



INSTITUT FÜR STRÖMUNGSTECHNIK UND
THERMODYNAMIK

Lehrstuhl für Strömungsmechanik und
Strömungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Dominique Thévenin

Otto-von-Guericke-Universität

Magdeburg

Universitätsplatz 2

D-39106 Magdeburg

Telefon: (0)391-67-18570

Sekretariat: (0)391-67-18654

Telefax: (0)391-67-12840

E-Mail: Thevenin@ovgu.de

www.uni-magdeburg.de/isut/LSS

Datum:

17.04.2012

Ihr Zeichen, Ihre Nachricht vom:

Unsere Zeichen:

Bericht zum Projekt

Untersuchung der Strömungsvorgänge an einer Staudrucksonde

Bearbeiter: Dr.-Ing. R. Bordás
Dr.-Ing. B. Wunderlich

Magdeburg, 17.04.2012

1. Einführung und Gesamtziel

Auszug:

Bestimmung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit bzw. des Massen- und Volumenstromes in Rohrleitungen und Kanälen. Derartige Messungen sind in weiten Bereichen der Industrie von außerordentlicher Bedeutung. Da hier auch hochgenaue und zertifizierte Messungen vorzunehmen sind, spielt die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messanordnung eine große Rolle. Um dem gerecht werden zu können, müssen die genauen Strömungsvorgänge am Mess-Sensor bekannt sein. Aus diesen Kenntnissen lassen sich Aussagen ableiten, ob und welche Korrekturfaktoren notwendig sind und es ergeben sich Hinweise für die optimale Gestaltung der Sonde.

Vorrangiges Ziel dieses Forschungsprojektes war es daher, die Geschwindigkeits- und Turbulenzgradverteilung (Wirbelbildung), insbesondere im Nachlaufbereich der Sonde, durch eine optische, also nichtinvasive Messmethode örtlich hoch aufgelöst zu erfassen.

2. Durchführung der Messungen

Zum Einsatz kam die Particle Image Velocimetry (PIV), ein anerkanntes optisches Feld-Messverfahren mit hoher räumlicher Auflösung, hier in zweidimensionaler Ausführung. Der schematische Messaufbau ist der Abbildung 1 zu entnehmen.

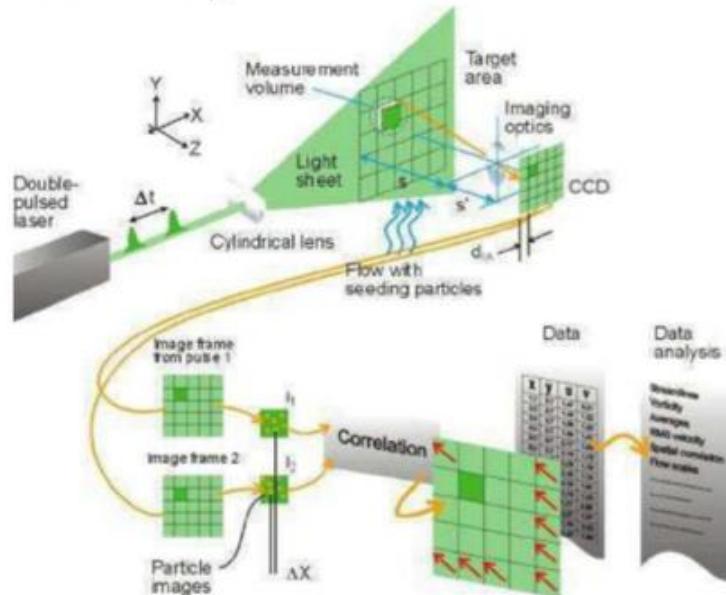


Abbildung 1: PIV schematisch (Quelle: DANTEC Dynamics)

