

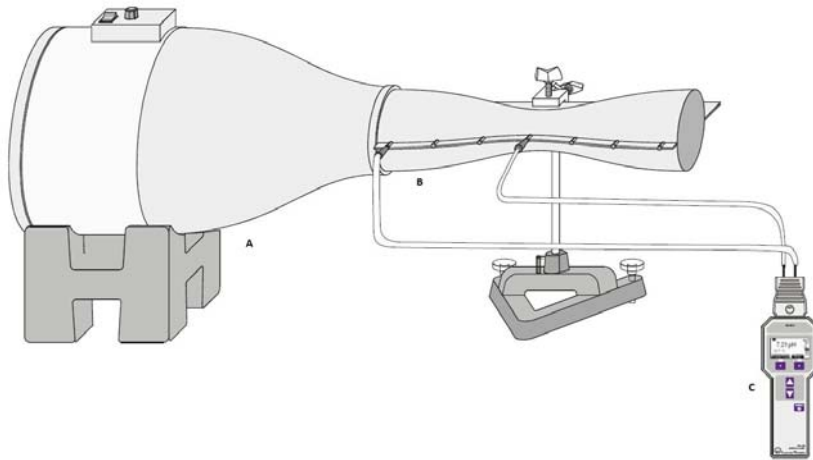
Labor für Technische Physik

Prof. Dr.-Ing. Dieter Kraus, Dipl.-Ing. W.Pieper

Versuch 3a:

Untersuchungen zur Aerodynamik

Volumenstrom mit einem Venturi-Rohr



A: Saug- und Druckgebläse

B: Venturi-Rohr

C: Mobile-Cassy

1. Versuchsziele

Aus der Messung der Druckdifferenz in einem Venturirohr soll die Strömungsgeschwindigkeit und der Volumenstrom ermittelt werden.

2. Grundlagen

Der Druck p ist definiert als die Kraft F , die senkrecht auf eine Fläche A wirkt, dividiert durch die Fläche A

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Der statische Druck überträgt sich gleichmäßig in alle Richtungen, in einem Behälter ist er an jedem Ort gleich. Die Maßeinheit für den Druck ist Pascal ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$) oder auch Bar.

Bezieht man den statischen Druck auf das Vakuum ($p = 0 \text{ bar}$), so spricht man vom Absolutdruck. Auf der Erdoberfläche in Meereshöhe hat der Luftdruck etwa den Absolutwert 100 kPa oder 1 bar.

Um ein Flüssigkeits- oder ein Gas-Volumen ΔV_0 in eine Strömungsröhre mit der Querschnittsfläche A_0 einzubringen, muss bei dem dort herrschenden Betriebsdruck p_0 die Arbeit

$$W_0 = p_0 \cdot \Delta V_0 = p_0 \cdot A_0 \cdot \Delta s_0 \quad (2)$$

aufgebracht werden.

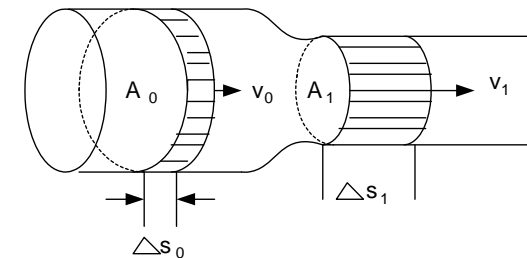


Abb. 1: Venturidüse

Bei Inkompressibilität der Flüssigkeit oder des Gases ($\rho = \text{konst.}$) tritt bei A_1 ein gleich großes Volumen $\Delta V_1 = \Delta V_0$ aus und verrichtet die Arbeit

$$W_1 = p_1 \cdot \Delta V_1 = p_1 \cdot A_1 \cdot \Delta s_1 \quad (3)$$

ρ : Dichte des Durchflussmediums

Am Ort der Querschnittsflächen A_0 bzw. A_1 hat das Gasvolumen jeweils

die potentielle Energie $\rho \cdot \Delta V \cdot g \cdot h_0$ bzw. $\rho \cdot \Delta V \cdot g \cdot h_1$ und

die kinetische Energie $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \Delta V \cdot v_0^2$ bzw. $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \Delta V \cdot v_1^2$.

