

V10 Kanalströmung

Stand 22.04.2013

1 Einführung

Pumpen werden zur Förderung unterschiedlicher Medien in ganz verschiedenen Anwendungen eingesetzt. Aufgrund der sehr hohen Anzahl der eingesetzten Pumpen repräsentieren diese ca. 11% des Energieverbrauches in Europa, was etwa 300 TWh entspricht. Zur Verbesserung des Wirkungsgrades sind Pumpenhersteller bestrebt, strömungstechnische Verluste in Pumpen sicher vorhersagen zu können und auf dieser Grundlage zu optimieren. Dafür werden auch numerische Methoden eingesetzt.

In Untersuchungen des Lehrstuhles Strömungsmaschinen wird gezeigt, dass die Abbildung von Rauheitseffekten maßgeblich zur Genauigkeit der Vorhersagen beiträgt. Zur Weiterentwicklung numerischer Methoden wird der Einfluss der Oberflächenrauheit auf eine turbulente Kanalströmung untersucht. Die Ergebnisse dienen der Verbesserung des Verständnisses des Rauheitseinflusses und als Grundlage für spätere Validierungen der numerischen Methoden.

2 Versuchsbeschreibung

Inhalt des Versuches ist die Bestimmung der Strömungsverluste in einer turbulenten Strömung durch einen Rechteckkanal (Abbildung 1). Die Teststrecke ist in einem geschlossenen Kreislauf (Abbildung 2) installiert und besitzt die Abmessung 200mm x 15mm x 1100mm (BxHxL). Die Bodenplatte der Teststrecke ist austauschbar, wodurch unterschiedliche Rauheiten untersucht werden können.

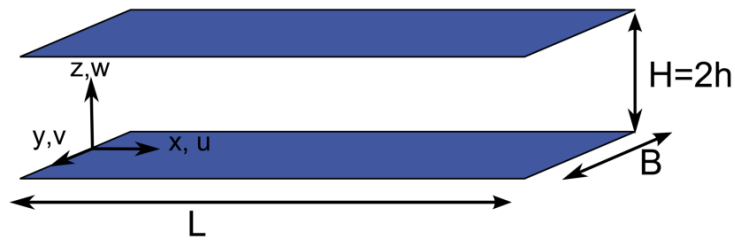


Abbildung 1 Schematische Darstellung der Teststrecke

Eine Pumpe fördert das Arbeitsmedium (Wasser) aus einem Reservoir in einen Tank. Ein Teil des Fluids strömt durch einen Rücklauf zurück in das Reservoir, der andere Teil gelangt über das Überlaufwehr in die Messstrecke. Zur Strömungskonditionierung befinden sich stromauf der Teststrecke eine Beruhigungsstrecke und eine Düse. Die Strömungsgeschwindigkeit in der Messstrecke ergibt sich aus den Strömungsverlusten und wird über die Verstellung eines Ventils zwischen Ablauftank und dem Reservoir gesteuert.

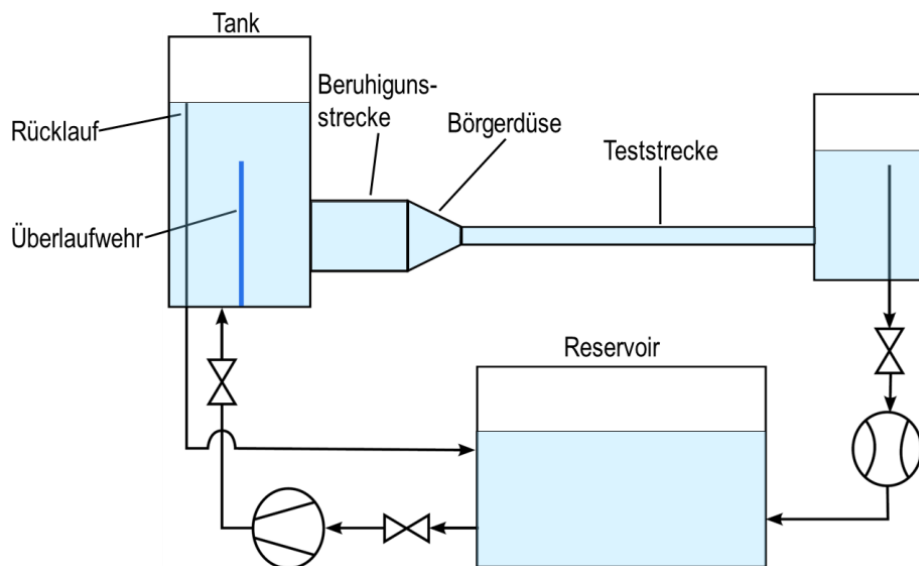


Abbildung 2 Skizze des Kreislaufes

Der Volumenstrom \dot{V} wird mit einem magnetisch-induktiven Durchflussmessgerät bestimmt ([Endress+Hauser Promag 10D50](#)). Die Fluidtemperatur wird mit einem PT100 Widerstandsthermometer gemessen (Genauigkeitsklasse 1/10 DIN B). Der Druckverlauf in Strömungsrichtung wird mit zehn in der Kanalmitte angebrachten Schrägrohrmanometern (Winkel 30° , Abstand 0,1m) bestimmt.

