

US3

## **Doppler-Sonographie**

Evelyn Romanjuk  
evelyn.romanjuk@tu-dortmund.de

Ramona-Gabriela Kallo  
ramonagabriela.kallo@tu-dortmund.de

Durchführung: 05.06.18

Abgabe: 12.06.18

TU Dortmund – Fakultät Physik

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3 Durchführung</b>	<b>4</b>
<b>4 Auswertung</b>	<b>5</b>
4.1 Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit . . . . .	5
4.2 Bestimmung des Strömungsprofils . . . . .	7
<b>5 Diskussion</b>	<b>11</b>
<b>Literatur</b>	<b>11</b>

## 1 Zielsetzung

In diesem Versuch sollen die Strömungen auf ihre charakteristischen Eigenschaften mit dem Impuls-Echo-Verfahren untersucht werden.

## 2 Theorie

Als Ultraschall wird Schall mit Frequenzen oberhalb der Hörschwelle des Menschen bezeichnet. Dieser umfasst Frequenzen von ca. 20 kHz bis 1 GHz. Bei Frequenzen ab 1 GHz wird von Hyperschall gesprochen und unterhalb des für Menschen hörbaren Bereichs wird dagegen von Infraschall geredet.

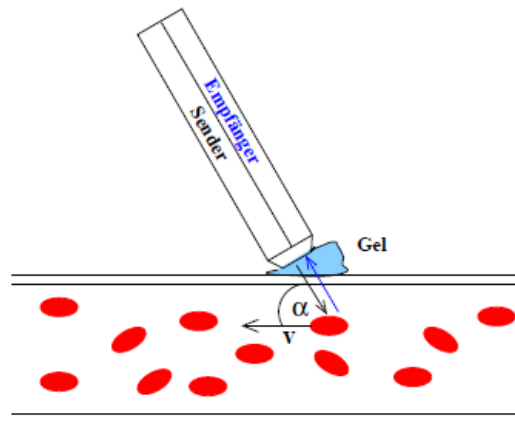
Bewegen sich eine Schallquelle und/oder ein Schallempfänger aufeinander zu, so tritt der Doppler-Effekt auf. Der Doppler-Effekt wird in der Ultraschalltechnik verwendet, um die Geschwindigkeit der Blutströmungen zu bestimmen.

Bewegt sich die Quelle auf den ruhenden Beobachter zu, so wird die gehörte Frequenz größer und die Wellenlänge verringert sich. ( $\nu_0 < \nu_{kl}$ ) Wenn die Quelle sich von dem ruhenden Beobachter entfernt, so wird die Frequenz immer kleiner. ( $\nu_{gr} < \nu_0$ ) Es gilt also:

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

Bewegt sich der Beobachter auf die ruhende Quelle zu, so erhöht sich die Frequenz und so verringert sie sich, wenn er sich von der Quelle weiter entfernt. Es gilt in diesem Fall:

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



**Abbildung 1:** Die Anwendung des Dopplereffekts in der Ultraschalltechnik, [1, S. 1].

In der Abbildung 1 ist ein Beispiel dargestellt zur Anwendung des Dopplereffekts zur Bestimmung des Blutflusses in der Ultraschalltechnik. Tritt ein Ultraschall eine kommende Frequenz auf ein rotes bewegtes Blutkörperchen, so verschiebt sich die Frequenz wie beim Doppler-Effekt. Die Formel lautet:

$$\Delta\nu = \nu_0 \frac{v}{c} (\cos\alpha + \cos\beta), \quad (1)$$

wobei  $v$  die Geschwindigkeit des Objektes,  $c$  die Schallgeschwindigkeit, die durch die Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  bestimmt werden kann. Diese sind gleich beim Impuls-Echo-Verfahren, so dass es sich für die Formel 1 ergibt:

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

Ultraschall kann durch technische Anordnungen erzeugt werden, zum Beispiel durch den piezoelektrischen-Effekt. Dieser kommt zustande, weil im elektrischen Feld einen Kristall gebracht wird, so dass dieser zu Schwingungen angeregt wird. Der Kristall kann auch als Detektor benutzt werden, dabei treffen die Schallwellen auf den Kristall und regen diesen zu Schwingungen an.