Nach dem Energieerhaltungssatz gilt bei vernachlässigbarer Reibung:

$$\Delta W = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \Delta V \cdot v_0^2 + \rho \cdot \Delta V \cdot g \cdot h_0 \right) - \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \Delta V \cdot v_1^2 + \rho \cdot \Delta V \cdot g \cdot h_1 \right) \quad (4)$$

Mit $\Delta W = p_1 \cdot \Delta V - p_0 \cdot \Delta V$ folgt daraus

$$p_0 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_0^2 + \rho \cdot g \cdot h_0 = p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 \quad (5)$$

oder allgemein die nach ihrem Entdecker benannte Bernoulli-Gleichung

$$p_s + \rho \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = p_s + p_h + p_{dyn} = konst. \quad (6)$$

Die Bernoulli-Gleichung besagt, dass die Summe aus statischem Druck p_s , geodätischem Druck p_h und dynamischem Druck (Staudruck) p_{dyn} konstant ist.

In diesem Versuch betrachten wir nur die horizontale Strömung, somit ist der geodätische Druck p_h an allen Messpunkten gleich und es folgt aus (5):

$$p_0 + \frac{\rho}{2} \cdot v_0^2 = p_1 + \frac{\rho}{2} \cdot v_1^2 \quad (7)$$

p_0, p_1 : Statischer Druck am Eingang, bzw. in der Mitte des Venturirohres

A_0, A_1 : Durchflussflächen

v_0, v_1 : Strömungsgeschwindigkeiten

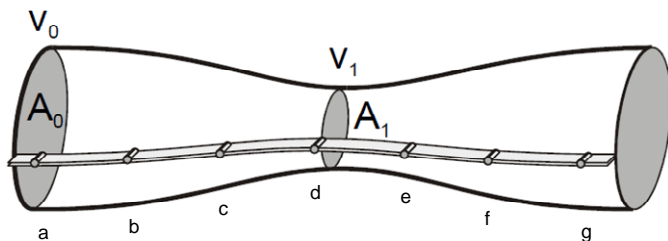


Abb. 2: Schematische Darstellung des Venturirohres mit Messpunkten

Aus der Bernoulli-Gleichung (7) folgt

$$p_0 - p_1 = \frac{\rho}{2} \cdot (v_1^2 - v_0^2) \quad (8)$$

Mit dem Volumenstrom Q kann die Kontinuitätsgleichung wie folgt geschrieben werden:

$$Q_0 = v_0 \cdot A_0 = Q_1 = v_1 \cdot A_1 \quad (9)$$

Ersetzt man in Gleichung (8) die Geschwindigkeit v_0 durch den aus der Kontinuitätsgleichung abgeleiteten Term

$$v_0 = v_1 \cdot \frac{A_1}{A_0} \quad (10)$$

folgt daraus für die Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit v_1 :

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_0 - p_1)}{\rho \cdot \left(1 - \frac{A_1^2}{A_0^2}\right)}} \quad (11)$$

Die Geschwindigkeit und der Volumenstrom lassen sich somit aus einer Messung der Druckdifferenz ermitteln, wenn die zugehörigen Querschnitte und die Dichte bekannt sind.

In technischen Anwendungen wird das Venturirohr verwendet, um den Volumenstrom von Flüssigkeiten oder Gasen zu bestimmen.

Zur Verifizierung der Bernoulli-Gleichung sollen die Druckverhältnisse in einem Venturirohr analysiert werden. Die Durchmesser des Venturirohres betragen 100 mm (an den Messpunkten 1 + 7), 92 mm (2 + 6), 65 mm (3 + 5) und 50 mm (an Messpunkt 4).

