

**ZIEL**  
**Untersuchung der Grundeigenschaften von stationär und laminar strömenden Flüssigkeiten durch Anwendung des Ultraschall-Dopplerverfahrens**

## ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Zu den Anwendungen des Dopplereffekts in der medizinischen Diagnostik zählt die Untersuchung von fortlaufenden Bewegungen und sich bewegenden Strukturen wie zum Beispiel in der kardiologischen Diagnostik, arterielle und venöse Blutgefäße, Blutirkulation im Hirn und postoperative Blutgefäßkontrolle.

Eine stationär strömende Flüssigkeit ist durch einen konstanten Flüssigkeitsstrom an allen Punkten des Systems gekennzeichnet. Die sich daraus ergebende Kontinuitätsgleichung für zwei verschiedene Rohrabschnitte  $A_1$  und  $A_2$  lautet:

$$(1) \quad A_1 v_1 = A_2 v_2 = V = \text{const.}$$

Dabei sind  $v_1$  und  $v_2$  die mittleren Geschwindigkeiten im entsprechenden Abschnitt und  $V$  die Strömungsrate (Volumen pro Zeiteinheit). Der statische Druck in einer strömenden Flüssigkeit ist immer kleiner als der in einer stationären Flüssigkeit, und er verringert sich, je größer die Strömungsgeschwindigkeit ist (Bernoulli-Gleichung). Für die Strömung durch ein horizontales Rohr (ohne Schwerkraftdruck) entspricht der Gesamtdruck  $p_0$ :

$$(2) \quad p + \frac{1}{2} \rho v^2 = p_0$$

Nur in einer reibungslosen Flüssigkeit ist  $p_0$  konstant. In einer mit Reibung verbundenen Strömung verringert sich der Gesamtdruck in Abhängigkeit von der Viskosität  $\eta$ , der Länge  $l$ , des Querschnitts  $A$  des durchströmten Abschnitts und der Strömungsrate  $V$ . Für Flüssigkeiten mit geringeren Strömungsgeschwindigkeiten (laminare Strömung) in engen Röhren gilt für den Druckabfall  $\Delta p$  das Gesetz von Hagen-Poiseuille:

$$(3) \quad \Delta p = R V$$

$$(4) \quad R = \frac{8 l}{\pi r^4 \eta}$$

wobei  $r$  der Radius des Rohrs ist und  $l$  dessen Länge. Das bedeutet, dass eine Reduzierung des Gefäßdurchmessers auf die Hälfte zu einer 16-fachen Vergrößerung des Strömungswiderstands führt. Nach diesem Prinzip regulieren Blutgefäße die Blutverteilung zwischen Extremitäten und inneren Organen.

Es wird ein Kreislauf aufgebaut, der aus 3 Rohrleitungen gleicher Länge, aber mit unterschiedlichen Durchmessern besteht. Am Anfang und Ende jeder Leitung befindet sich ein Messpunkt gleichen Durchmessers. An den Rohrleitungen wird mit Hilfe des Doppler-Prismas und des FlowDop die mittlere Geschwindigkeit für drei verschiedene Strömungsraten gemessen (3 verschiedene Spannungen an der Zentrifugalpumpe). Mit Kenntnis der gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten kann die Strömungsrate nach (1) bestimmt und verglichen werden. An den Messpunkten kann der Druckabfall auf Grund des Strömungswiderstands gemessen werden. Durch Berechnung der Strömungsrate mit (1) kann der Strömungswiderstand nach (4) ermittelt werden und daraus, unter Verwendung der bekannten Geometrie, die dynamische Viskosität der Flüssigkeit bestimmt werden.

