

LDA-Anwendung zu Freistrahlmessungen bei einem Pelton-Turbine-Modell mit der Fallhöhe von 90 Metern

Zh. Zhang, C. Bissel^{*}, E. Parkinson^{*}

Fluid Technology
Sulzer Innotec
CH-8401 Winterthur, Schweiz

^{*} VA TECH HYDRO, Schweiz

1. Einleitung

In experimentellen Untersuchungen von Freistrahlen bei Düsen der Pelton-Turbine zeichnet sich das LDA-Verfahren als ein sehr effektives Werkzeug aus [1, 2]. Der größte Vorteil des LDA-Verfahrens gegenüber den konventionellen Fotografien und Anwendungen von Pitot-Rohren ist die damit erzielbare hohe zeitliche und räumliche Auflösung der Strömungsverteilung im Freistrah. Im Gegensatz zu der Anwendung von Pitot-Rohren kann das LDA-Verfahren auch zur Messung der Strömung kurz nach dem Düsenaustritt eingesetzt werden, wo die Strömung sich noch in der beschleunigten Phase befindet. Der Einsatz des LDA-Verfahrens zur Messung von Freistrahlmessungen setzt voraus, dass Laserstrahlen durch die rauhe und wellige Oberfläche des Wasserstrahls ins Wasser dringen können. Dies wurde ermöglicht, indem ein bewegliches Keilstück aus Plexiglas die Oberfläche des Wasserstrahls durch leichte Benetzung glättete. Ein bedeutender Fortschritt bei LDA-Anwendungen in Freistrahlmessungen ist die Entwicklung des *Dualmessverfahrens*, mit dem die reale Drallkomponente im Freistrah exakt aufgelöst werden kann [2, 3]. Wie bereits in diesen beiden Referenzen gezeigt wurde, entsteht die Drallkomponente im Freistrah durch asymmetrische und drehungsbehaftete Strömungen am Düsen Eintritt. Obwohl die Drallkomponente im Freistrah gegenüber der axialen Komponente um einige Größenordnungen kleiner ist, ist sie die Hauptursache für die Instabilität des Freistrahls und die anderen Störeffekte.

LDA-Messungen des Freistrahls von Pelton-Turbinen wurden bisher für Fallhöhen von maximal 30 Metern (Druck vor der Düse) durchgeführt. Für diese Fallhöhe ergibt sich eine maximale Strahlgeschwindigkeit von etwa 24 m/s. Der Erfolg der LDA-Messungen unter diesen Bedingungen gilt als Voraussetzung für den Einsatz des Verfahrens bei höheren Fallhöhen. Die Messungen gelten auch für Referenzen für numerische Simulationen vom Freistrah [4, 5].

In der vorliegenden Arbeit werden einige Ergebnisse von Messungen an einem Modellprüfstand für Pelton-Turbinen der Firma VA TECH HYDRO vorgestellt. An diesem

Prüfstand kann die Fallhöhe bis auf 90 Meter variiert werden. Deswegen kann dieser Prüfstand dazu eingesetzt werden, Freistrahlen aus verschiedenen Düsen bei unterschiedlichen Fallhöhen zu charakterisieren und zu vergleichen.

2. Experimenteller Aufbau

2.1 Prüfstand

Der Modellprüfstand der Pelton-Turbine ist eine 6-düsige Pelton-Turbine mit vertikaler Drehachse. Zum Zweck der Freistrahlmessungen wurde das Peltonrad demontiert, damit die LDA-Sonde im engen Gehäuseraum platziert werden konnte. Um das Betriebsverhalten beizubehalten, wurden alle sechs Düsen in Betrieb genommen. Während eine Düse gemessen wurde, wurden die Freistrahlen bei allen anderen 5 Düsen durch entsprechende Vorrichtungen nach unten abgelenkt. Abbildung 1 zeigt die Aufsicht der Pelton-Turbine mit 6 gleichen Düsen. Jede Düse hat eine Öffnung von $D_0=35.75 \text{ mm}$. Die konstante Nadeleinstellung entspricht einer normalen Betriebseinstellung. Der Durchfluss hängt von der eingestellten Fallhöhe ab, die in drei Schritten jeweils bei $H=30, 60$ und 90 Metern festgelegt wurde. Die theoretische Strahlgeschwindigkeit errechnet sich aus $u_0 = \sqrt{2gH}$.

