

# **VUS3**

## **Dopplersonographie**

**Versuchsort: TU Dortmund**

Julian Hayduk	Alex Nuss
julian.hayduk@udo.edu	alex.nuss@udo.edu

Durchführung: 09.05.2023, Abgabe: 16.05.2023

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Ziel des Versuches</b>	<b>2</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>2</b>
<b>3 Vorbereitung</b>	<b>3</b>
<b>4 Durchführung</b>	<b>4</b>
4.1 Aufbau . . . . .	4
4.2 Messung . . . . .	4
<b>5 Auswertung</b>	<b>4</b>
5.1 Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit . . . . .	4
5.2 Bestimmung des Strömungsprofils . . . . .	5
<b>6 Diskussion</b>	<b>7</b>
<b>7 Literaturverzeichnis</b>	<b>8</b>
<b>8 Anhang</b>	<b>8</b>

## 1 Ziel des Versuches

In diesem Versuch sollen Strömungen und ihre Eigenschaften mithilfe der Doppler-Sonographie untersucht werden. Dabei lassen sich über Impuls-Echo-Verfahren Strömungsprofil- und Geschwindigkeit ermitteln.

## 2 Theorie

Grundlage dieses Versuchs ist der sogenannte Doppler-Effekt. Dieser beschreibt eine Änderung der Frequenz bei Wellen, wenn sich Quelle und Empfänger relativ zueinander bewegen.

Zulaufende, bewegte Quelle und ruhender Beobachter, verschieben die Frequenz  $\nu_0$  zu höheren Frequenzen  $\nu_{kl}$ .

Fortlaufende, bewegte Quelle und ruhender Beobachter, verschieben die Frequenz  $\nu_0$  zu tieferen Frequenzen  $\nu_{gr}$ .

Die verschobenen Frequenzen lassen sich dann mit

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

bestimmen.

Falls nun die Quelle ruht und der Beobachter sich auf diese zubewegt, wird  $\nu_0$  zu höheren Frequenzen  $\nu_h$  verschoben. Bei einem sich von der ruhenden Quelle entfernendem Beobachter, ließe sich eine Verschiebung zu tieferen Frequenzen  $\nu_n$  feststellen.

In diesem Fall wird

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

zur Ermittlung der Frequenzen verwendet.

Das Prinzip dieses Verfahrens wird in der Medizin bei Messungen der Geschwindigkeit von Blutströmungen eingesetzt. Es lässt sich in Abbildung 1 betrachten.

Wenn eine Ultraschallwelle auf ein bewegtes Objekt trifft, wird ihre Frequenz gemäß des Doppler-Effekts verschoben. Diese Verschiebung ist durch

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

definiert. Hierbei ist  $v$  die Geschwindigkeit des bewegten Objekts (z.B. Blutkörperchen) und  $c$  die Schallgeschwindigkeit. Zusätzlich ist die Verschiebung von den Winkeln  $\alpha$  und  $\beta$  abhängig. Diese befinden sich zwischen  $v$  und der Wellennormalen. In diesem Fall sind beide Winkel identisch, sodass sich

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

ergibt.

Der verwendete Ultraschall kann mit dem reziproken piezo-elektrischen Effekt erzeugt