## > AUFGABEN

- Messung der Dopplerfrequenzverschiebung für verschiedene Pumpengeschwindigkeiten und die Druckabfälle an Standröhren.
- Bestimmung der Strömungsraten, Strömungswiderstände und der dynamischen Viskosität der Dopplerflüssigkeit durch Anwendung der Kontinuitätsgleichung, der Bernoulli-Gleichung und der Hagen-Poiseuille-Gleichung.
- Berechnung der Reynolds-Zahl für verschiedene Strömungsgeschwindigkeiten und Rohrdurchmesser.

## ZUSAMMENFASSUNG

Es werden Strömungsmessungen nach dem Ultraschall-Dopplerverfahren verwendet, um die grundlegenden Gesetze zu demonstrieren, denen der Flüssigkeitsstrom in Rohrleitungen unterliegt und dessen Abhängigkeit von Strömungsgeschwindigkeit und Rohrgeometrie. Es werden die Beziehungen zwischen Strömungsgeschwindigkeit und Rohrquerschnitt (Kontinuitätsbedingung) und zwischen Strömungswiderstand und Rohrdurchmesser (Gesetz von Hagen-Poiseuille) untersucht.

## BENÖTIGTE GERÄTE

Anzahl	Geräte	Art.-Nr.
1	Ultraschall-Dopplergerät	1022330
1	Ultraschallsonde 2 MHz, GS200	1018618
1	Satz Doppler-Prismen und Strömungsröhre	1002572
1	Steigrohre zur Druckmessung	1002573
1	Dopplerphantomflüssigkeit	1002574
1	Zentrifugalpumpe	1002575
1	Ultraschall-Koppelgel	1008575

## AUSWERTUNG

Aus den gemessenen Strömungsraten und den spezifischen Querschnittsbereichen kann die entsprechende Strömung berechnet werden. Diese ist in dieser Experimentanordnung für alle Rohrdurchmesser und die gleichen Einstellungen an der Zentrifugalpumpe nahezu gleich und erfüllt somit die Kontinuitätsgleichung. Als weiteres Ergebnis zeigt das untere Diagramm den Strömungswiderstand  $R$ , der für verschiedene Rohrdurchmesser und Strömungen bestimmt wurde. Es zeigt die starke Abhängigkeit vom Rohrradius  $r$ , die aus der Hagen-Poiseuille-Gleichung erwartet werden kann:

$$R \propto \frac{1}{r^4}$$

Abb.1 zeigt, dass die aus der gemessenen Geschwindigkeit und dem Abschnitt berechnete Strömungsrate bei gleichen Spannungen für alle Rohrdurchmesser nahezu gleich ist, und damit ist die Kontinuitätsgleichung erfüllt.

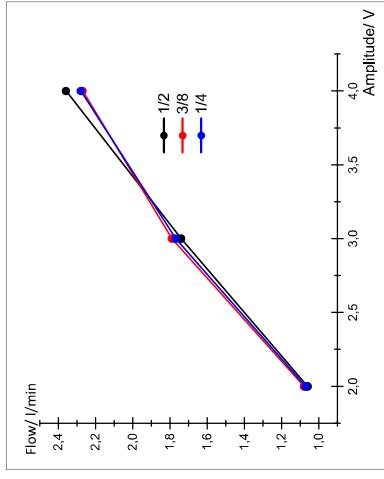


Abb. 1: Strömungsraten für verschiedene Rohrdurchmesser

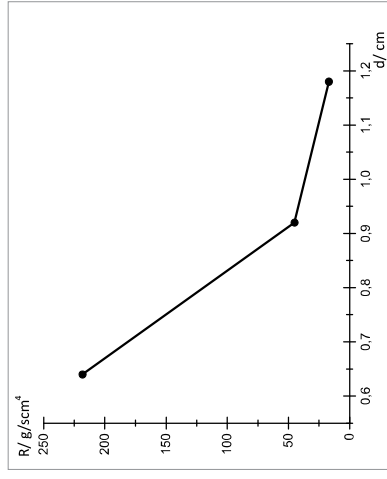


Abb. 2: Widerstand für verschiedene Rohrdurchmesser