Der verwendete Drucksensor hat zwei Anschlussstutzen, mit denen direkt der Differenzdruck ($p_0 - p_1$) zwischen zwei Messpunkten gemessen werden kann. Wenn ein Anschlussstutzen mit dem Druck der freien Atmosphäre beaufschlagt wird, ist der am anderen Stutzen gemessene Druck auf den Atmosphärendruck bezogen. Diesen nennt man auch Überdruck.

3. Versuchsaufbau

Geräteliste

1	Saug- und Druckgebläse	37304
1	Venturirohr	37309
1	Mobile-CASSY mit Steckernetzteil	524009
1	Drucksensor S , ± 70 hPa	524066
	Stativfuß, Stativstange, Muffe	

- Das Schutzgitter auf die Saugseite und die Düse mit Öffnungsdurchmesser 100 mm auf die Druckseite des Gebläses stecken. Das Gebläse waagrecht auf den Fuß positionieren.
- Das Venturirohr auf die Düse stecken und auf der anderen Seite mit Stativfuß, Stativstange und Muffe stützen.
- Den Drucksensor auf das Mobile-CASSY stecken und den Sensor entsprechend der obigen Abbildung mit den Messpunkten 1 und 4 des Venturirohres verbinden. Das Mobile-Cassy mit einem 12 V Steckernetzteil betreiben.

Hinweis zur Bedienung des Gebläses:

Die Geschwindigkeit des Luftstroms wird mit dem Drehknopf am Gebläse geregelt. Vor dem Einschalten des Gebläses stets auf minimale Drehzahl am Potentiometer einstellen und dieses im Folgenden feinfühlig betätigen. Geringe Änderungen der Einstellung können große Auswirkungen auf die Luftgeschwindigkeit haben. Einlaufzeit des Motors: ca. 3 min. Einstellzeit bei Drehzahländerungen: ca. 30 s. Vor dem Ausschalten die Drehzahl wieder auf Minimum zurückregeln.

Sicherheitshinweise

- Vor Einschalten des Gebläses sicherstellen, dass
 - das Schutzgitter und
 - die Düse ordnungsgemäß auf das Gebläse aufgesteckt sind.
- Vor Abnehmen des Schutzgitters oder der Düse
 - Netzstecker ziehen und
 - mindestens eine halbe Minute warten, bis der Rotor steht.
- Lamellen des Schutzgitters sowie das Metallgitter in der Düsenöffnung mechanisch nicht beanspruchen!

Bedienung des Mobile-Cassy:

- Zum Einschalten oder Hauptmenü aufrufen die Menu-Taste betätigen
- Im Hauptmenü den Menüpunkt „Messgrößen“ durch Pfeil-Tasten aufsuchen und mit rechter Taste auswählen.
- Messgröße „p“ mit der rechten Punkt-Taste auswählen
- „Offset korrigieren“ anwählen und den Druckwert zu $\rightarrow 0$ setzen
- Zur Druckanzeige zweimal „zurück“ (linke Punkt-Taste) betätigen

4. Versuchsdurchführung

Schalten Sie das Gebläse bei minimaler Drehzahleinstellung ein und erhöhen die Drehzahl feinfühlig bis der Differenzdruck zwischen den Messpunkten d und a den Wert von ca. 1 hPa erreicht (zur Messpunktnotation siehe Abb. 2).

Messen und protokollieren Sie den Differenzdruck zwischen dem Messpunkt d und den Messpunkten a, b, c sowie e, f, g.

Wiederholen sie die Messungen für einen Anfangs-Differenzdruck von ca. 3 hPa und ca. 5 hPa zwischen dem Messpunkt d und dem Messpunkt a.

5. Auswertung

Berechnen Sie an jedem Messpunkt jeweils die Strömungsgeschwindigkeit und den Volumenstrom und notieren die Ergebnisse in einer Tabelle. Zeichnen Sie den Verlauf der Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Messpunktes in ein Diagramm. Diskutieren Sie Ihre Ergebnisse.

Literatur

- [1] Hering, Martin, Stohrer: Physik für Ingenieure, Springer-Lehrbuch
[2] Gerthsen Physik, Springer-Verlag