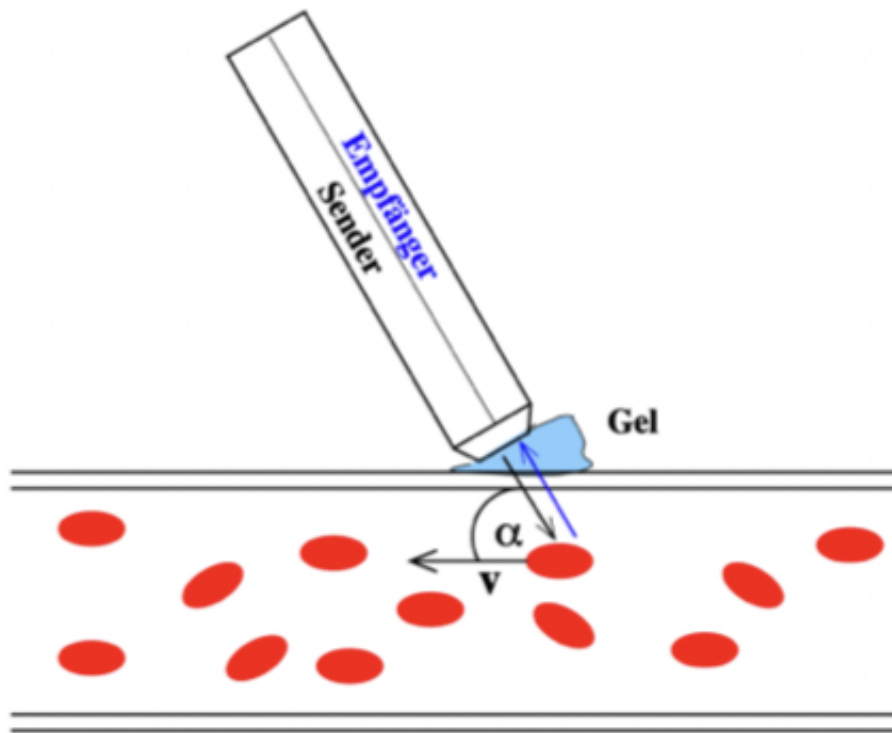


Abbildung 1: Schematische Anwendung des Doppler-Effekts bei Blutströmungen.[1]

werden. Hierzu wird ein piezoelektrischer Kristall in ein elektrisches Wechselfeld gebracht, sodass dieser durch Schwingungen Ultraschall erzeugt. Dies geschieht, falls eine polare Achse des Kristalls in Richtung des E-Feldes zeigt. Zudem kann der Kristall durch externe Schallwellen angeregt werden, sodass dieser auch als Schallempfänger fungieren kann. Eingesetzte Kristalle sind meist Quarze, die zwar einen schwachen piezoelektrischen Effekt haben, aber gleichbleibende physikalische Eigenschaften.

Das Dopple Prisma besitzt drei speziell angeordnete Einstellflächen, die eine definierte und reproduzierbare Einstellung des Dopplerwinkels zur strömenden Flüssigkeit garantiert.

### 3 Vorbereitung

Die Vorbereitungsaufgabe des Versuchs bestand darin, die Dopplerwinkel  $\alpha$  zu den gegebenen Prismenwinkeln zu berechnen mit Gleichung 5. Diese lassen sich in Tabelle 1 einsehen.

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

Tabelle 1: Prismenwinkel und ermittelte Dopplerwinkel.

$\theta$	$\alpha$
15°	80,064°
30°	70,528°
60°	54,735°

## 4 Durchführung

### 4.1 Aufbau

Der Aufbau besteht aus einem Ultraschall Doppler-Generator im Pulsbetrieb, 2 MHz-Ultraschallsonden und einem Rechner für die Messung der Daten und deren Analyse mit FlowView. Es werden Strömungsrohre mit verschiedenen Innen- und Außendurchmessern verwendet. Die Strömungsflüssigkeit besteht aus einem Gemisch aus Wasser, Glycerin und Glaskugeln. Akustische Eigenschaften sind an die verwendete Ultraschallfrequenz angepasst. In diesem Versuch werden laminare Strömungen benötigt, sodass die Viskosität der verwendeten Flüssigkeit entsprechend gewählt wurde. Die Strömungsgeschwindigkeit lässt sich mithilfe einer Zentrifugalpumpe im Bereich von 0 l/min bis 10 l/min einstellen.

### 4.2 Messung

Zunächst wird die Strömungsgeschwindigkeit untersucht. Die Kopplung der Sonden an das Strömungsrohr erfolgt mit den Dopplerprismen und Ultraschall-Gel.

Es wird die Maximalgeschwindigkeit an der Zentrifugalpumpe eingestellt und notiert, sodass später eingestellte Strömungsgeschwindigkeiten in Prozent von der Maximalgeschwindigkeit bzw. Pumpleistung angegeben werden können. Nun wird für verschiedene Strömungsgeschwindigkeiten die Frequenzverschiebung  $\Delta\nu$  notiert. Dies wird jeweils für alle drei Dopplerwinkel mit fünf Strömungsgeschwindigkeiten durchgeführt.

