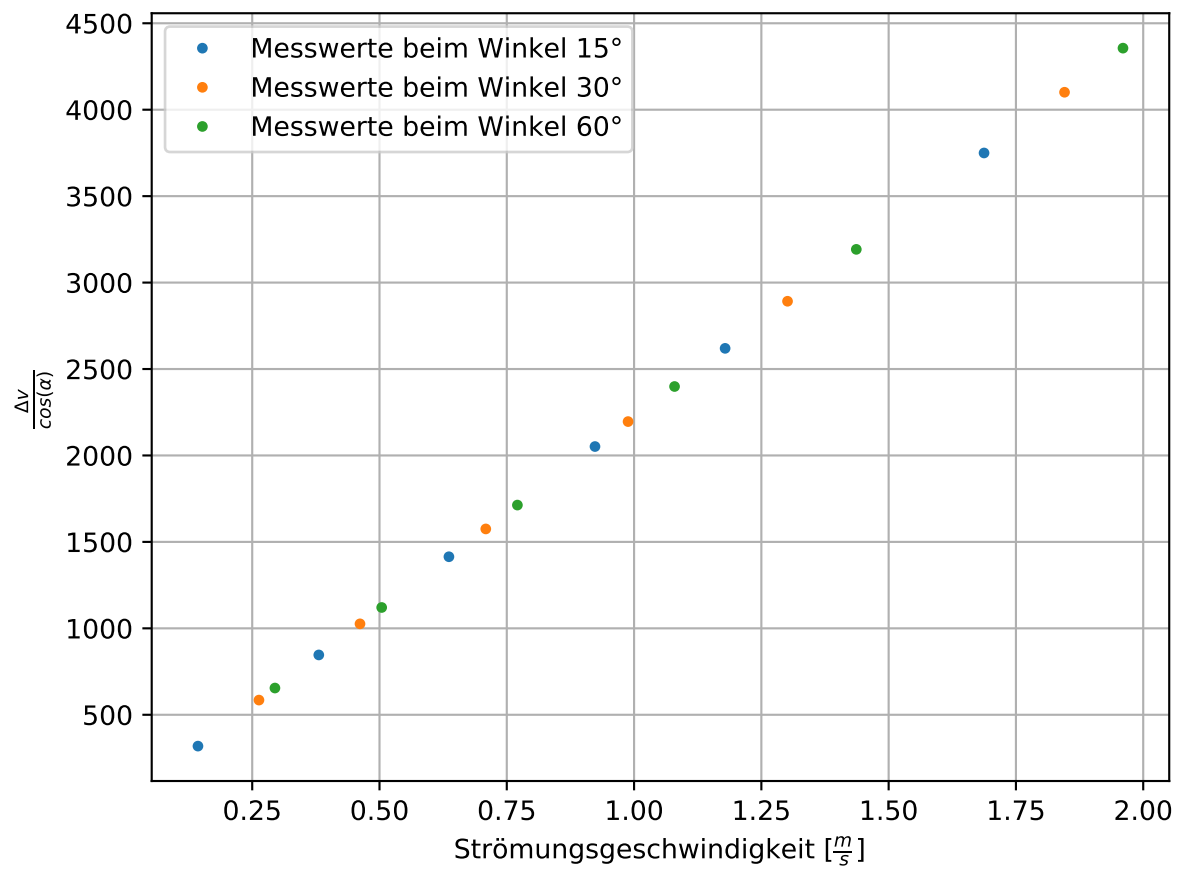
Nun kann für beide Flussgeschwindigkeit in je einem Diagramm die Streuintensität  $I_x$  und die Momentangeschwindigkeit  $v$ , welche sich äquivalent, wie in der vorherigen Teilauswertung, als Funktion der Messtiefe aufgetragen werden. Daraus folgen die Grafiken (5,6).



