

Durchführung: 19.06.2018
Abgabe: 26.06.2018

PRAKTIKUMSPROTOKOLL US3

DOPPLER-SONOGRAPHIE

Carolin Harkort¹,
Jacqueline Schlingmann²

¹carolin.harkort@tu-dortmund.de

²jacqueline.schlingmann@tu-dortmund.de

1 Zielsetzung

Mi Hilfe dieses Versuches sollen charakteristische Eigenschaften von Strömungen untersucht werden, wie sie beispielsweise bei Blutströmungen in Gefäßen und im Herzen vorkommen.

2 Theorie

Der Dopplereffekt beschreibt die Frequenzänderung, die sich ergibt wenn eine Schall-Quelle und ein Objekt sich relativ zueinander bewegen. Bewegt sich die Schall-Quelle auf das Objekt zu, wird die Frequenz ν_{kl} des empfangenen Schalls höher. Entfernt sich die Quelle, sinkt die Frequenz ν_{gr} . Die Frequenz kann mit

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

beschrieben werden. Ist die Quelle in Ruhe und das Objekt bewegt sich, ergibt sich die Formel

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

für hohe Frequenzen ν_h und niedrige Frequenzen ν_n . c ist die Schallgeschwindigkeit und v die Geschwindigkeit des Objekts.

Trifft eine Ultraschallwelle auf ein bewegtes Objekt ergibt sich wie oben beschrieben eine Frequenzverschiebung. Die Frequenzverschiebung kann mit Formel

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

beschrieben werden. α und β sind die Winkel zwischen der Geschwindigkeit und der ein- bzw. auslaufenden Welle. α und β sind bei dem verwendeten Impuls-Echo-Verfahren identisch, sodass sich für die Frequenzverschiebung

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

ergibt.

Ultraschall kann unter anderem mit dem reziproken piezo-elektrischen Effekt erzeugt werden. Dabei wird ein Piezokristall als Sender und Empfänger verwendet. Der Kristall wird in einem elektrischen Wechselfeld zu Schwingungen angeregt, was zur Abstrahlung von Ultraschallwellen führt.

3 Durchführung

Zunächst wird der Computer gestartet und eine 2 MHz Sonde angeschlossen. Außerdem wird das Programm "FlowView" gestartet.

Der Versuchsaufbau besteht zum einen aus einem Schlauch, in das eine Flüssigkeit gefüllt ist. Die Flüssigkeit besteht aus einem Gemisch aus Wasser, Glycerin und Glaskugeln. Zum anderen ist ein Gerät befestigt, mit dem die Geschwindigkeit der Flüssigkeit eingestellt werden kann.

Es gibt drei Rohre mit den Durchmessern 7 mm, 10 mm und 16 mm. Auf diese Rohre werden Doppler-Prismen aufgesetzt, die ermöglichen die Ultraschallsonde in drei verschiedenen Einschallwinkeln anzusetzen. Die Winkel betragen 15°, 30° und 60°.

Im ersten Teil des Versuchs wird zunächst für fünf unterschiedliche Geschwindigkeiten die Frequenz aufgenommen. Das wird für alle drei unterschiedlich dicken Rohre und unterschiedlichen Winkel durchgeführt.

Im zweiten Teil des Versuchs wird nur das Rohr mit der Dicke 10 mm betrachtet. Mit dem Dopplerwinkel von 15° wird das Strömungsprofil bestimmt indem die Strömungsgeschwindigkeiten und der Streuintensitätswert für unterschiedliche Tiefen aufgenommen wird.

4 Auswertung

4.1 Strömungsgeschwindigkeit

Zu Beginn des Versuchs werden der Dopplerwinkel α für die drei Prismenwinkel 15°, 30° und 60° mit Formel

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

berechnet. c_L ist die Schallgeschwindigkeit der Dopplerflüssigkeit und c_P die des Prismamaterials. Die berechneten Winkel sind in Tabelle 1 zu sehen.

Tabelle 1: Doppelwinkel

Prismenwinkel θ	Dopplerwinkel α
15°	80,06°
30°	70,53°
60°	54,74°

Durch das Umformen von Formel 4 können die Strömungsgeschwindigkeiten der drei Rohre berechnet werden

$$v_{\text{ström}} = \frac{\Delta\nu \cdot c}{2\nu_0 \cos \alpha}. \quad (5)$$

Dabei ist $c = 1800 \text{ m/s}$ und $\nu_0 = 2 \text{ MHz}$ die verwendete Ultraschallsonde. Die Ergebnisse für die Strömungsgeschwindigkeiten der einzelnen Rohre sind aus den Tabellen 2, 3 und 4 zu entnehmen.