Im zweiten Teil der Messung soll das Strömungsprofil ermittelt werden. Es werden bei 60 % und 45 % Pumpleistung mit 3/8 Zoll Schlauch und 15° Dopplerwinkel die Strömungsgeschwindigkeiten und Streuintensitätswerte gemessen. Die Messungen finden ab 30 mm bis 11 mm Messtiefe in 0,75 mm Schritten statt.

## 5 Auswertung

### 5.1 Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit

Durch Gleichung 4 lässt sich die Strömungsgeschwindigkeit der Dopplerflüssigkeit bestimmen. In der Tabelle 2 sind die Frequenzverschiebungen mit der errechneten Strömungsgeschwindigkeit aufgetragen.

Tabelle 2: Gemessene Frequenzverschiebungen und die daraus errechneten Strömungsgeschwindigkeiten

rpm	$\theta = 15^\circ$		$\theta = 30^\circ$		$\theta = 45^\circ$	
	$\Delta\nu / \text{Hz}$	$v / \text{mm/s}$	$\Delta\nu / \text{Hz}$	$v / \text{mm/s}$	$\Delta\nu / \text{Hz}$	$v / \text{mm/s}$
2000	39	101,71	-35	-47,25	67	63,96
3000	62	161,70	-75	-101,25	132	126,01
4000	100	260,80	-149	-201,15	210	200,46
5000	170	443,36	-240	-324,00	340	324,56
6000	265	691,12	-457	-616,95	500	477,30

In Abbildung 2 ist für den jeweiligen Prismawinkel bzw. Dopplerwinkel der Quotient  $\Delta\nu/\cos(\alpha)$  aufgetragen. Die negativen Werte bei  $\theta = 30^\circ$  entstehen dadurch, dass man in die entgegengesetzte Richtung von den beiden anderen Winkeln misst. Somit ändert sich das Vorzeichen, durch die Richtung.

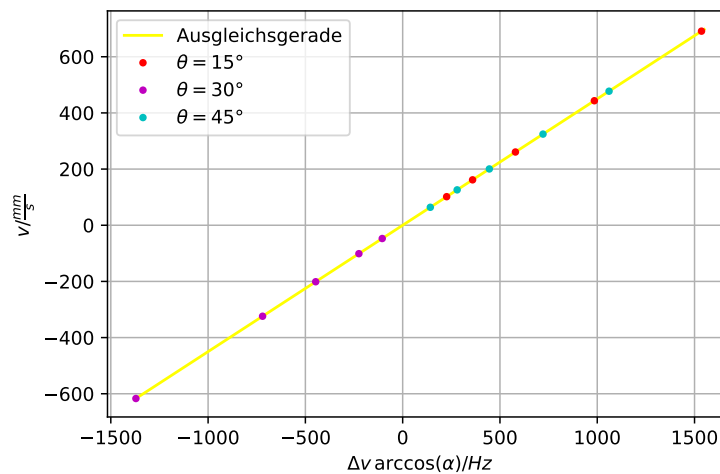


Abbildung 2: Quotient gegen die Streugeschwindigkeit

Zu erkennen ist, dass die Messwerte alle auf einer Geraden liegen, dies bedeutet, dass das Verhältnis für jeden Winkel und die dementsprechende Geschwindigkeit konstant bleibt.

## 5.2 Bestimmung des Strömungsprofils

Zur Bestimmung des Strömungsprofils wird an dem 10mm Schlauch und dem Dopplerwinkel von  $15^\circ$  gemessen. In Tabelle 3 sind die Messwerte für die Frequenzverschiebung und Streuintensitäten sowie die Strömungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Tiefe aufgelistet. Die Pumpe wird hierbei auf 45% und 60% der Maximaldrehzahl eingestellt.

