

US3 Dopplersonographie

Connor Magnus Böckmann

email: connormagnus.boeckmann@tu-dortmund.de

Tim Theissel

email: tim.theissel@tu-dortmund.de

19. April 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theoretische Grundlagen	3
2.1	Der Doppler-Effekt	3
2.2	Anwendung in der Ultraschalltechnik	3
2.3	Die Erzeugung von Ultraschall	4
3	Aufbau	4
4	Durchfuehrung	4
4.1	Bestimmung der Dopplerverschiebung	4
4.2	Bestimmung des Stroemungsprofils	5
5	Auswertung	5
5.1	Dopplerverschiebung	5
5.2	Strömungsprofil	8
6	Diskussion	10
6.1	Frequenzverschiebung	10
6.2	Strömungsprofil	11
7	Messwerte	11

1 Zielsetzung

In diesem Versuch wird die Stroemungsgeschwindigkeit und das Stroemungsprofil durch ein System mit Hilfe von Dopplersonographie gemessen und ausgewertet werden.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Der Doppler-Effekt

Der Doppler-Effekt beschreibt die Frequenzaenderung, welche auftritt, sollten sich die Quelle der Welle und der Beobachter relativ zueinander bewegen. Die Frequenz ν_0 erhoeht sich zu ν_{kl} , wenn sich die Quelle auf den Beobachter hinzu bewegt. Im Umkehrschluss verringert sich ν_0 zu ν_{gr} , wenn sich die Quelle und der Beobachter voneinander entfernen. Wenn sich die Quelle mit der Geschwindigkeit v bewegt und der Beobachter still steht, ergibt sich:

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

Sollte sich der Beobachter bewegen und die Quelle stillstehen, ergibt sich dafuer nun:

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

2.2 Anwendung in der Ultraschalltechnik

Der Doppler-Effekt kann genutzt werden, um Stroemungsgeschwindigkeiten durch ein System- zum Beispiel die Stroemungsgeschwindigkeit des Blutes durch Adern- zu messen. Die Frequenz der ausgesendetet Ultraschallwelle wird an einem Koerper, etwa an einem Blutkoerper, verschoben und reflektiert. In diesem Fall ergibt sich die Frequenzverschiebung $\Delta\nu$ mit der Geschwindigkeit des Koerpers v , der Schallgeschwindigkeit c und den Winkeln α und β zu:

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

Das hier verwendete Impuls-Echo-Verfahren legt den Winkel der einlaufenden Welle α und der ruecklaufenden Welle β auf $\alpha = \beta$. Es entsteht also folgende Formel zur Berechnung der Frequenzverschiebung:

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

2.3 Die Erzeugung von Ultraschall

Eine der moeglichen Methoden zur Erzeugung von Ultraschall ist der piezo-elektrische Effekt. Ein elektrisches Wechselfeld regt dabei einen piezo-elektrischen Kristall zu Schwingungen an. Voraussetzung ist dafuer, dass eine polare Achse des Kristalls in Richtung des E-Feldes zeigt. Sollte die Anregungsfrequenz mit der Eigenfrequenz des Kristalls uebereinstimmen, resoniert dieser Kristall und es koennen grosse Amplituden der Schwingungen erzeugt werden. Umgekehrt ist dieser Piezokristall auch als Empfaenger nutzbar, wenn Schallwellen den Kristall in Schwingung versetzen. Die am haeufigsten verwendeten Kristalle sind dabei Quarze, welche aber einen relativ schwachen Piezoeffekt haben. Sowohl der Empfaenger, als auch der Sender der Ultraschallwellen sind in der im Versuch verwendeten Sonde enthalten.

3 Aufbau

Der Versuchsaufbau besteht im wesentlichen aus einem Ultraschallgenerator mit integrierter Ultraschallsonde und einem Stroemungskreislauf. Die Sonde ist an einen Computer angeschlossen, welcher zur Analyse und Datenaufnahme verwendet wird. Die Stroemungsroehren sind mit einer Fluessigkeit aus Wasser, Glycerin und kleinen Glaskugeln gefuellt. Diese dienen als Reflektionskoerper. Die Fliessgeschwindigkeit kann an der angeschlossenen Pumpe zwischen 0-7 l/min eingestellt werden. Die Viskositaet ist so eingestellt, dass sich in den Roehren ein laminarer Fluss bildet.