Hierbei wird ein Laserstrahl in einer Ebene aufgeweitet und damit eine dünne Schicht in der Strömung kurzzeitig ausgeleuchtet (Laserlichtschnitt). Die in dieser Ebene der Strömung befindlichen Teilchen (Tracer) leuchten auf und werden mit einer orthogonal oder im stumpfen Winkel zu dieser Ebene angeordneten Kamera aufgenommen. Das Ergebnis ist ein Bild mit vielen hellen Punkten. Diese Prozedur wird in einem kurzen Zeitabstand (30 μ s) wiederholt. Zwischen beiden Bildern ist eine Verschiebung der Punkte festzustellen, die per Software durchgeführte Auswertung dieser Verschiebungen ergibt Geschwindigkeitsvektoren in der ausgeleuchteten Ebene. Da der Laser (oder auch 2 Laser) eine Zeit benötigt, um seine volle Leistung wieder zu erlangen, vergeht von einem Bildpaar zum nächsten eine bestimmte Zeit, im vorliegenden Fall 1/10 Sekunde. Eine ausführliche Beschreibung des Messverfahrens erfolgt auf der Website der Firma DANTEC Dynamics: <http://www.dantecdynamics.com/Default.aspx?ID=1049>

Abbildung 2 zeigt auf der linken Seite ein Foto von der Anordnung der Sonde im Windkanal und auf der rechten Seite die gewählte Messebene, die sich in Höhe der Druckmessbohrung befindet. Diese Darstellung wurde wegen der besseren Sichtbarkeit um 90° gedreht, tatsächlich liegt die Messebene horizontal im Windkanal.

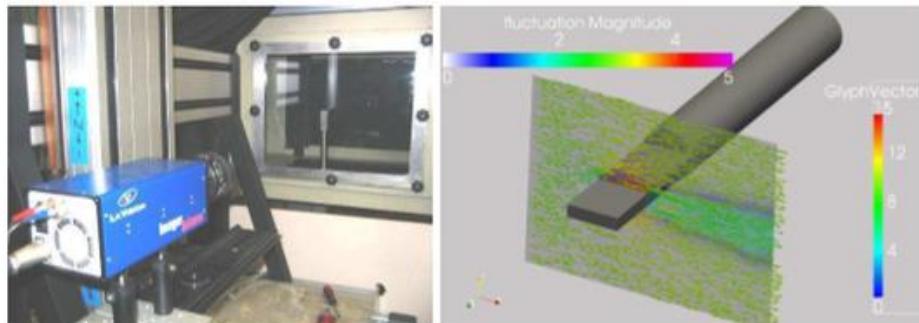


Abbildung 2:

Kamera- und Sondenanordnung (links), Position der Messebene an der Sonde (rechts).

Die Messungen erfolgten auftragsgemäß bei 30 m/s. Der Turbulenzgrad im Windkanal beträgt ohne Messobjekt $Tu \leq 0,5\%$ bzw. $Tu \leq 5 \cdot 10^{-3}$.

Aus den Abmaßen der Teststrecke ergibt sich ein hydraulischer Durchmesser $d_{hydr} = 0,545$ m. Die Reynoldszahl berechnet sich dann zu

$$Re = \frac{u_\infty \cdot d_{hydr}}{\nu} = \frac{30 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,545 \text{ m}}{1.71 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \approx 10^6$$

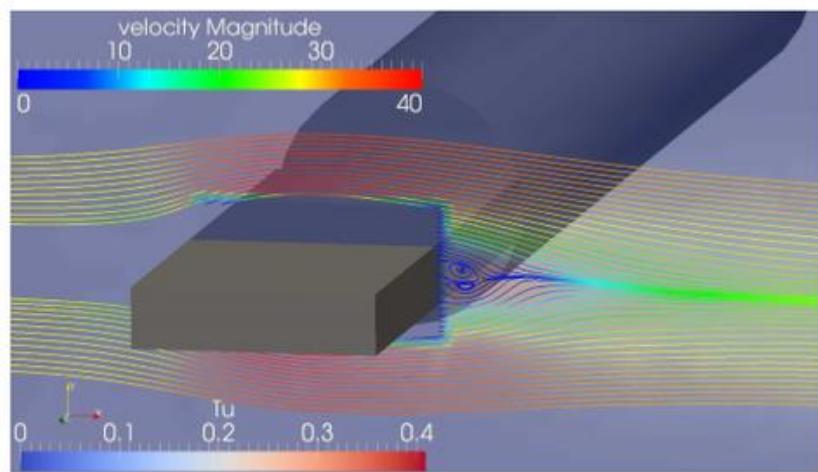
für die Strömung im Windkanal.