### 3 Durchführung

Für diesen Experiment sollen die Strömungsgeschwindigkeiten sowie die Strömungsprofile näher untersucht werden. Dabei steht ein Schlauchsystem, also drei Strömungsröhre mit verschiedenen Durchmessern und eine rote Sonde, die eine Frequenz von 2 MHz besitzt, zur Verfügung. Um den Doppler-Effekt zu zeigen, wird es nicht mit dem Ultraschallkopf nicht an dem Schlauchsystem gehalten, sondern es werden drei Doppler-Prismen mit drei verschiedenen Prismawinkel verwendet.

Die Prismen besitzen die Winkel  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ , und  $60^\circ$ . Die Bestimmung des Dopplerwinkels wird mit Hilfe des Brechungsgesetz und mit Hilfe von verschiedenen Schallgeschwindigkeiten in Wasser und im Prisma berechnet:

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin \left( \sin \theta \cdot \frac{c_L}{c_P} \right). \quad (3)$$

Für den ersten Teil wird die Frequenzverschiebung  $\Delta\nu$  für 5 verschiedene Flussgeschwindigkeiten mit der 2 MHz Sonde für alle drei Winkel notiert. Mittels Ultraschallgel werden die Dopplerprismen an die Strömungsröhre gebracht.

Im zweiten Teil wird das Strömungsprofil an dem mittleren Schlauch näher untersucht. Dabei ist es hier nur den  $15^\circ$ -Winkel notwendig. Die Meßtiefe wird variiert und wird zuerst bei 12 eingestellt. Auch die Pumpleistung wird auf maximal 70 % und danach auf 45 % gestellt. Es werden jeweils die Werte für die Streuintensität und Strömungsgeschwindigkeit notiert.

## 4 Auswertung

### 4.1 Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit

In Tabelle 2 sind alle Messwerte des ersten Versuchsteils zu finden. Dabei werden die Strömungsgeschwindigkeiten mithilfe von Gleichung 2, die nach  $v$  umgestellt wird, berechnet.

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

Die Schallgeschwindigkeit in der Dopplerflüssigkeit beträgt  $c = 1800 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  und die Frequenz der Ultraschallwelle ist  $\nu_0 = 2 \cdot 10^6 \text{ Hz}$ . Die Dopplerwinkel der jeweiligen Prismenwinkel werden über Gleichung 3 bestimmt. Zu finden sind diese in Tabelle 1.

**Tabelle 1:** Prismen- und Dopplerwinkel.

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

Aus den im Versuch gemessenen Werten werden die jeweiligen Strömungsgeschwindigkeiten  $v$  berechnet, sowie die Quotienten  $\frac{|\Delta\nu|}{\cos(\alpha)}$ . Alle Messergebnisse sind in Tabelle 2 zu finden. In Abbildung 2 ist für die drei Dopplerwinkel  $\frac{|\Delta\nu|}{\cos(\alpha)}$  gegen die Strömungsgeschwindigkeit  $v$  aufgetragen.

**Tabelle 2:** Messwerte zur Untersuchung der Strömungsgeschwindigkeit  $v$ .

$\dot{V} / \frac{1}{\text{min}}$	$d/10^{-3} \text{ m}$	$\alpha / \text{Grad}$	$ \Delta\nu  / \text{Hz}$	$v / \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\frac{ \Delta\nu }{\cos(\alpha)} / \text{Hz}$
2,8	10	15	537	1,39	3110,94
		30	665	0,89	1995,12
		45	1282	0,99	2220,73
	15	15	159	0,41	921,12
		30	256	0,35	768,05
		45	415	0,32	718,88
	20	15	98	0,26	567,73
		30	110	0,15	330,02
		45	232	0,18	401,88
3,3	10	15	659	1,72	3817,71
		30	1013	1,37	3039,18
		45	1508	1,18	2612,22
	15	15	159	0,41	921,12
		30	342	0,46	1026,06
		45	596	0,46	1032,41
	20	15	85	0,22	492,42
		30	134	0,18	402,02
		45	232	0,18	401,88
3,7	10	15	769	2,00	4454,95
		30	1257	1,69	3771,23
		45	1868	1,46	3235,82
	15	15	208	0,54	1204,98
		30	391	0,53	1173,07
		45	751	0,26	1300,91
	20	15	85	0,22	492,42
		30	171	0,23	513,03
		45	1160	0,40	2009,39
4,2	10	15	928	2,42	5376,07
		30	1447	1,95	4341,26
		45	2063	0,71	3573,61
	15	15	220	0,57	1274,49
		30	452	0,61	1356,08
		45	812	0,28	1406,58
	20	15	110	0,29	637,25
		30	201	0,27	603,04
		45	464	0,16	803,76
4,7	10	15	1025	2,67	5938,01
		30	1190	1,61	3570,22
		45	2350	0,81	4070,76
	15	15	256	0,67	1483,05
		30	555	0,75	1665,10
		45	1086	0,38	1881,21
	20	15	122	0,32	706,77
		30	269	0,36	807,05
		45	305	0,11	528,33