4 Durchfuehrung

Die Stroemungsgeschwindigkeit und das Stroemungsprofil werden an drei verschiedenen Roehren (7mm, 10mm, 16mm Innendurchmesser) ermittelt. Zur Messung werden so genannte Doppler-Prismen benoetigt, welche je drei verschiedene Einschallwinkel haben. Jeder Rohrdurchmesser hat dabei ein eigenes passendes Prisma. Dadurch wird die Reproduzierbarkeit gewaehrleistet, da so der Abstand zur Fluessigkeit und der Einschallwinkel immer gleich sind.

Der so genannte Doppler-Winkel α berechnet sich aus dem Brechungsgesetz mit der Schallgeschwindigkeit in der Fluessigkeit c_L und der Schallgeschwindigkeit im Prismenmaterial c_P zu:

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin\left(\sin \theta * \frac{c_L}{c_P}\right) \quad (5)$$

4.1 Bestimmung der Dopplerverschiebung

Zur Bestimmung der Dopplerverschiebung wird das Geraet auf SAMPLE VOLUME LARGE gestellt. Nun werden fuer jedes der drei Stroemungsrohre je fuenf Pumpleistungen eingestellt und mit dem passenden Prisma die drei Winkel durchgemessen. Der Computer gibt je eine Angabe fuer die Stroemungsgeschwindigkeit aus, mit der nun mit Hilfe von 4 die Dopplerverschiebung errechnet werden kann.

4.2 Bestimmung des Stroemungsprofils

Zur Bestimmung des Stroemungsprofils wird das Geraet auf SAMPLE VOLUME SMALL gestellt, um die Messtiefe variieren zu koennen. Die genannte Messtiefe ist dabei in $[\mu s]$ angegeben. In Acryl entspricht eine Messtiefe von $4\mu s = 10mm$, wohingegen $4\mu s = 6mm$ in der Dopplerfluessigkeit entsprechen. Mit einem Prismavorlauf von 30.7mm und einer Wandstaerke des gemessenen Rohrs von 2mm ergibt sich eine Mindestmesstiefe von $13.08\mu s$, um mit der Messung bis in die Fluessigkeit zu gelangen. Da das Rohr einen Innendurchmesser von 16mm hat, liegt der Bereich der Messtiefe zwischen $13.08\mu s$ und $23.75\mu s$, bis die gesamte Fluessigkeit durchgemessen wurde.

5 Auswertung

5.1 Dopplerverschiebung

Die bereits beschriebene Vorgehensweise zur Bestimmung der Dopplerverschiebung liefert die in den Tabellen 4, 5, 6 zu findenen Werte.

Werden diese Werte nun in 4 eingesetzt ergeben sich folgende Werte für die Dopplerverschiebung:

Pumpgeschwindigkeit [L/min]	Prismawinkel 15°	30°	60°
2.5	60.97	97.78	159.09
3	73.24	134.07	219.39
3.5	85.51	171.11	292.52
4	110.05	207.41	365.66
4.5	134.20	268.89	451.62

