

US3 Dopplersonographie

Connor Magnus Böckmann

email: connormagnus.boeckmann@tu-dortmund.de

Tim Theissel

email: tim.theissel@tu-dortmund.de

15. 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	3
3	Aufbau	4
4	Durchfuehrung	4
4.1	Bestimmung der Dopplerverschiebung	4
4.2	Bestimmung des Stroemungsprofils	4

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.