Zur Berechnung der Strömungsgeschwindigkeiten und der Frequenzverschiebung wird der Betrag der gemessenen Frequenzen genommen, da die Ultraschallsonde bei einigen Prismen gegen die Flussrichtung ausgerichtet war.

Tabelle 2: Messwerte für Rohr 1 = 10 mm

$v / \frac{1}{\text{min}}$	$15^\circ / \text{Hz}$	$v_{\text{ström},15^\circ} / \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$30^\circ / \text{Hz}$	$v_{\text{ström},30^\circ} / \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$60^\circ / \text{Hz}$	$v_{\text{ström},60^\circ} / \frac{\text{m}}{\text{s}}$
2,95	73	0,19	110	0,15	269	0,21
3,21	98	0,26	134	0,18	208	0,16
3,52	110	0,29	159	0,21	330	0,26
4,21	159	0,41	220	0,30	488	0,38
5,01	195	0,51	342	0,46	720	0,56

Tabelle 3: Messwerte für Rohr 2 = 16 mm

$v / \frac{1}{\text{min}}$	$15^\circ / \text{Hz}$	$v_{\text{ström},15^\circ} / \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$30^\circ / \text{Hz}$	$v_{\text{ström},30^\circ} / \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$60^\circ / \text{Hz}$	$v_{\text{ström},60^\circ} / \frac{\text{m}}{\text{s}}$
2,95	61	0,16	85	0,12	122	0,10
3,21	73	0,19	122	0,17	134	0,10
3,52	73	0,19	110	0,16	159	0,12
4,21	85	0,22	134	0,19	220	0,17
5,01	122	0,32	183	0,26	330	0,26

Tabelle 4: Messwerte für Rohr 3 = 7 mm

$v / \frac{1}{\text{min}}$	$15^\circ / \text{Hz}$	$v_{\text{ström},15^\circ} / \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$30^\circ / \text{Hz}$	$v_{\text{ström},30^\circ} / \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$60^\circ / \text{Hz}$	$v_{\text{ström},60^\circ} / \frac{\text{m}}{\text{s}}$
2,95	159	0,41	269	0,36	403	0,31
3,21	171	0,45	281	0,38	513	0,40
3,52	195	0,51	415	0,56	610	0,48
4,21	281	0,73	513	0,69	867	0,68
5,01	403	1,05	757	1,02	1251	0,98

Die Strömgeschwindigkeiten werden für die unterschiedlichen Prismenwinkel gegen den Quotienten $\frac{\Delta\nu}{\cos\alpha}$ in Abbildungen 1, 2 und 3 aufgetragen.