Tabelle 1: Frequenzverschiebung in einem Rohr mit Innendurchmesser 10mm

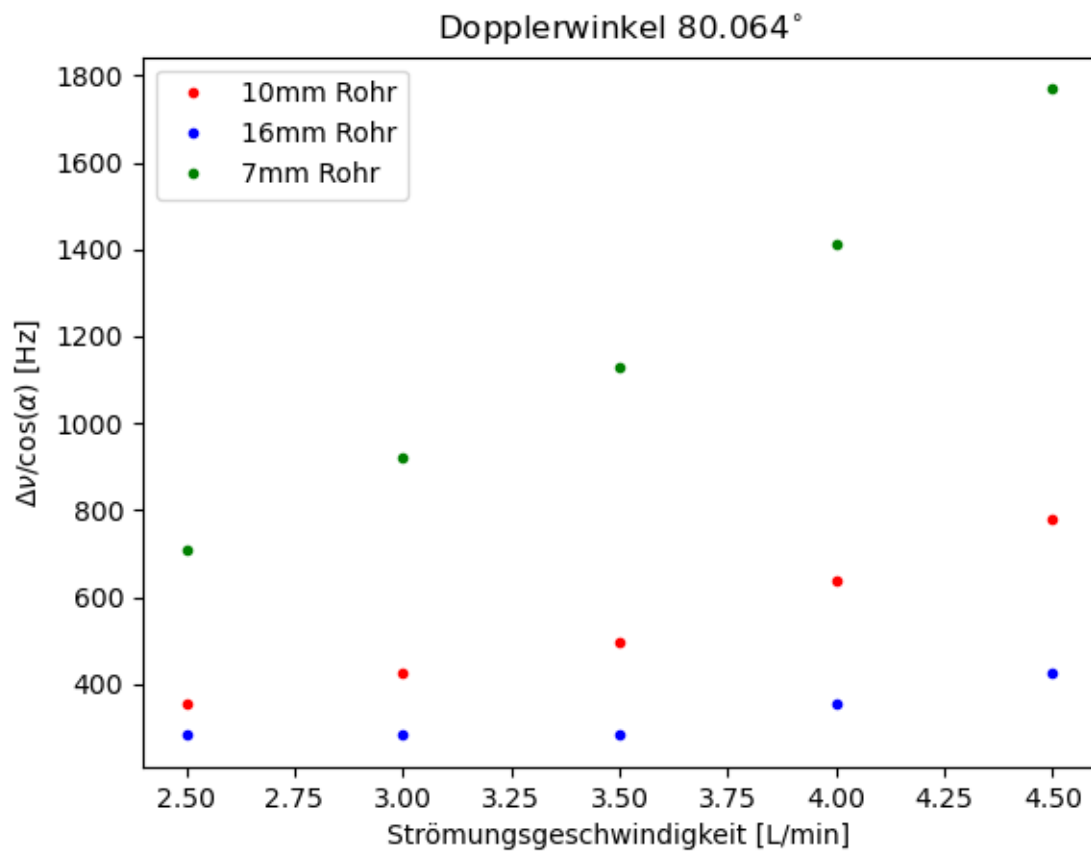
Pumpgeschwindigkeit [L/min]	Prismawinkel 15°	30°	60°
2.5	48.70	60.74	85.96
3	48.70	73.33	110.34
3.5	48.70	85.19	134.72
4	61.00	97.78	170.64
4.5	73.24	122.22	207.85