3 Versuchsdurchführung

In der Messstrecke ist eine turbulente Strömung zu erzeugen. Dafür muss für die Reynolds-Zahl Re gelten

$$Re_{D_h} = \frac{\bar{u} \cdot \phi \cdot D_h}{\nu} > 3000$$

In der Gleichung beschreiben $\bar{u} = \frac{\dot{V}}{A}$ (\dot{V} : Volumenstrom, A: durchströmte Fläche) die mittlere Geschwindigkeit, $D_h = \frac{4A}{U}$ (U: benetzter Umfang) den hydraulischen Durchmesser und ν die kinematische Viskosität des Fluids. Der Formfaktor ϕ wird von Jones zur Korrektur der Reynolds-Zahl von Rechteckkanälen vorgeschlagen und ergibt sich zu

$$\phi = \frac{2}{3} + \frac{11H}{24B} \left(2 - \frac{H}{B} \right).$$

Quelle: Jones, D. C., JR. (1976): An improvement in the calculation of turbulent friction in rectangular ducts. In: *Journal of Fluids Engineering* 98 (2), S. 173–180.

Das Geschwindigkeitsprofil am Düsenausgang beschreibt ein Blockprofil. Die Strecke, die zur Ausbildung einer ausgebildeten Strömung benötigt wird, heißt hydraulische Einlaufänge.

Nehmen Sie bei zwei Reynolds-Zahlen in jeweils mindestens 10 Messreihen den Druckverlauf, den Volumenstrom und die Fluidtemperatur auf. Nach Möglichkeit soll auch die Wandschubspannung mit Wandschubspannungswaagen gemessen werden.

4 Auswertung

Im Anschluss an das Praktikum sind die Messdaten auszuwerten und folgende Kenngrößen zu bestimmen:

1. Bestimmen Sie mithilfe der Temperatur die Stoffdaten Dichte und Viskosität. Verwenden Sie für die Viskosität ein Ausgleichspolynom 3. Ordnung.
2. Zeichnen Sie den Verlauf des Druckes und des Druckgradienten in Abhängigkeit der Reynolds-Zahl über die normierte Lauflänge $\frac{x}{H}$ in ein Diagramm. Diskutieren Sie die Übereinstimmung mit Literaturwerten.
3. Berechnen Sie die Rohrreibungszahl λ der ausgebildeten Strömung unter Verwendung der Darcy-Weißbach-Gleichung:

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{D_h} \frac{\rho}{2} \bar{u}^2$$

4. Tragen Sie die Rohrreibungszahlen in das Moody-Diagramm ein. Welches Rauheitsregime liegt vor?
5. Ermitteln Sie aus dem Druckverlauf den Wandschubspannungsverlauf $\tau_w = f\left(\frac{x}{H}, Re, k_s\right)$. Diskutieren Sie gegebenenfalls die Übereinstimmung mit der Messung mittels Wandschubspannungswaage.
6. Ermitteln Sie aus dem Druckverlauf die Länge L_E der hydraulischen Einlaufstrecke.
7. Bestimmen Sie den Druckverlustbeiwert ζ_E des Einlaufvorgangs

$$\Delta p = \zeta_E \cdot \frac{\rho}{2} u^2$$

8. Bestimmen die äquivalente Sandrauheit k_s unter Verwendung der Haaland-Gleichung:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -1,8 \cdot \log\left(\left(\frac{k_s}{3,7 \cdot D_h}\right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re_{D_h}}\right)$$

Berücksichtigen Sie bei der Auswertung, dass lediglich ein Teil der Oberflächen des Kanals hydraulisch rau ist, die Messergebnisse jedoch über den ganzen Umfang gemittelt sind.

Führen Sie für die Rohrreibungszahl und den Wandschubspannungsverlauf eine Betrachtung der Unsicherheit (früher Fehlerbetrachtung) durch. Ermitteln Sie dafür zunächst von den unabhängigen Messgrößen aus denen λ und τ_w bestimmt werden die systematischen und zufälligen Fehler.