**Abbildung 2:** Innendurchmesser von 7mm.

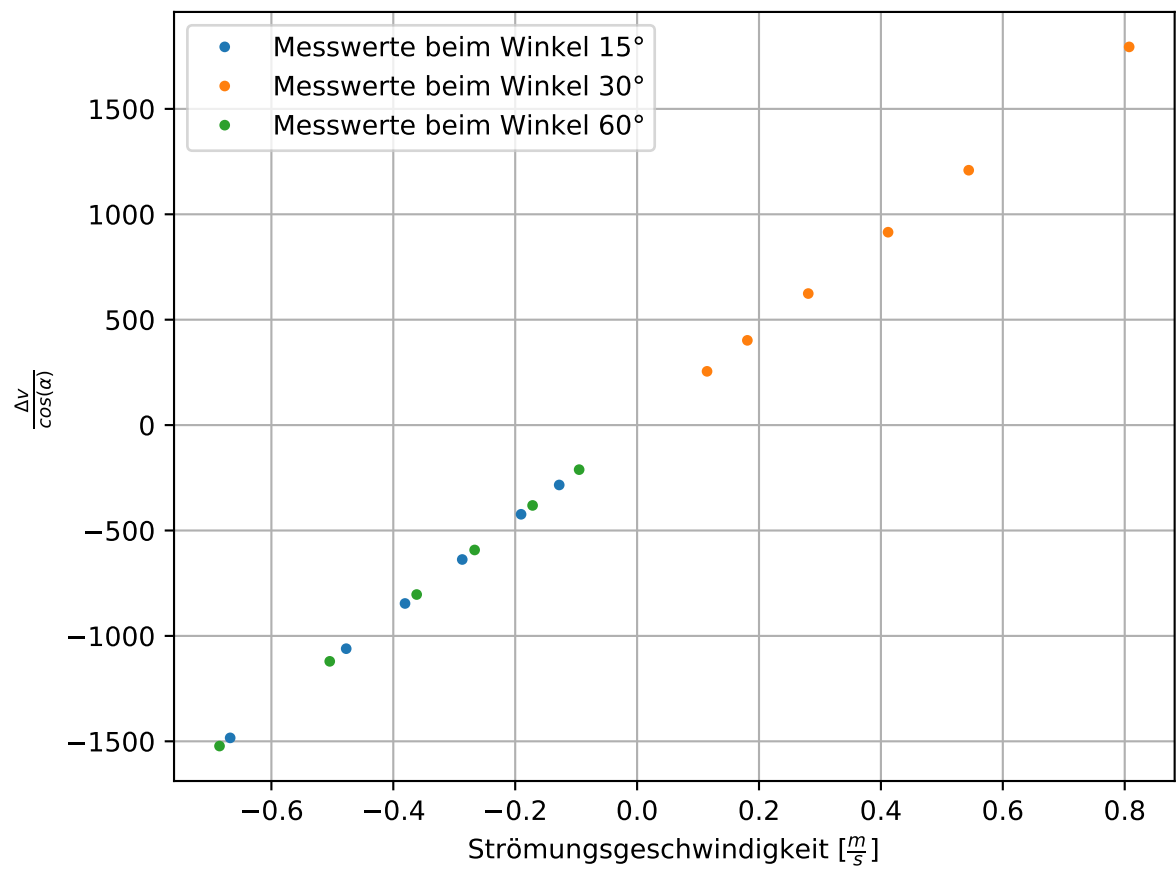
**Tabelle 4:** Messwerte des Strömungsprofils

Tiefe / $\mu s$	$\nu_1$ / Hz	$I_1$ / $100V^2/s$	$\nu_2$ / Hz	$I_2$ / $100V^2/s$
13	-171	60	-98	55
13.5	-220	90	-110	70
14	-244	100	-122	87
14.5	-256	100	-134	97
15	-269	104	-146	120
15.5	-256	100	-134	114
16	-232	105	-122	116
16.5	-195	101	-110	88
17	-159	90	-98	49
17.5	-134	60	0	0