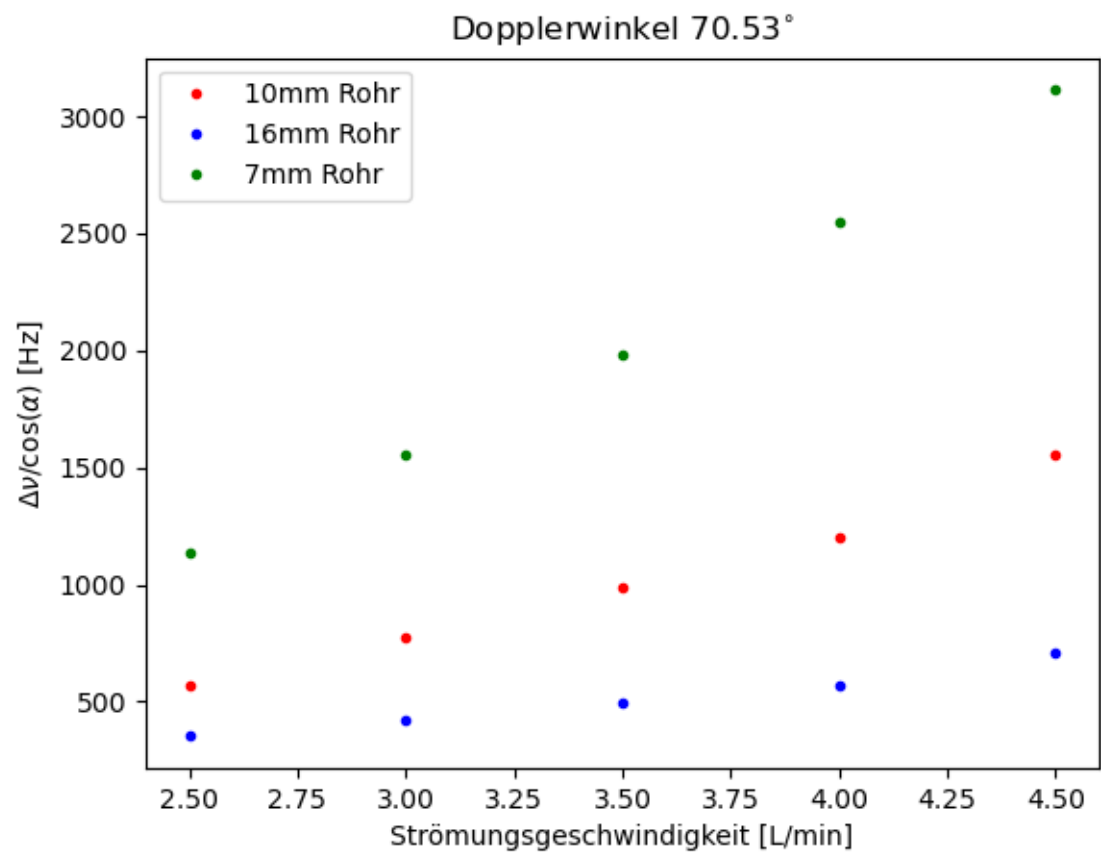
Tabelle 2: Frequenzverschiebung in [Hz] in einem Rohr mit Innendurchmesser 16mm

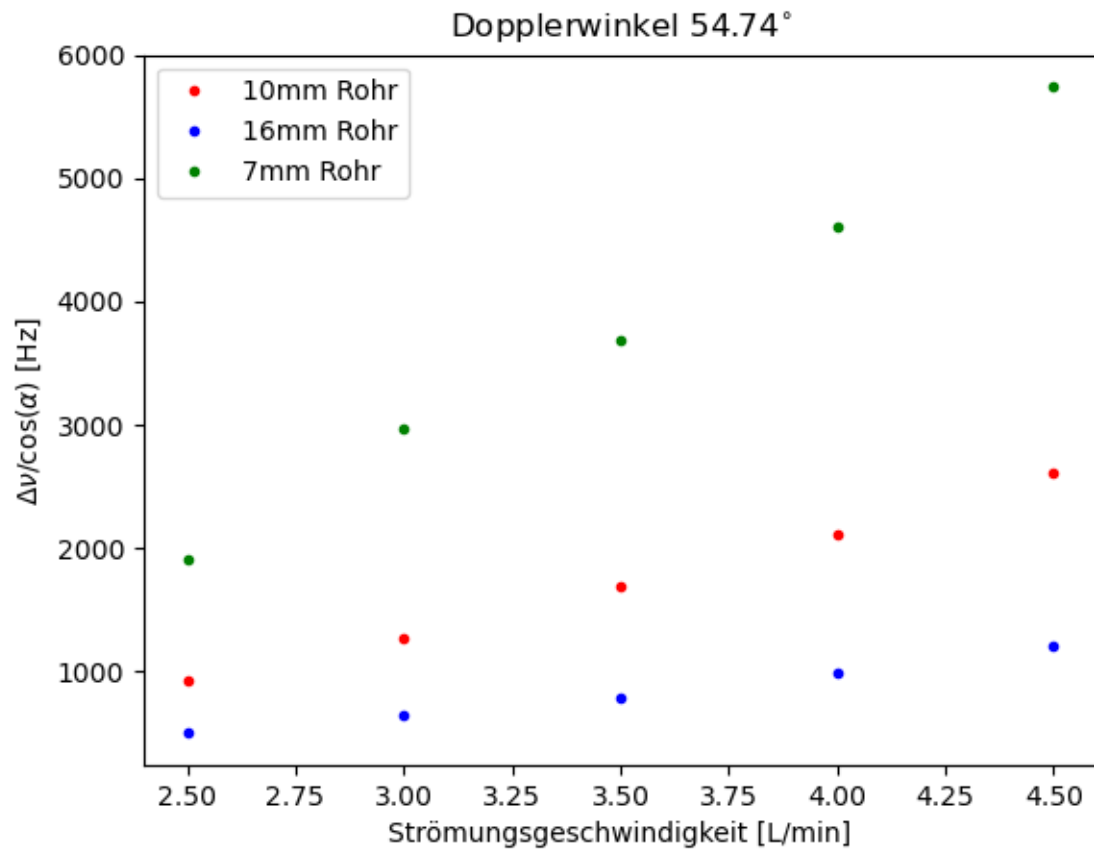
Pumpgeschwindigkeit [L/min]	Prismawinkel 15°	30°	60°
2.5	121.93	195.56	329.73
3	158.74	268.89	513.20
3.5	195.17	341.48	635.09
4	243.87	439.26	794.18
4.5	305.21	537.04	990.48