3. Messergebnisse

Abbildung 3 zeigt die Bahnlinien der Umströmung im Vergleich zwischen der Sonde des Auftraggebers a) und einer Vergleichssonde b).

Gleichzeitig ist der Betrag der Geschwindigkeitsverteilung ($[vel_{mag}] = \text{m/s}$) der Farbe der Bahnlinien und der Farbe des Hintergrundes ist die Turbulenzintensität ($[Tu] = [-]$) zu entnehmen.

a)



b)

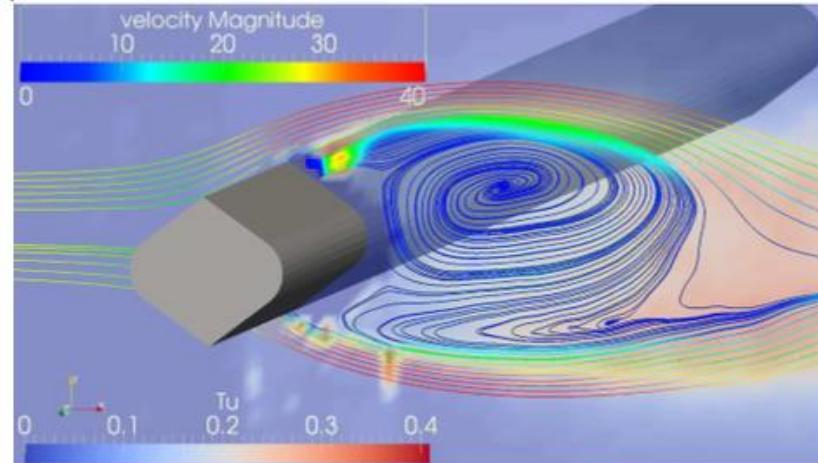


Abbildung 3:

Bahnlinien, Betrag der Geschwindigkeiten ($[vel_{mag}] = \text{m/s}$) (siehe Farbe der Bahnlinien) und Turbulenzintensität ($[Tu] = [-]$) (siehe Farbe des Hintergrundes)

a) Sonde des Auftraggebers b) Vergleichssonde

4. Schlussfolgerungen

Aus dem Flugzeugbau ist bekannt, dass eine hohe sogenannte Streckung der Tragfläche den durch Endwirbel hervorgerufenen induzierten Widerstand verringert. Die Streckung ist eine Kenngröße für die Schlankheit einer Tragfläche. Sie ist definiert als das Verhältnis des Quadrats der Flügelspannweite zur Flügelfläche oder alternativ auch als Verhältnis von Spannweite zur mittleren Tragflügeltiefe (*Seitenverhältnis*):

$$\Delta = \frac{b^2}{A} = \frac{b}{t}$$

mit Δ : Streckung
 b: Spannweite
 A: Flügelfläche
 t : mittlere Tragflügeltiefe

Besonders Segelflugzeuge weisen eine große Streckung auf und bieten somit einen geringen Strömungswiderstand.

Diese Aussage trifft aber auch für Wirbel zu, die sich an der Hinterkante eines umströmten Körpers ausbilden und die deshalb möglichst klein gehalten werden sollten. Die üblicherweise zylindrisch gestalteten Schäfte von Staudrucksonden sind aus dieser Sicht nicht besonders zweckmäßig, wenn auch einfacher zu fertigen.

Nicht nur der Strömungswiderstand, auch die Frequenz, mit der die Wirbel ablösen und die sogenannte Karman'sche Wirbelstraße bilden, ist wichtig wenn es um Schwingungen am umströmten Körper geht. Die daraus resultierenden Kräfte nehmen natürlich mit der Größe der Wirbel zu.

Aus den durchgeführten Messungen geht hervor, dass es gegenüber der Vergleichssonde nur ein sehr kleines Rezirkulationsgebiet an der Hinterkante der Sonde des Auftraggebers gibt.

