

VERSUCH US3

Doppler-Sonographie

Annika Bennemann
annika.bennemann@tu-dortmund.de

Paulin Vehling
paulin.vehling@tu-dortmund.de

Durchführung: 10.05.2022

Abgabe: 17.05.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Aufbau	5
4 Durchführung	5
4.1 Strömungsgeschwindigkeiten	5
4.2 Strömungsprofil	6
5 Auswertung	6
5.1 Vorbereitungsaufgabe	6
5.2 Strömungsgeschwindigkeiten	6
5.3 Strömungsprofil	7
6 Diskussion	9
7 Anhang	10
Literatur	10

1 Zielsetzung

In diesem Versuch sollen Strömungen in Rohren mithilfe des Impuls-Echo-Verfahrens auf ihre charakteristischen Eigenschaften untersucht werden.

2 Theorie

Schall mit Frequenzen zwischen 20kHz und 1GHz liegt oberhalb der Hörschwelle des Menschen und wird als Ultraschall bezeichnet. Die Erzeugung von Ultraschall kann auf verschiedene Arten passieren. In diesem Versuch wird nur der piezo-elektrische Effekt betrachtet. Piezo-elektrische Kristalle können durch Anregung eines äußeren elektrischen Feldes in Schwingungen versetzt werden. Die Amplitude der entstehenden Welle und die daraus resultierende Energiedichte kann maximiert werden, indem zwischen Anregungsfrequenz und Eigenfrequenz des Kristalls Resonanz entsteht. Außerdem können Piezokristalle als Empfänger genutzt werden, weil sie durch Schallwellen angeregt werden. Dabei ist Quarz der meist verwendete Piezokristall, weil Quarz gleichbleibende physikalische Eigenschaften besitzt. Jedoch ist der Piezo-Effekt bei Quarzen relativ gering.

Mithilfe von Ultraschall können Informationen über den Aufbau eines Stoffes gewonnen werden. Als Doppler-Effekt bezeichnet man die Änderung der Frequenz, die durch das Bewegen von Quelle und Empfänger relativ zueinander entsteht. In dem Fall, in dem sich die Quelle auf den Beobachter zu bewegt wird die Frequenz ν_0 zur höheren Frequenz ν_{gr} verschoben. Bewegt sich die Quelle vom Beobachter weg, verschiebt sich ν_0 zur kleineren Frequenz ν_{kl} . Auch bei einer Bewegung des Beobachters verschiebt sich die Frequenz ν_0 . ν_h ist die höhere Frequenz, zu der sich ν_0 ändert wenn der Beobachter sich auf die Quelle zu bewegt. Bewegt der Beobachter sich von der Quelle weg, so nimmt ν_0 die niedrigere Frequenz ν_n an. Die Frequenzen werden durch

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

für den ruhenden Beobachter und

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

$$(3)$$

für die ruhende Quelle ausgedrückt. Der Doppler-Effekt wird im Bereich der Ultraschall-technologie ausgenutzt, um unter anderem die Geschwindigkeiten von Flüssigkeiten in Rohren bzw. den Blutstrom in Gefäßen zu messen. Wenn eine Ultraschallwelle auf ein bewegtes Objekt innerhalb einer Flüssigkeit trifft, so wird die Frequenz ν_0 der Welle um

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

gemäß des Doppler-Effekts verschoben. Hierbei sind außer der Geschwindigkeit v des Objektes und der Schallgeschwindigkeit c auch die Winkel α und β , zwischen der Geschwindigkeit v und der Wellennormalen der einlaufenden bzw. auslaufenden Welle,

ausschlaggebend. Wird das Impuls-Echo-Verfahren angewendet, so gilt $\alpha = \beta$ und Gleichung 4 reduziert sich auf

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

Die geometrischen Zusammenhänge sind schematisch in Abbildung 1 dargestellt.

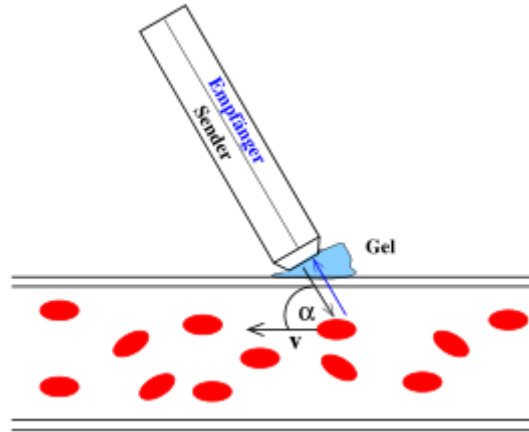


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Doppler-Sonographie des Blutflusses in einem Gefäß.[1]

Zur besseren Untersuchung des Flusses in einem Rohr werden Doppler-Prismen verwendet. So wird die Vermessung der Strömung aus verschiedenen Winkeln unter gleichbleibenden Bedingungen ermöglicht. Es gilt der Zusammenhang

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin\left(\sin \theta \cdot \frac{c_L}{c_P}\right), \quad (6)$$

wobei θ den Prismenwinkel, α den Dopplerwinkel, c_L die Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeit und c_P die Schallgeschwindigkeit des Prismenmaterials (Acryl) angibt. Wie in Abbildung 2 zu sehen, ist der Abstand zwischen Sonde und Flüssigkeit für alle drei Einstellwinkel des Prismas gleich.