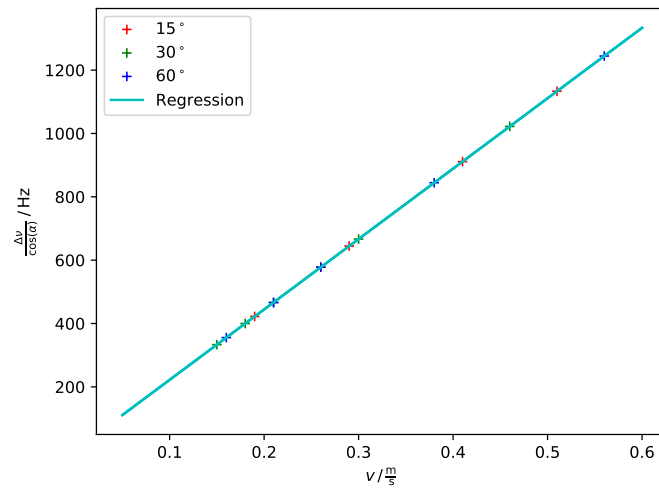


Abbildung 1: Rohr 1

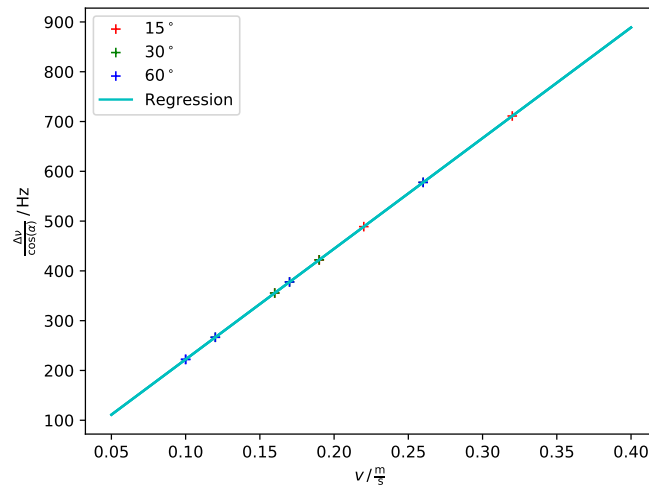


Abbildung 2: Rohr 2

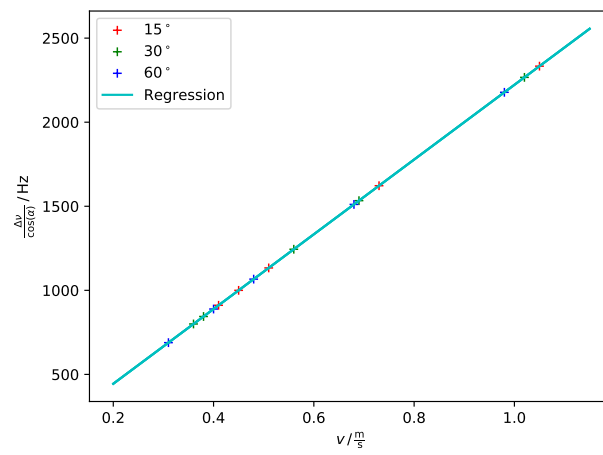


Abbildung 3: Rohr 3

4.2 Strömungsprofil

Durch den in der Anleitung angegebenen Umrechnungsfaktor $4\mu\text{s} = 10\text{ mm}$ ergibt sich, dass eine Messung erst ab einer Tiefe von $t = 30,7\text{ mm} = 12,28\mu\text{s}$ sinnvoll ist. Ab diesem Punkt tritt der Schall in die Dopplerflüssigkeit ein. Deshalb wird im zweiten Versuchsteil die Messung bei einer Messtiefe von $12\mu\text{s}$ gestartet.

Die Messtiefe entspricht dem Beginn des Rohres mit $s = 0\text{ mm}$. Die Messwerte zur Bestimmung des Strömungsprofils bei einer Pumpleistung von 70 % sind in Tabelle 5 angegeben, die für eine Pumpleistung von 45 % in Tabelle 6.

Tabelle 5: Messwerte bei einer Pumpleistung von 70%

Messtiefe / μs	Eindringtiefe / mm	Strömungsgeschwindigkeit	$\Delta\nu$ / Hz	Streuintensität / %
12,0	0,00	0,38	146	8,8
12,5	0,75	0,45	173	6,7
13,0	1,50	0,60	230	5,4
13,5	2,25	0,73	280	4,8
14,0	3,00	0,92	353	3,6
14,5	3,75	0,99	380	2,7
15,0	4,50	0,95	364	3,6
15,5	5,25	0,95	364	3,2
16,0	6,00	0,83	318	4,1
16,5	6,75	0,54	207	5,6
17,0	7,50	0,45	173	7,2
17,5	8,25	0,41	157	13,7
18,0	9,00	0,64	245	11,6
18,5	9,75	0,67	257	9,6
19,0	10,50	0,59	226	10,4

Tabelle 6: Messdaten des Strömungsprofils 45.

Messtiefe / μs	Eindringtiefe / mm	$v_{\text{ström}} / \frac{m}{s}$	$\Delta\nu / \text{Hz}$	Streuintensität / %
12,0	378	0,22	84	8,1
12,5	317	0,26	100	8,2
13,0	323	0,32	123	7,5
13,5	427	0,35	134	6,7
14,0	513	0,38	146	6,9
14,5	574	0,45	173	6,5
15,0	598	0,41	157	4,1
15,5	586	0,38	146	4,9
16,0	513	0,35	134	5,9
16,5	403	0,26	100	5,7
17,0	287	0,26	100	11,9
17,5	232	0,29	111	11,2
18,0	244	0,32	123	9,1
18,5	372	0,32	123	14,2
19,0	439	0,29	111	12,3

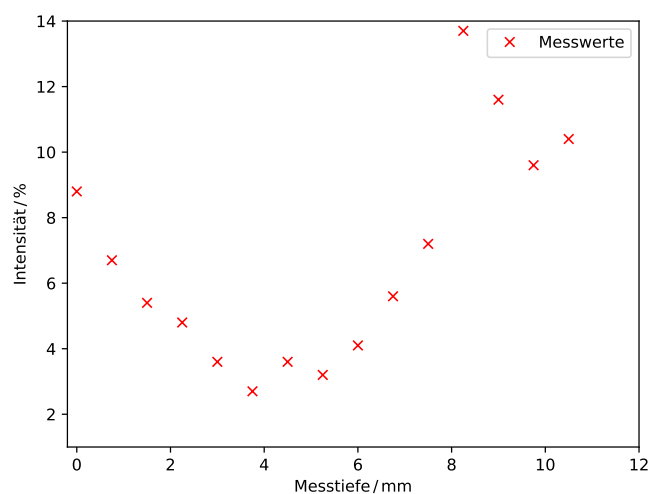


Abbildung 4: Graphische Darstellung der Streuintensität in Abhängigkeit der Messtiefe bei einer Pumpleistung von 70%.