Tabelle 3: Gemessene Frequenzverschiebungen und Streuintensität mit den errechneten Strömungsgeschwindigkeiten bei variierter Tiefe

$d / \mu\text{s}$	4140 rpm			6440 rpm		
	$\Delta\nu / \text{Hz}$	$I / \text{kV}^2/\text{s}$	$v / \text{cm/s}$	$\Delta\nu / \text{Hz}$	$I / \text{kV}^2/\text{s}$	$v / \text{cm/s}$
12,0	480,0	12	187,78	460,00	14	179,95
12,5	1250,0	25	489,00	960,00	33	375,55
13,0	2200,0	40	860,64	1510,00	60	590,71
13,5	3200,0	50	1251,84	1920,00	74	751,10
14,0	3590,0	54	1404,41	2400,00	90	938,88
14,5	4100,0	59	1603,92	2480,00	100	970,18
15,0	4500,0	73	1760,40	2360,00	110	923,23
15,5	4700,0	80	1838,64	2200,00	120	860,64
16,0	4800,0	70	1877,76	2000,00	133	782,40
16,5	3900,0	64	1525,68	1800,00	144	704,16
17,0	3400,0	29	1330,08	1660,00	88	649,39
17,5	3300,0	17	1290,96	1300,00	41	508,56
18,0	4000,0	11	1564,80	1929,00	22	754,62
18,5	5800,0	8	2268,96	3100,00	8	1212,72
19,0	6200,0	8	2425,44	2660,00	8	1040,59

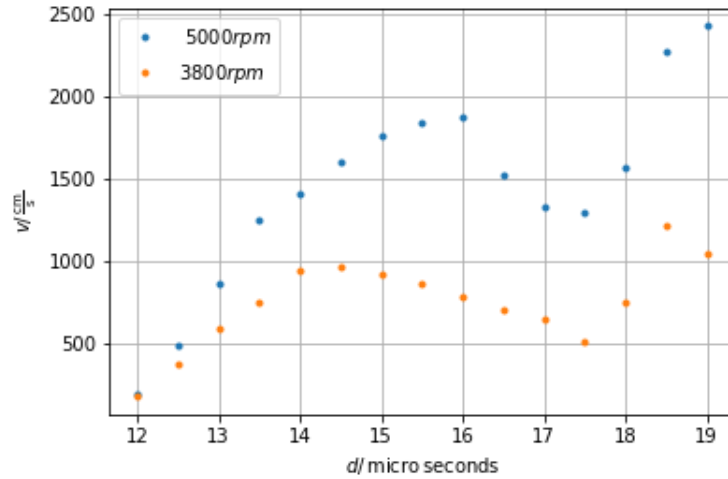


Abbildung 3: Momentangeschwindigkeit als Funktion der Messtiefe

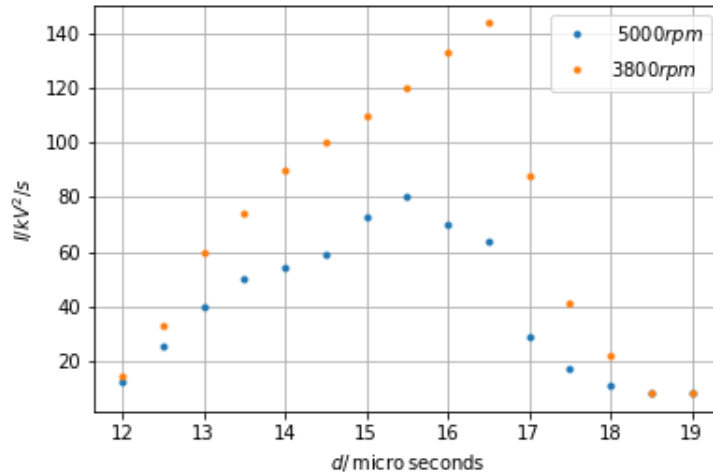


Abbildung 4: Streuintensität als Funktion der Messtiefe

## 6 Diskussion

Anhand der Geschwindigkeiten in Tabelle 3 und den Plots aus Abbildung 3 und Abbildung 4 ist zu erkennen, dass die Geschwindigkeit zur Mitte des Rohres stark zunimmt und am Rand des Rohres relativ gering ist. Jedoch weichen diese Werte für die verschiedenen Dopplerwinkel ab. In der Theorie sollte dies nicht der Fall sein, da die Geschwindigkeit der Flüssigkeit konstant ist. In der Tabelle 3 sind einige Nulleinträge zu erkennen. Diese wurden wahrscheinlich außerhalb des Rohres gemessen.