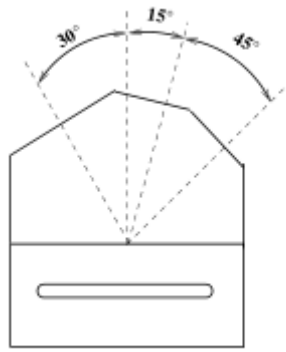


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Dopplerprismas.[1]

3 Aufbau

Der Aufbau des Versuchs besteht aus einem Ultraschallechoskop mit einer angekoppelten Ultraschallsonde. Das Ultraschallechoskop ist zudem an einen Computer angeschlossen um die Daten auslesen und auswerten zu können. Die Ultraschallsonde generiert Impulse mit einer Frequenz von 2 MHz. Zu untersuchen ist eine Anordnung von Röhren mit verschiedenen Durchmessern (7 mm, 10 mm und 16 mm), die mit einer einstellbaren Zentrifugalpumpe verbunden sind. So kann die Strömungsgeschwindigkeit zwischen 0 und 10 L/min variiert werden. Das durch die Röhren strömende Flüssigkeitsgemisch besteht aus Wasser, Glycerin und Glaskugeln. Die Viskosität η ist so angepasst, dass sich bei mittlerer Strömungsgeschwindigkeit eine laminare Strömung ausbildet. Zur Messung der Strömung unter verschiedenen Winkeln werden Doppelprismen mithilfe von Kontaktmittel an die Messstellen angekoppelt.

4 Durchführung

4.1 Strömungsgeschwindigkeiten

Zunächst wird der Dopplerwinkel für 5 Strömungsgeschwindigkeiten gemessen. Dafür wird die Durchflussgeschwindigkeit an der Zentrifugalpumpe eingestellt und für jeden Prismawinkel die zugehörige Frequenzverschiebung $\Delta\nu$ gemessen. Dann wird die Strömungsgeschwindigkeit verändert und die Messung erneut durchgeführt. Die Messwerte werden in einer Tabelle festgehalten. Außerdem wird aus den Dopplerverschiebungen die Strömungsgeschwindigkeit der Dopplerflüssigkeit berechnet und für jeweils einen Dopplerwinkel gegenüber von $\Delta\nu / \cos \alpha$ in ein Diagramm aufgetragen.

4.2 Strömungsprofil

Im zweiten Teil des Versuchs wird das Strömungsprofil der Dopplerflüssigkeit in dem 10 mm Schlauch mit einem Dopplerwinkel von 15° bestimmt. Am Ultraschall Doppler-Generator kann die Messtiefe manuell eingestellt werden. Um den Schlauch einmal vollständig erfassen zu können, wird die Messung von 30 bis 11 mm durchgeführt. Dies wird für eine Pumpleistung von 70 % also 5950 rpm durchgeführt. Es werden die Strömungsgeschwindigkeit und der Streuintensitätswert gemessen und in einem Diagramm die Streuintensität und die Momentangeschwindigkeit als Funktion der Messtiefe aufgetragen.

5 Auswertung

5.1 Vorbereitungsaufgabe

Als Vorbereitungsaufgabe für den Versuch wurden die Dopplerwinkel α zu den Prismenwinkeln $\theta = 15^\circ, 30^\circ$ und 60° mithilfe von Gleichung 6 bestimmt. Die Schallgeschwindigkeiten $c_L = 1800 \text{ m/s}$ und $c_P = 2700 \text{ m/s}$ werden hierbei der Versuchsanleitung [1] entnommen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 eingetragen.

Tabelle 1: Prismenwinkel zu Dopplerwinkeln

$\theta/^\circ$	$\alpha/^\circ$
15	80,06
30	70,53
60	54,74

5.2 Strömungsgeschwindigkeiten

Die Messung wird nach Unterabschnitt 4.1 durchgeführt und die Messwerte der Frequenzverschiebungen zu den verschiedenen Pumpdrehzahlen in Tabelle 2 eingetragen. Außerdem wird mithilfe der nach v umgestellten Gleichung 5

$$v = \frac{\Delta\nu \cdot c}{2\nu_0 \cos \alpha} \quad (7)$$

die Strömungsgeschwindigkeit des Mediums berechnet und der Tabelle hinzugefügt.