5. Zusammenfassung

Die Aufgabe, Verteilungen der Geschwindigkeits- und Turbulenzintensität bei der Umströmung einer Staudrucksonde zu messen, konnte mit der Particle Image Velocimetrie gelöst werden. Die Anströmgeschwindigkeit im Windkanal mit niedrigem Turbulenzgrad und gleichmäßiger Geschwindigkeitsverteilung im Messquerschnitt betrug 30 m/s.

Im Anström- und Seitenbereich der Pöttersonde sind keine Verwirbelungen festzustellen, lediglich im Nachlauf der Sonde gibt es ein kleines Rezirkulationsgebiet. Die Turbulenzintensität liegt hier um 2,5% und die turbulente kinetische Energie um $90 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Beide sind als sehr gering einzuschätzen. Hieraus resultierende negative Auswirkungen auf das Messergebnis und auf die Standfestigkeit der Sonde sind unwahrscheinlich.

Der Betrag der Geschwindigkeit setzt sich aus den beiden Komponenten in x- und in y-Richtung zusammen (zweidimensionale Messung):

$$vel_{mag} = \sqrt{u^2 + v^2}$$

wobei u , die Geschwindigkeits-Komponente in Hauptströmungsrichtung (x-Richtung) und v die vertikale Komponente (y-Richtung) ist.

Bei der Bestimmung der Turbulenzintensität wird von Isotropie in y-Richtung und z-Richtung ausgegangen, so dass sie zu berechnen ist aus

$$Tu = \sqrt{\frac{u_{RMS}^2 + 2 \cdot v_{RMS}^2}{3}}$$

wobei u_{RMS}^2 , die Varianz der Geschwindigkeits-Komponenten in Hauptströmungsrichtung (x-Richtung) und v_{RMS}^2 die Varianz der vertikalen Komponenten (y-Richtung) darstellt.

Bestimmt wurde schließlich noch die turbulente kinetische Energie:

$$TKE = \frac{u_{RMS}^2 + 2 \cdot v_{RMS}^2}{2}$$

und in der Abbildung 4 oben grafisch dargestellt, links für die Sonde des Auftraggebers, rechts für die Vergleichssonde. Erwartungsgemäß ergeben sich daraus ähnliche Bilder wie bei der Verteilung der Turbulenzintensität, die darunter dargestellt wurde.

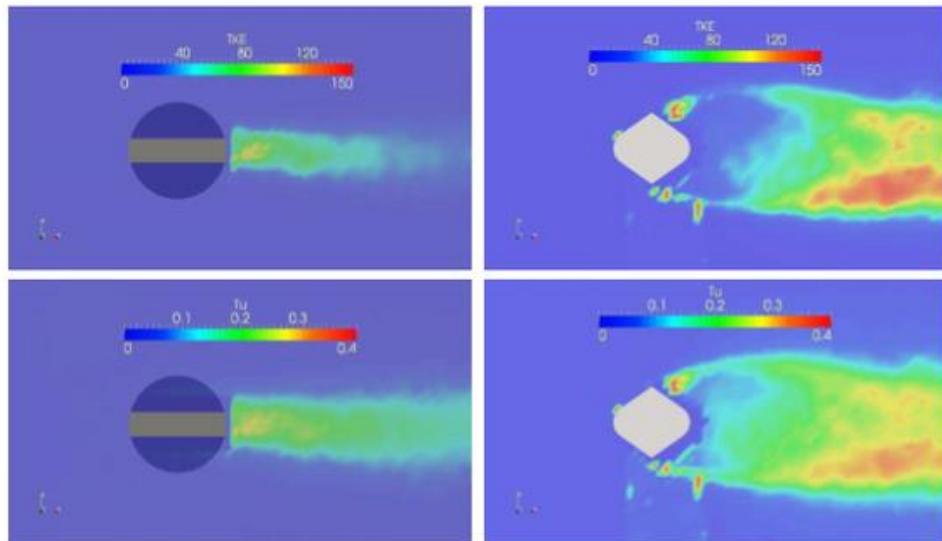


Abbildung 4:

Verteilung der turbulenten kinetischen Energie ($[TKE] = \text{m}^2/\text{s}^2$) und der Turbulenzintensität.
 links: Sonde des Auftraggebers rechts: Vergleichssonde