In der Abbildung 3 ist deutlich das Profil der Strömungsgeschwindigkeiten zu erkennen. Welche die Theorie bestätigt.

Dieser Versuch deckt sich gut mit den Erwartungshaltungen und der Theorie. Abweichungen sind durch die Empfindlichkeit der Messapparatur nicht auszuschließen. Jedoch beeinflusst dies die Messergebnisse nicht wesentlich.

Aus Abbildung 2 lässt sich erkennen, dass die Strömungsgeschwindigkeit  $v$  linear von der Frequenzverschiebung durch den Cosinus des Dopplerwinkels  $\frac{\Delta\nu}{\cos\alpha}$  abhängt. Daraus folgt, dass bei kleineren Geschwindigkeiten die Frequenzen weniger verschoben werden, was den Doppler-Effekt bestätigt.

In den Strömungsprofilen aus Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die Geschwindigkeiten und Streuintensitäten parabelförmige Muster. Bei nicht so hohen Geschwindigkeiten bewegen sich die Parabeln gespiegelt, wie bei Abbildung 3, wohingegen bei höheren Geschwindigkeiten die Frequenzen weiter verschoben werden, sodass ein fast ähnlich orientiertes Profil, wie bei Abbildung 4 entstehen kann. Daraus lässt sich erkennen, dass es sich um ein laminares Strömungsprofil handeln muss.



## 7 Literaturverzeichnis

[1] TU Dortmund. VUS3: Die Dopplersonographie. 2023.

## 8 Anhang

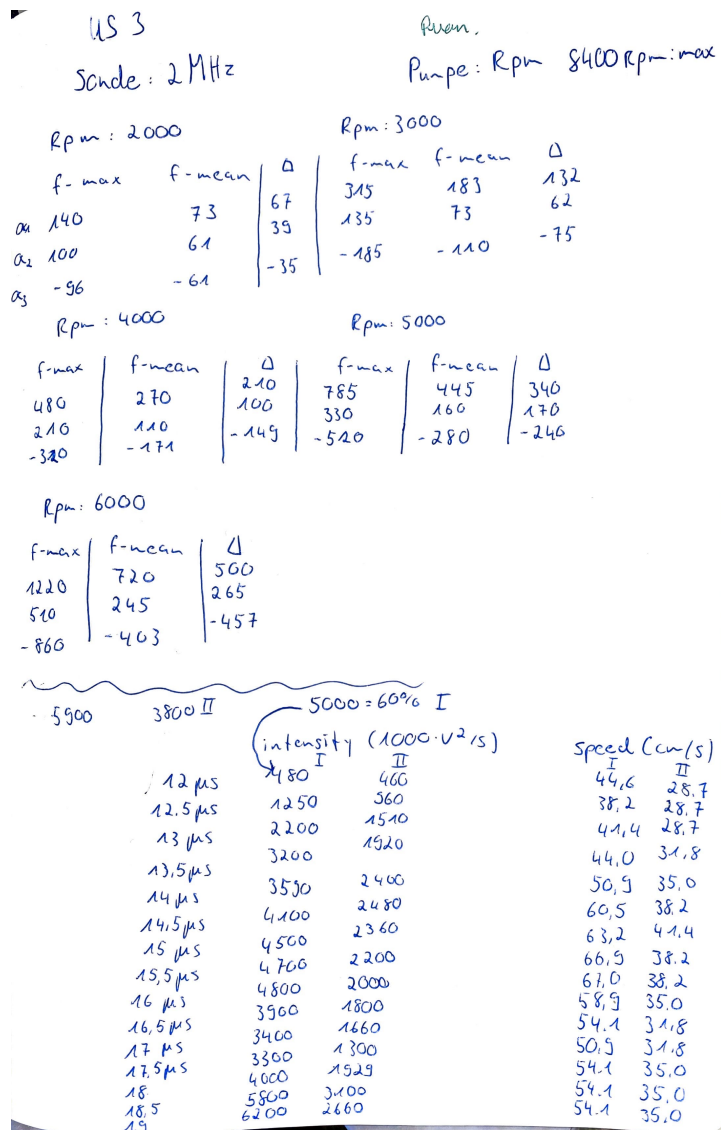


Abbildung 5: Messwerte.