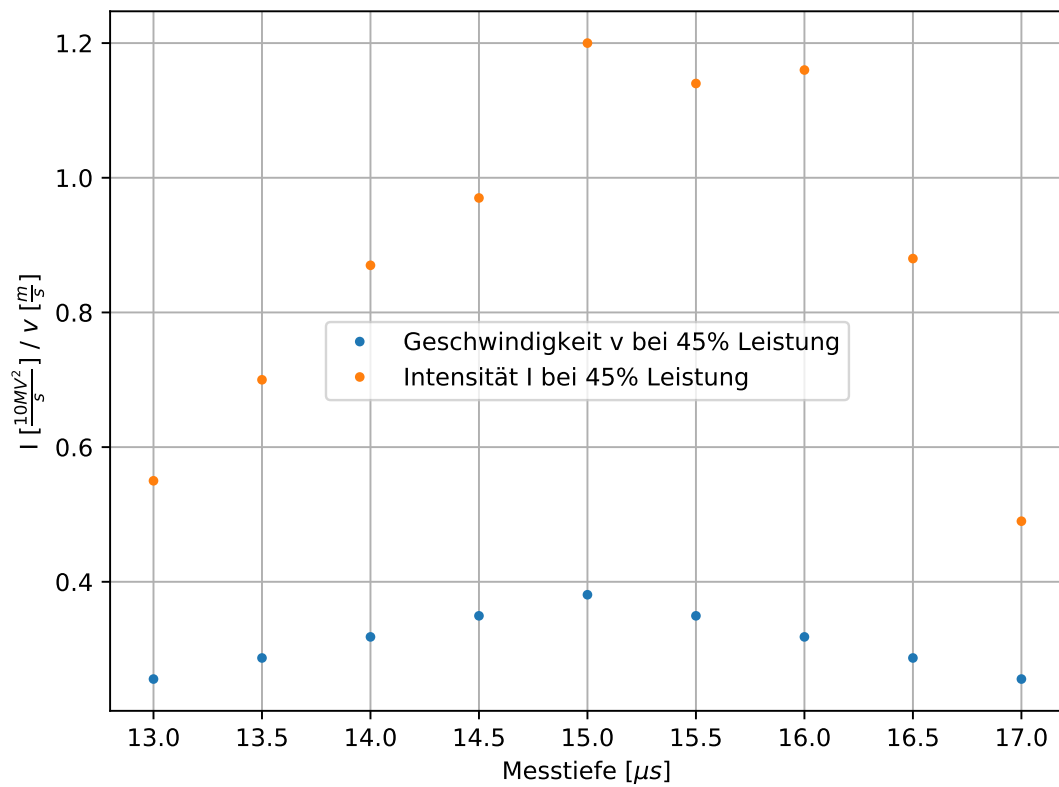


**Abbildung 3:** Innendurchmesser von 10mm.

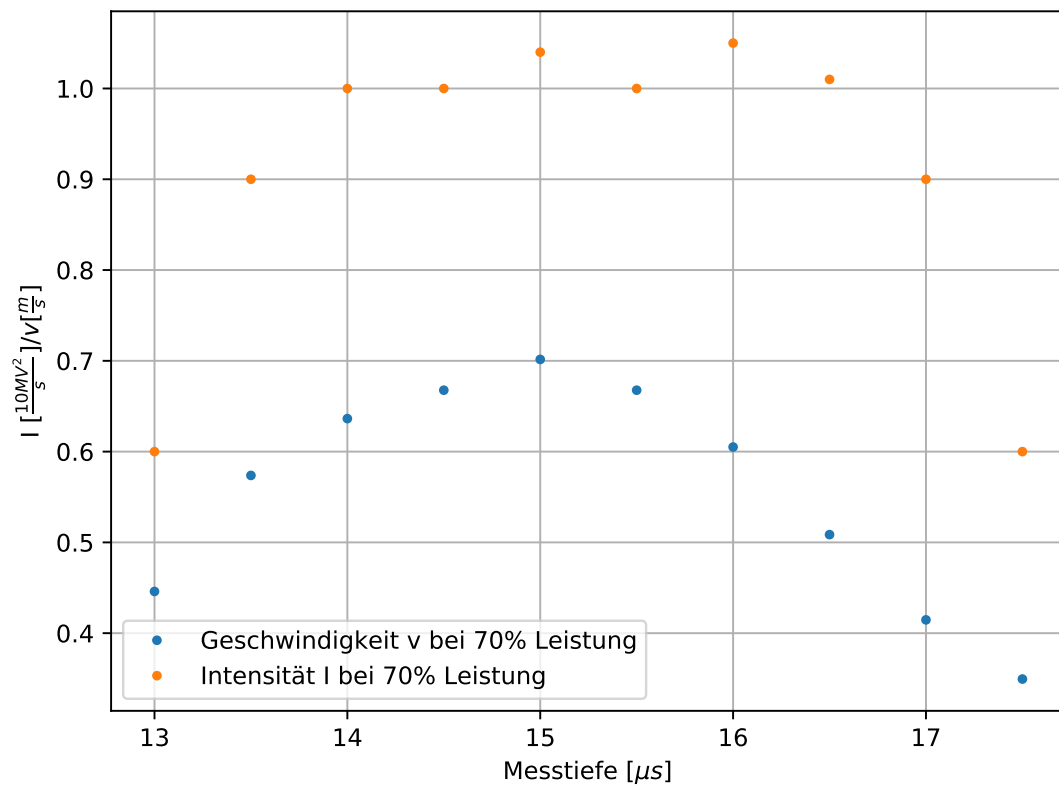




**Abbildung 4:** Innendurchmesser von 16mm.



**Abbildung 5:** Plot bei einer Leistung von 45%



**Abbildung 6:** Plot bei einer Leistung von 70%

## 5 Diskussion

### 5.1 Beobachtungen

Es fällt auf, dass bei allen drei Funktionen in den Abbildungen linear sind. Zudem ist zu beobachten, dass, wie erwartet, das Rohr mit dem kleinsten Durchmesser betragsmäßig die größte und das Rohr mit dem größten Durchmesser betragsmäßig die kleinste Geschwindigkeit aufweist. Die negativen Werte für die Geschwindigkeit kann durch die unterschiedlichen Messwinkel erklärt werden.

Wenn die Skalen der beiden Plots bezüglich der Messintensitäten verglichen werden, fällt auf, dass diese sich relativ gering von einander unterscheiden. Zudem fällt auf, dass die Intensität und Geschwindigkeit zur Mitte des Rohres zunimmt und zu den Rändern abfällt.

Da alle erwarteten Phänomene beobachtet wurden, kann geschlossen werden, dass während des Versuchs keine groben Fehler gemacht wurden.

### 5.2 Allgemeine Fehlerquellen

Während der Durchführung des Versuchs sind einige Fehlerquellen aufgefallen, die die Ergebnisse beeinflussen.