Tabelle 2: Messdaten zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeiten ($D = 10 \text{ mm}$).

rpm	$\theta = 15^\circ$		$\theta = 30^\circ$		$\theta = 60^\circ$	
	$\Delta\nu / \text{Hz}$	$v / \text{m/s}$	$\Delta\nu / \text{Hz}$	$v / \text{m/s}$	$\Delta\nu / \text{Hz}$	$v / \text{m/s}$
5000	208	0,54	377	0,51	670	0,52
5250	275	0,71	428	0,58	753	0,59
5500	309	0,81	500	0,68	840	0,65
5750	339	0,88	563	0,76	938	0,73
6000	375	0,98	612	0,83	1050	0,82

Die jeweiligen Frequenzverschiebungen werden gegenüber der Strömungsgeschwindigkeit in Abbildung 3 aufgetragen.

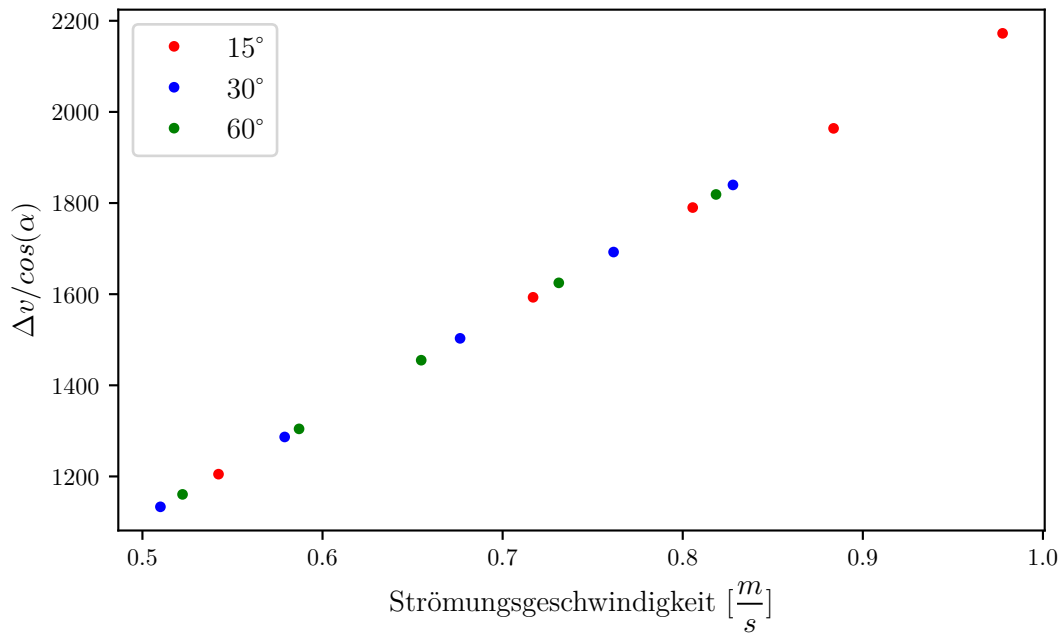


Abbildung 3: Darstellung der Strömungsgeschwindigkeit gegenüber der Frequenzverschiebungen.

5.3 Strömungsprofil

Die Messung wird nach Unterabschnitt 4.2 durchgeführt und die Messwerte in Tabelle 3 eingetragen. Außerdem wird nach Gleichung 7 die Strömungsgeschwindigkeit berechnet und auch in Tabelle 3 eingetragen.

Tabelle 3: Messdaten zur Bestimmung des Strömungsprofils.

Messtiefe $d/\mu\text{s}$	Frequenzverschiebung $\Delta\nu / \text{Hz}$	Intensität $I/\text{kV}^2/\text{s}$	Geschwindigkeit $v/\text{m/s}$
12,5	330	36	0,86
13,0	373	48	0,97
13,5	420	53	1,09
14,0	455	61	1,19
14,4	476	62	1,24
15,0	461	70	1,20
15,5	423	71	1,20
16,0	368	77	0,96
16,5	336	83	0,88
17,0	373	75	0,97
17,5	406	143	1,06
18,0	410	344	1,07

Aus den Messwerten für die Strömungsgeschwindigkeit und die Streuintensität in Tabelle 3 wird ein Diagramm (4) erstellt, indem die Werte als Funktion der Messtiefe aufgetragen werden.