Die systematische Unsicherheit u_s wird durch die Genauigkeitsangabe der Messgeräte vom Hersteller angegeben. Die zufällige Unsicherheit u_z wird aus einer statistischen Auswertung der Messdaten (n Werte) gewonnen:

Arithmetischer Mittelwert:
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Standardabweichung:
$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Resultierende zufällige Messunsicherheit (95% Sicherheit, Student-Verteilung):

$$u_z = \left(1 \pm \frac{t}{\sqrt{n}}\right) \cdot s \text{ mit } t_{n=10} = 2,228$$

Die Gesamtunsicherheit einer Messgröße ergibt sich aus der Summe der systematischen und zufälligen Unsicherheit:

$$u = \pm \left(|u_s| + |u_z|\right)$$

Die Angabe einer Messgröße erfolgt schließlich aus Mittelwert und absolute, oder relativer Unsicherheit:

$$\bar{x} \pm u, \text{ oder } \bar{x} \pm \frac{u}{x}$$

Der Mittelwert der gesuchten Funktion (λ, τ_w) ergibt sich aus den Mittelwerten der Messgrößen. Die Unsicherheit der Funktionen erfolgt mit dem Gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetz und ist als Größtfehler anzugeben. Nach dem linearen Fehlerfortpflanzungsgesetz ergibt sich die Unsicherheit $u(Y)$ der Funktion $Y = f(X_j)$ aus der Summe der partiellen Ableitungen der unabhängigen Größen X_j :

$$u(Y) = \pm \left(\sum_{j=1}^n \left| \frac{\partial Y}{\partial X_j} \cdot u(X_j) \right| \right)$$

Hinweis: zur leichteren Bestimmung ist mit relativen Größen zu arbeiten.

5 Vorbereitung

Zur Vorbereitung sind folgende Aufgaben zu lösen und spätestens 24h vor Beginn des Kolloquiums schriftlich per Mail an kay.juckelandt@uni-rostock.de zu schicken. Pro Gruppe reicht ein Exemplar aus.

1. Stellen Sie qualitativ den Druck- und Druckgradientenverlauf einer Kanalströmung mit Einströmvorgang in einem Diagramm dar. Begründen Sie die Verläufe. Wann ist eine Strömung in einem ebenen Kanal ausgebildet?
2. Schätzen Sie den Druckgradienten für die hydraulisch glatte Teststrecke bei einem Volumenstrom $\dot{V} = 200 \frac{l}{min}$ (Wassertemperatur $20^\circ C$) ab. Benutzen Sie zur Bestimmung des Rohrreibungsbeiwertes λ einen formelmäßigen Zusammenhang. Geben Sie den Rechenweg an.
3. Erläutern Sie das Messprinzip von Schräghrohrmanometern. Wie werden aus den Messwerten der Druckgradient und die Wandschubspannung bestimmt? Geben Sie wichtige Zusammenhänge an. Berechnen Sie die Wandschubspannung für die Strömung in Aufgabe 2.
4. Bestimmen Sie mit der Gaußschen Fehlerfortpflanzung die Messunsicherheit des Druckes p , wenn gilt

$$p = \rho gh.$$

Nehmen Sie folgende relativen Einzelunsicherheiten an: $u(\rho) = 1\%$, $u(g) = 0,5\%$, $u(h) = 3\%$

Volumenstrom, Temperatur und Wandschubspannung werden digital gespeichert. Bringen Sie einen USB-Stick für die Daten mit.

6 Literaturhinweise

Ein Teil der Literatur ist auf der Website des ITU hinterlegt.

6.1 Grundlagen

Schade, Heinz; Kameier, Frank; Kunz, Ewald (2007): Strömungslehre. 3. Aufl. Berlin [u.a.]: De Gruyter.

Monty, Jason Patrick (2005): Developments in smooth wall turbulent duct flows. Dissertation. The University of Melbourne, Melbourne <http://people.eng.unimelb.edu.au/montyjp/Thesis/thesis.pdf>

VDI-Wärmeatlas (2006). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-32218-4>

6.2 Experimentelle Messtechnik

Nitsche, Wolfgang; Brunn, André (2006): Strömungsmesstechnik. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin, Heidelberg. <http://dx.doi.org/10.1007/3-540-32487-9>

Eckelmann, H. (1997): Einführung in die Strömungsmesstechnik. Stuttgart: Teubner.

6.3 Fehlerrechnung

Ilberg, Waldemar; Krötzsch, Manfred; Geschke, Dieter (1992): Physikalisches Praktikum für Anfänger. 9. Aufl. Stuttgart ;, Leipzig: Teubner.

Skript Automatisierungstechnik in der Wasserwirtschaft, TU Dresden, Abschnitt 6: Messfehler