Es muss darauf geachtet werden, dass genug Ultraschall-Gel zwischen der Ultraschallsonde und dem Prisma, sowie zwischen dem Prisma und dem Strömungsrohr ist, da sonst die Werte schnell gegen 0 gehen und verfälscht werden können.

Außerdem muss die Ultraschallsonde still gehalten werden, da die gemessenen Werte während der Messung stark schwanken. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die Sonde mittig auf den Flächen des Prismas aufliegt, da sie schnell verrutschen kann. Dies ist bei der ersten Messung aufgefallen, da durch das Verrutschen die Werte für  $f_{\text{mean}}$  kleiner wurden, woraufhin die Messung wiederholt wurde.

## Literatur

- [1] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://matplotlib.org/>.
- [2] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [3] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [4] *Literaturwert für spezifische Wärmekapazität von Wasser*. 2020. URL: [https://www.chemie.de/lexikon/Spezifische\\_W%C3%A4rmekapazit%C3%A4t.html](https://www.chemie.de/lexikon/Spezifische_W%C3%A4rmekapazit%C3%A4t.html) (besucht am 01. 11. 2020).

- [5] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.
- [6] *Versuchsanleitung zu Versuch US3 Doppler-Sonographie*. Fakultät Physik, TU Dortmund. 2021.