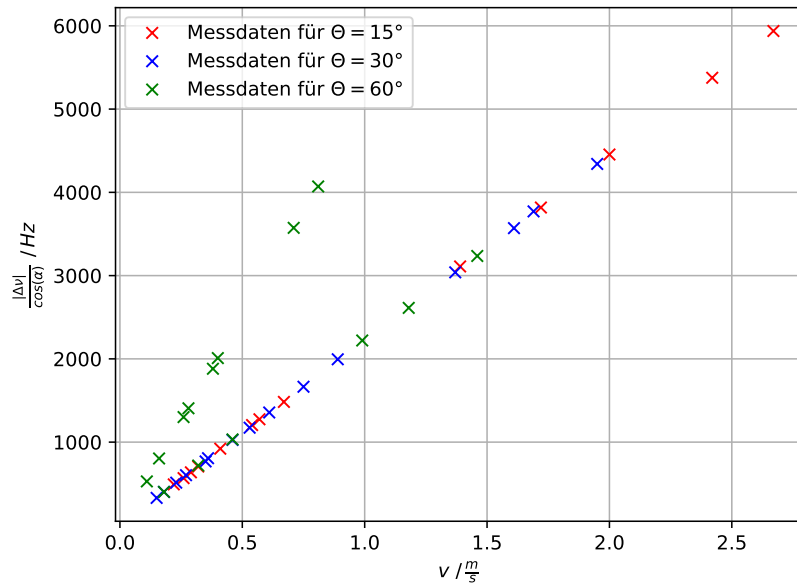


Abbildung 2:  $\frac{|\Delta\nu|}{\cos(\alpha)}$  als Funktion der Strömungsgeschwindigkeit  $v$ .

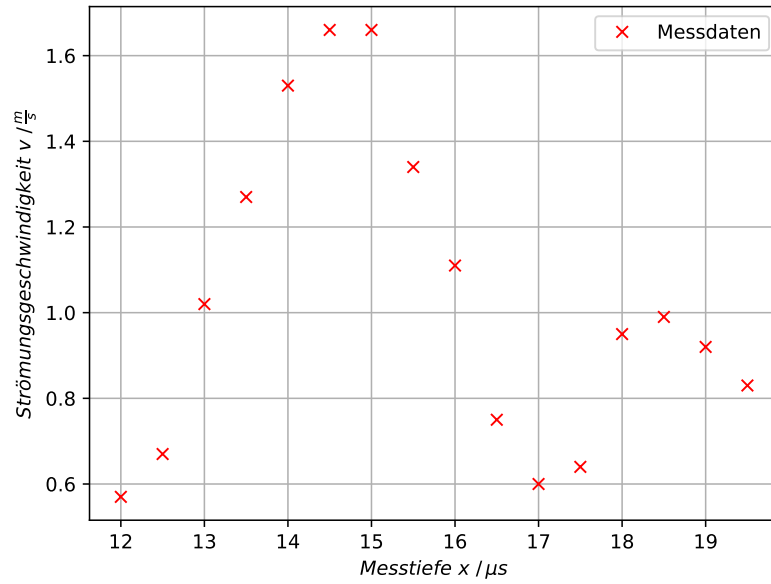
## 4.2 Bestimmung des Strömungsprofils

Zur Bestimmung des Strömungsprofils wird die Messung bei einer Tiefe von  $l = 30 \cdot 10^{-3} \text{ m}$  begonnen, wo das Prisma endet und der eigentliche Messbereich anfängt. Umgerechnet wird dies mit  $4 \mu\text{s} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ , was also einer Messtiefe von  $x = 12 \mu\text{s}$  entspricht. In Tabelle 3 sind die Messtiefen  $x$ , die gemessenen Frequenzverschiebungen  $\Delta\nu$  und die Streuintensitäten  $I$ , sowie die über Gleichung 4 berechneten Strömungsgeschwindigkeiten  $v$  zu finden. In den Abbildungen 3 und 5 sind die Strömungsgeschwindigkeiten der jeweiligen Volumenströme gegen die Messtiefe aufgetragen, in Abbildungen 4 und 6 sind die Streuintensitäten die Funktion der Messtiefe.