Tabelle 3: Messwerte für Strömungsgeschwindigkeiten in [cm/s] in einem Rohr mit Innendurchmesser 10mm

Diese berechneten Werte werden nun graphisch dargestellt. Es folgen drei Grafiken in denen die Frequenzverschiebung von verschiedenen Rohrinndurchmessern dargestellt werden. Es gibt dabei je eine Grafik pro Dopplerwinkel.



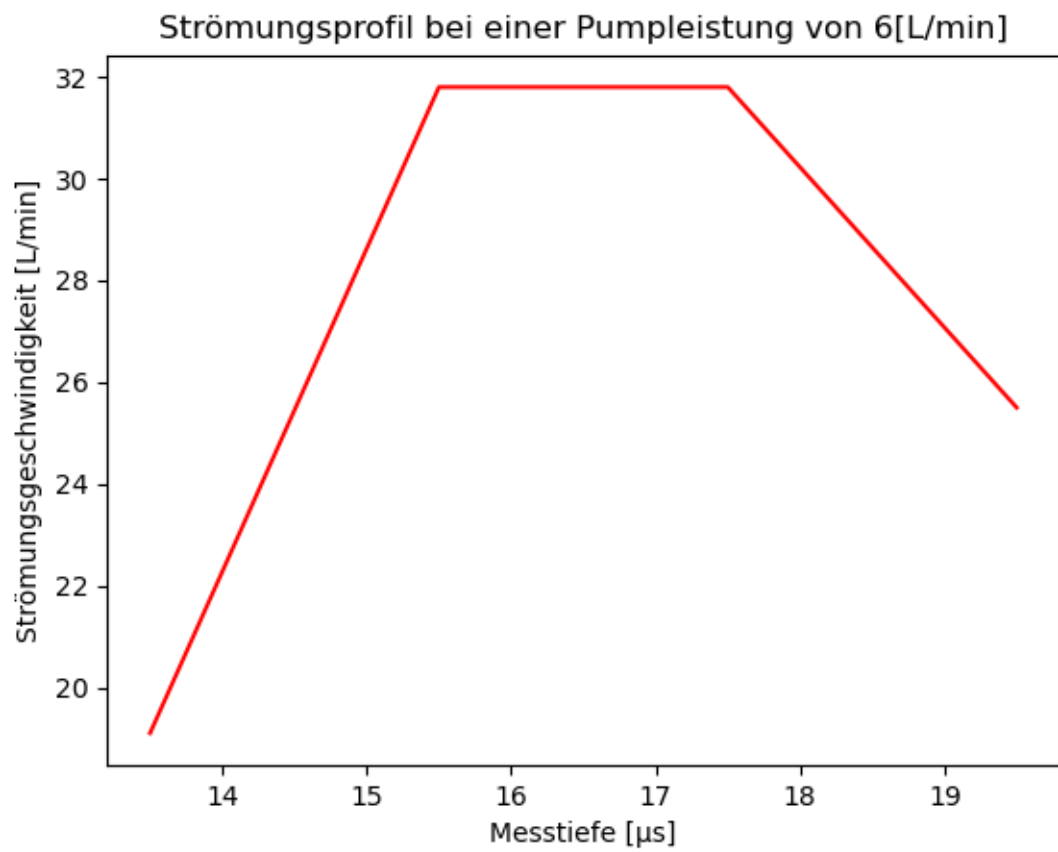


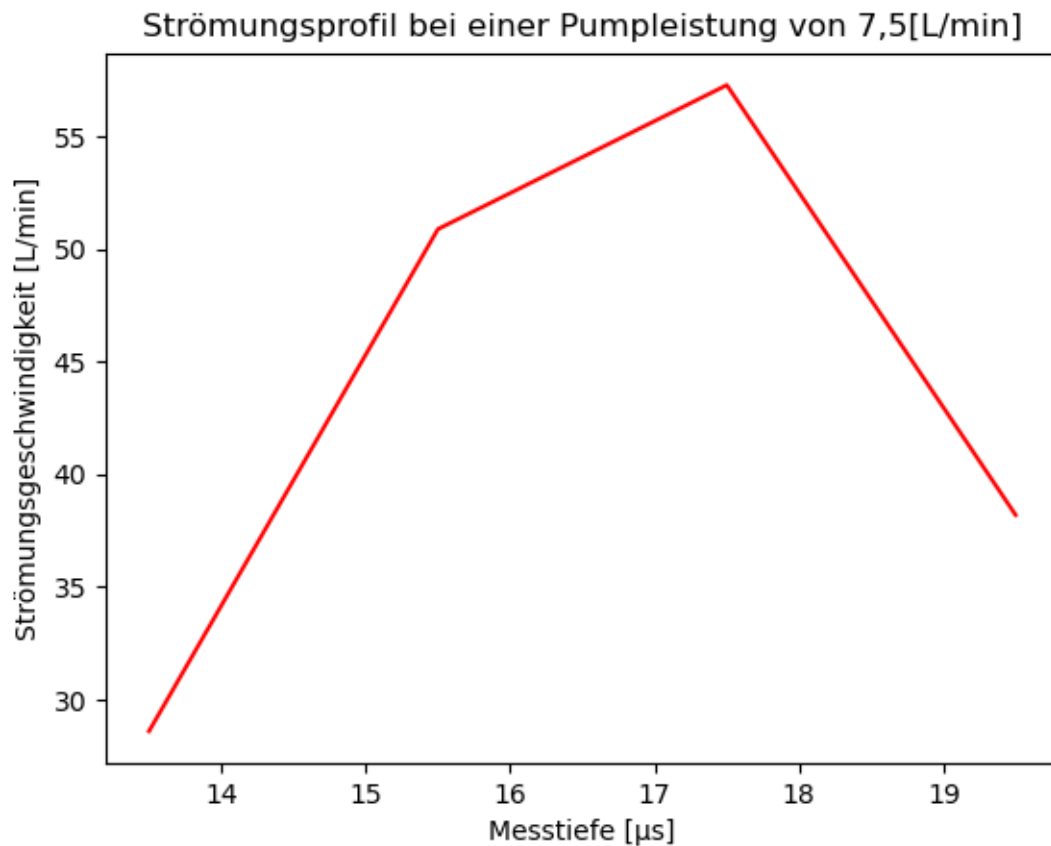


5.2 Strömungsprofil

Das Strömungsprofil wurde auf die bereits beschriebene Weise bestimmt. Bei der Messung ergaben sich für verschiedene Messtiefen die Werte in 7.

Diese werden ebenfalls graphisch dargestellt. Für jede Pumpgeschwindigkeit wird dabei eine Grafik angefertigt.