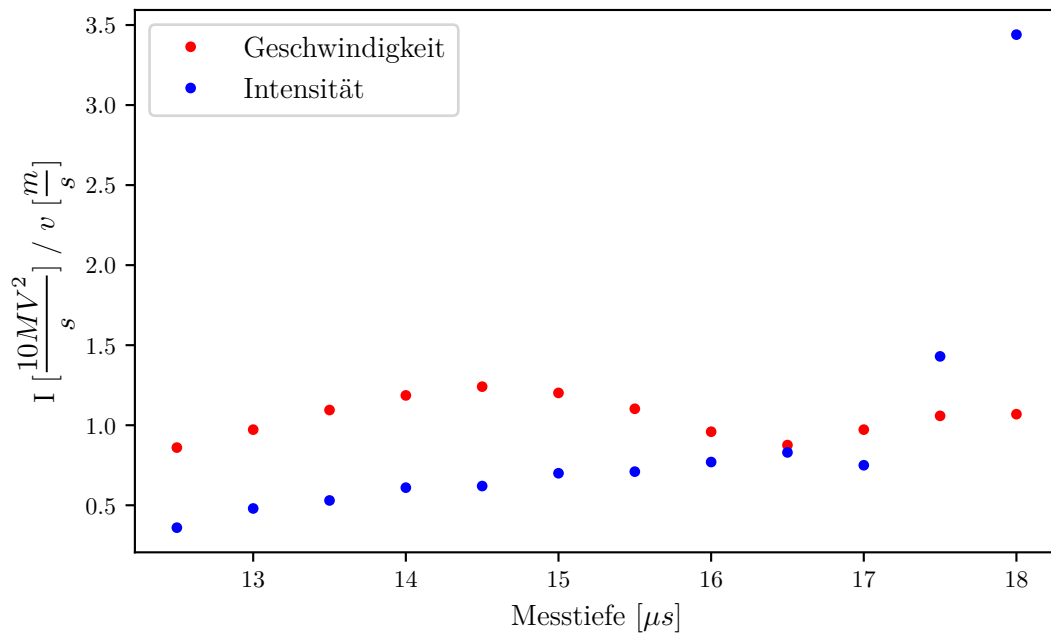


Abbildung 4: Streuintensität und Momentangeschwindigkeit gegenüber der Messtiefe.

6 Diskussion

Die im ersten Versuchsteil bestimmten Strömungsgeschwindigkeiten sind in Abbildung 3 aufgetragen. Es ist klar zu erkennen, dass die Werte dem erwarteten Verlauf folgen. So steigt bei jeder Messreihe die Frequenzverschiebung linear zur Strömungsgeschwindigkeit an. Dass die Geschwindigkeiten exakt den realen Werten entsprechen ist jedoch nicht gesichert, da bei der Rechnung idealisierte Annahmen wie z.B. eine vollständig laminare Dopplerflüssigkeit gemacht werden. Außerdem sind die Werte durch ständige Schwankungen nur sehr schwer abzulesen.

Die Momentangeschwindigkeit beschreibt im Bereich bis ca. $15\text{ }\mu\text{s}$ näherungsweise den zu erwarteten Verlauf im Rohr. Zu erwarten ist ein ungefähr parabelförmiger Verlauf, in dem die Geschwindigkeit in der Mitte des Rohres größer ist als am Rand. Jedoch stimmt der Intensitätsverlauf absolut nicht mit dem erwarteten Verlauf (antiproportional zur Geschwindigkeit) überein. Die Intensität steigt während der Messung stark an. Die Gründe dafür sind vielfältig. Zum einen kann es daran liegen, dass die Antriebspumpe nicht ordnungsgemäß funktioniert. Zum anderen können die Abweichungen von den erwarteten Verläufen auch an der Position der Sonde liegen, die eventuell nicht mit der gesamten Fläche zu jeder Zeit an der richtigen Position liegt um optimale Ergebnisse zu erzielen. Zudem haben Luftblasen im Kontaktgel zwischen dem Dopplerprisma und dem Rohr die Messung erschwert.

7 Anhang

V US3 Doppler-Sonographie

$\theta = 15^\circ$			$\theta = 30^\circ$			$\theta = 45^\circ$		
RPM	f_{\max}	amp	RPM	f_{\max}	amp	RPM	f_{\max}	amp
5000	208	X	5000	377	X	5000	670	X
5250	275		5250	428		5250	753	
5500	309		5500	500		5500	840	
5750	339		5750	563		5750	938	
6000	375		6000	612		6000	1050	

zweite Messreihe $r_{\text{mp}} = 5950$ $\theta = 15^\circ$

Messzeit	f_{\max}	amp	f_{\max}	amp
12,5	330	36		
13,0	373	48		
13,5	420	53		
14,0	455	61		
14,5	476	62		
15,0	461	70		
15,5	423	71		
16,0	388	77		
16,5	336	83		
17,0	373	75		
17,5	406	143		
18	410	344		

amp [1000 · V²/s]
Messzeit [ms]

Abbildung 5: Messwerte zum Versuch.

Literatur

- [1] Versuchsanleitung zu Versuch Nr. US3 Doppler-Sonographie. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2022.