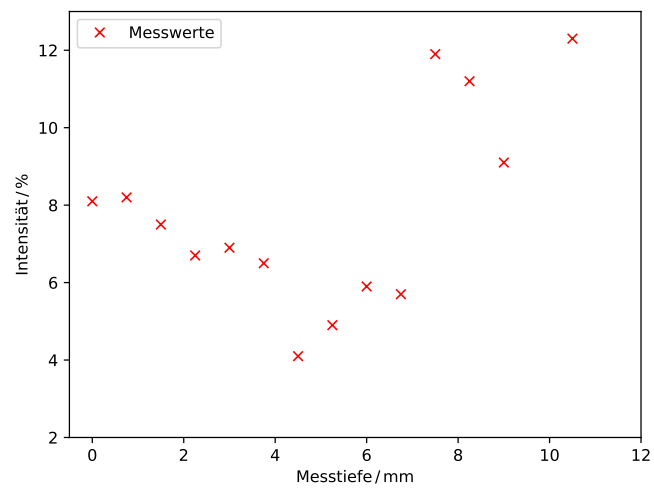


Abbildung 5: Graphische Darstellung der Streuintensität in Abhängigkeit der Messtiefe bei einer Pumpleistung von 45%.

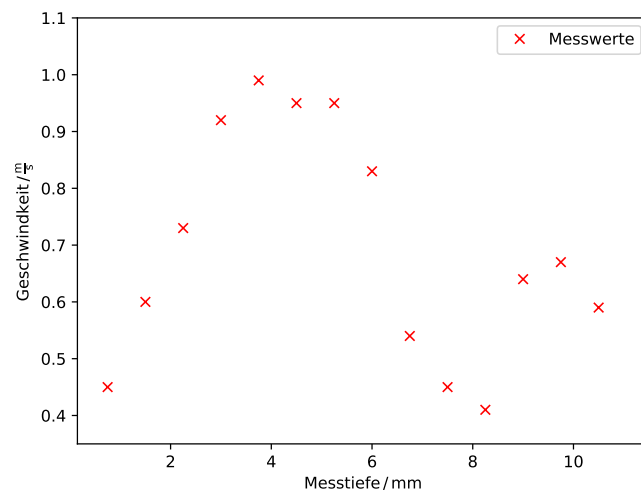


Abbildung 6: Graphische Darstellung der Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Messtiefe bei einer Pumpleistung von 70%.

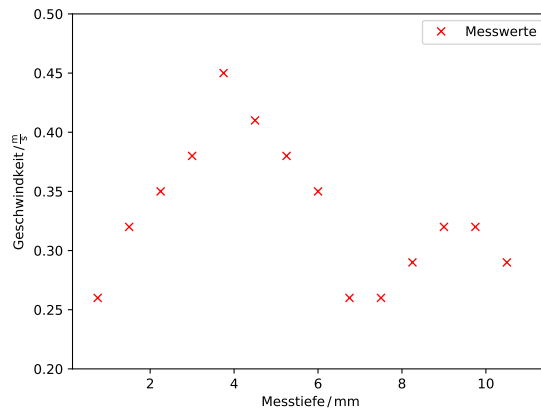


Abbildung 7: Graphische Darstellung der Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Messtiefe bei einer Pumpleistung von 45%.

5 Diskussion

Im ersten Versuchsteil ist deutlich die lineare Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit vom Dopplerwinkel und der Frequenzverschiebung zu beobachten. Auch der Zusammenhang zwischen Rohrradius und Strömungsgeschwindigkeit wird mit diesem Experiment bestätigt. Mit zunehmenden Rohrradius sinkt die Strömungsgeschwindigkeit.

Im zweiten Versuchsteil war das Ablesen der angezeigten Werte auf dem Computer sehr schwierig, da sich die Werte innerhalb weniger Sekunden sehr stark veränderten. Dadurch lassen sich die Abweichungen bei den Messungen der Frequenzverschiebung und Streuintensität erklären. Daraus folgend kommt es auch zur Abweichung des parabolischen Geschwindigkeitsprofils in dem Rohr. Der erneute Anstieg der Messwerte könnte auch aufgrund des erneuten Schalleintritts in das Rohr erklärt werden.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zum Versuch US3*. URL: <http://129.217.224.2/HOME/PAGE/MEDPHYS/BACHELOR/AP/SKRIPT/DopplerSonogr.pdf> (besucht am 25.06.2018).