6 Diskussion

6.1 Frequenzverschiebung

Bei der Betrachtung der erhaltenen Werte für die Frequenzverschiebung fällt auf, dass sich der Betrag des Quotienten $\Delta\nu / \cos(\alpha)$ für verschiedene Dopplerwinkel α stark erhöht wenn der Dopplerwinkel spitzer wird. Allerdings ist auch zu beobachten, dass in allen drei Fällen der Anstieg sehr ähnlich aussieht. Außerdem wird die Steigung sehr schnell sehr groß wenn der Innendurchmesser des Rohres klein ist. Bei großen Innendurchmessern bleibt der Anstieg eher Flach in dem gewählten Messbereich. Bei großen Innendurchmessern war es im Experiment allerdings auch schwieriger die Strömungsgeschwindigkeiten zu messen da kleinere Veränderungen der Pumpleistung wenig bis gar keine messbare Veränderung lieferte. Weitere Probleme für die genaue Messbarkeit traten auch bei kleinen Innendurchmessern auf, da dort selbst die kleinsten Veränderungen der Pumpleistung große Veränderungen an den Messwerten verursachte. Diese Empfindlichkeit der Messwerte bei kleineren Innendurchmessern führte dazu, dass die Messwerte durch starke Schwankungen sehr schwierig abzulesen waren. Solche Schwankungen sind erklärbar durch die Tatsache,

dass die Pumpe eventuell keine perfekt laminare Strömung erzeugt und viel mehr noch durch die Tatsache, dass es unmöglich die Ultraschallsonde komplett ruhig zu halten. Die Messung war wie erwähnt so empfindlich, dass kleinste Bewegungen oder Vibrationen am Tisch Schwankungen der Messwerte verursachten.

6.2 Strömungsprofil

Beim Vergleich der beiden Strömungsprofile fällt auf, dass der Hochpunkt der Strömungsgeschwindigkeit jeweils ungefähr in der Mitte des Rohrs, zwischen einer Messtiefe von 16 und 17 μs liegt. In beiden Fällen ist demnach am Rand eine niedrigere Strömungsgeschwindigkeit festzustellen. Bei dieser Messung lag eine Schwierigkeit bei der Wahl des Messbereichs. Der einstellbare Messbereich umfasste nämlich nicht den kompletten Innendurchmesser des 16mm Rohres. Deshalb wurde der Messbereich so gewählt, dass Messwerte für möglichst große Teile des Rohres genommen werden konnten.

7 Messwerte

Pumpgeschwindigkeit [L/min]	Prismawinkel 15°	30°	60°
2.5	15.9	13.2	12.4
3	19.1	18.1	17.1
3.5	22.3	23.1	22.8
4	28.7	28.0	28.5
4.5	35.0	36.3	35.2

Tabelle 4: Messwerte für Strömungsgeschwindigkeiten in [cm/s] in einem Rohr mit Innendurchmesser 10mm

Pumpgeschwindigkeit [L/min]	Prismawinkel 15°	30°	60°
2.5	12.7	8.2	6.7
3	12.7	9.9	8.6
3.5	12.7	11.5	10.5
4	15.9	13.2	13.3
4.5	19.1	16.5	16.2

Tabelle 5: Messwerte für Strömungsgeschwindigkeiten in [cm/s] in einem Rohr mit Innendurchmesser 16mm

Pumpgeschwindigkeit [L/min]	Prismawinkel 15°	30°	60°
2.5	31.8	26.4	25.7
3	41.4	36.3	40.0
3.5	50.9	46.1	49.5
4	63.6	59.3	61.9
4.5	79.6	72.5	77.2

Tabelle 6: Messwerte für Strömungsgeschwindigkeiten in [cm/s] in einem Rohr mit Innendurchmesser 7mm

Messtiefe [μ s]	Pumpgeschwindigkeit 6[L/min]	7,5[L/min]
13.5	19.1	28.6
15.5	31.8	50.9
17.5	31.8	57.3
19.5	25.5	38.2

Tabelle 7: Messwerte für die Strömungsprofile bei verschiedenen Messtiefen in einem Rohor mit 16mm Innendurchmesser