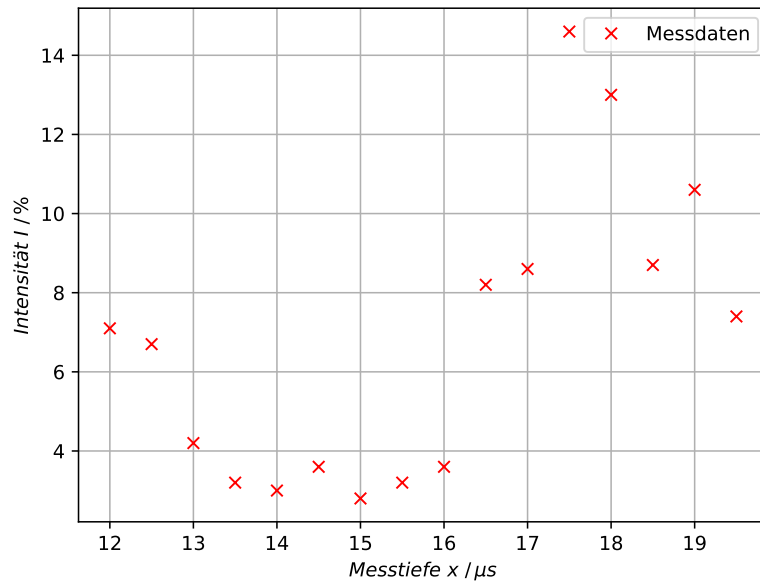
**Tabelle 3:** Messwerte zur Untersuchung des Strömungsprofils.

$\dot{V} / \frac{1}{\text{min}}$	$x / 10^{-6} \text{ s}$	$ \Delta\nu  / \text{Hz}$	$I / \%$	$v / \frac{\text{m}}{\text{s}}$
4,8	12	220	7,1	0,57
	12,5	256	6,7	0,67
	13	391	4,2	1,02
	13,5	488	3,2	1,27
	14	586	3,0	1,53
	14,5	635	3,6	1,66
	15	635	2,8	1,66
	15,5	513	3,2	1,34
	16	427	3,6	1,11
	16,5	287	8,2	0,75
	17	232	8,6	0,60
	17,5	244	14,6	0,64
	18	366	13,0	0,95
	18,5	378	8,7	0,99
	19	354	10,6	0,92
	19,5	317	7,4	0,83
3,4	12	159	9,6	0,41
	12,5	171	8,6	0,45
	13	208	6,3	0,54
	13,5	281	4,8	0,73
	14	330	4,0	0,86
	14,5	366	4,2	0,95
	15	366	3,4	0,95
	15,5	354	3,0	0,92
	16	305	3,3	0,79
	16,5	232	6,1	0,60
	17	159	10,2	0,41
	17,5	134	9,5	0,35
	18	208	10,3	0,54
	18,5	220	11,8	0,57
	19	220	10,9	0,57
	19,5	195	9,6	0,51

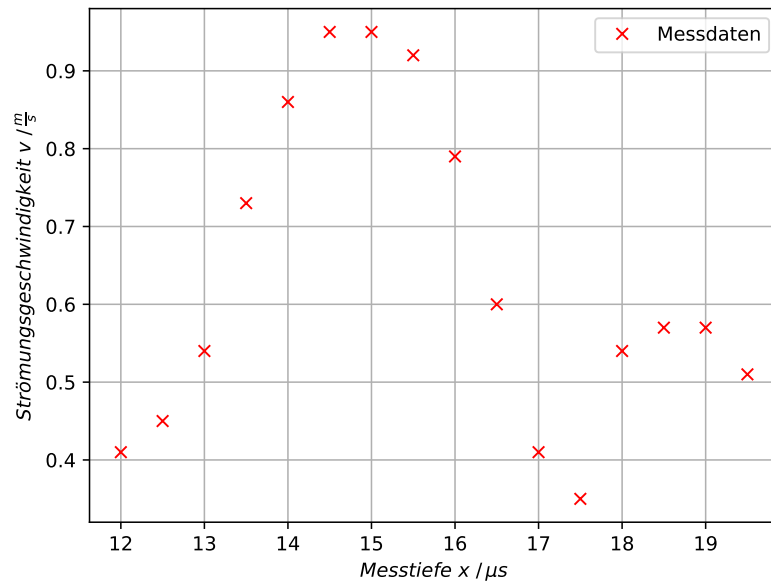




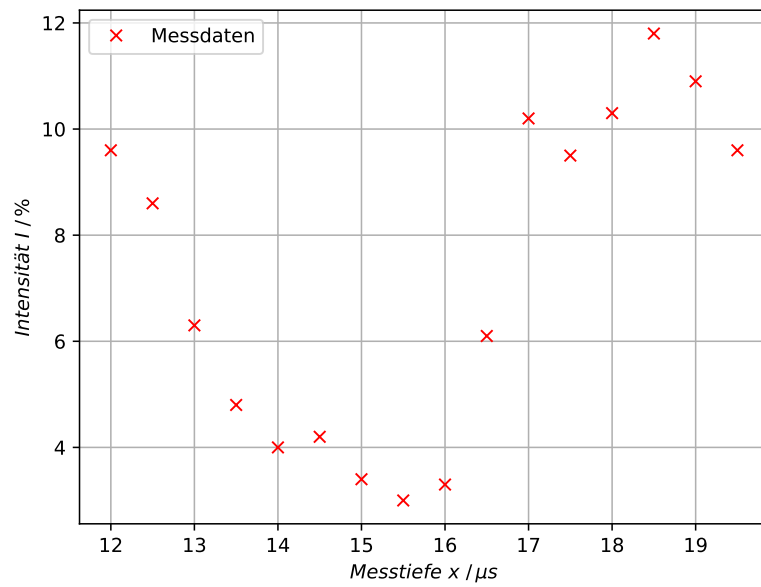
**Abbildung 3:** Strömungsgeschwindigkeit  $v$  als Funktion der Messtiefe  $x$  bei  $\dot{V} = 4,8 \frac{1}{\text{min}}$ .



**Abbildung 4:** Streuintensität  $I$  als Funktion der Messtiefe  $x$  bei  $\dot{V} = 4,8 \frac{1}{\text{min}}$ .



**Abbildung 5:** Strömungsgeschwindigkeit  $v$  als Funktion der Messtiefe  $x$  bei  $\dot{V} = 3,4 \frac{1}{\text{min}}$ .



**Abbildung 6:** Streuintensität  $I$  als Funktion der Messtiefe  $x$  bei  $\dot{V} = 3,4 \frac{1}{\text{min}}$ .

## 5 Diskussion

Im ersten Versuchsteil ist zu erkennen, dass der Großteil der Messdaten aller Prismenwinkel auf einer Geraden liegen, was für einen linearen Zusammenhang zwischen dem Quotienten  $\frac{|\Delta\nu|}{\cos(\alpha)}$  und der Strömungsgeschwindigkeit  $v$  spricht. Allerdings fällt auf, dass einige Werte der dritten Messreihe, bei einem Prismenwinkel von  $\theta = 60^\circ$ , von den restlichen Messwerten stark abweichen. Diese könnte auf Ungenauigkeiten in der Messung zurückzuführen sein. Die gemessenen Werte der Frequenzverschiebung  $\Delta\nu$  entsprechen den vorherigen Vermutungen: Die Verschiebung erhöht sich für zunehmenden Prismenwinkel und ist für einen Winkel von  $\theta = 30^\circ$  stets negativ. Zudem verringert sich auch wie erwartet die Strömungsgeschwindigkeit für zunehmenden Durchmesser.

Bei den Abbildungen 3 und 5 des zweiten Versuchsteils lässt sich feststellen, dass die Kurven parabelförmig verlaufen und so deutlich das Strömungsprofil zeigen. Hierbei ist die zweite Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit außer Acht zu lassen, da sie durch die Reflektion des Schalls an der hinteren Rohrwand zustande kommt. Die Abbildungen 4 und 6 zeigen in etwa den inversen Verlauf zu den vorherigen Kurven. Dies bedeutet, dass bei höherer Strömungsgeschwindigkeit die Streuintensität sinkt und damit ein besseres Signal möglich ist.

Da die vom Rechner ausgegebenen Werte der Frequenzverschiebung und der Streuintensität stark schwanken, ist es nicht möglich sehr genaue Aussagen zu machen. Dies gilt vor allem für die Streuintensitäten, welche meist grob abgeschätzt werden müssen. Unter Umständen ist es möglich, dies mit einem verbesserten Versuchsaufbau zu verbessern, allerdings konnten auch in diesem Versuch qualitative Aussagen gemacht werden.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch US3: Doppler-Sonographie*. 2018. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/MEDPHYS/BACHELOR/AP/SKRIPT/DopplerSonogr.pdf> (besucht am 07.06.2018).