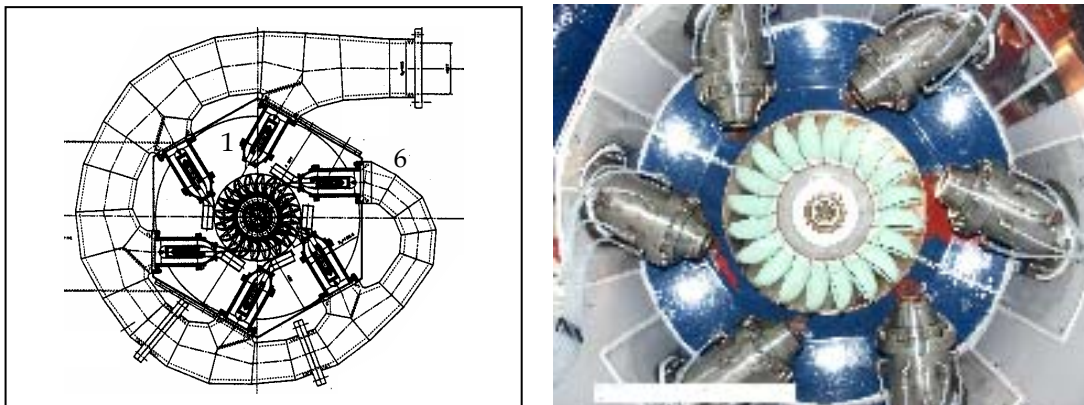


Abb. 1: Prüfstand der Pelton-Turbine (VA TECH HYDRO)

2.2 LDA-Verfahren

Damit die Strömung im Freistrahл der Pelton-Turbine mittels des LDA-Verfahrens gemessen werden kann, muss gewährleistet werden, dass die Laserstrahlen die raue Oberfläche des Freistrahls durchdringen können. Dazu wurde, wie in bisherigen Messungen, ein Keilstück aus Plexiglas so am Freistrahл positioniert, dass es gerade benetzt wird (Abb. 2). Die dadurch entstandene Störung am Freistrahл ist minimal

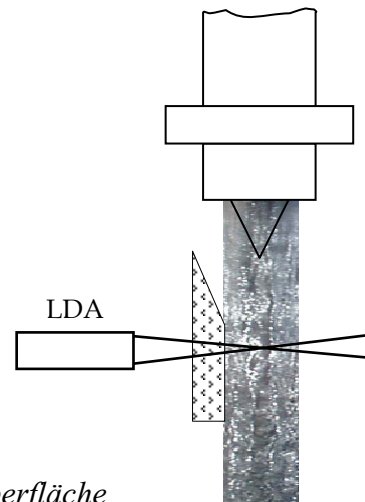


Abb. 2: Methode zum Glätten der Freistrahloberfläche

und beschränkt sich auf den Randbereich. Die Strömung unter dem Keilstück kann als Anströmung einer ebenen Platte betrachtet werden, wobei die Störung der Strömung im Freistrahls hauptsächlich die sich ausbildende Grenzschicht auf dem Keil ist. An der Stelle des Laserstrahldurchtritts durch den Plexiglas-Keil beträgt die Grenzschichtdicke nur ~ 0.1 mm. Das Anordnen des Keilstückes nach Abb. 2 ermöglicht zugleich zwei-komponentige LDA-Messungen.

Das verwendete DANTEC LDA-System ist mit einer kleinen LDA-Sonde von $\phi = 27$ mm ausgerüstet, die dem DANTEC -Standard entspricht. Mit natürlichen Partikeln im Wasser konnten die Datenrate bei 1-2 kHz erreicht werden.

3. Messergebnisse

3.1 Strömungsverteilung im Freistrahls

Aus Messungen bei verschiedenen Fallhöhen konnten qualitativ ähnliche Strömungsverteilungen im Freistrahls festgestellt werden. Für die Fallhöhe $H=90$ m zeigt die Abbildung 3 sowohl für axiale (u_z) als auch für tangentielle (u_r) Geschwindigkeiten, wobei die Komponenten mit u_0 und die radiale Koordinate mit R_0 (Radius der Düsenöffnung) normiert sind. Die dargestellten Geschwindigkeitsprofile beziehen sich auf die Düse Nr. 6 (siehe Abb. 1) und wurden an zwei verschiedenen Stellen längs des Strahls gemessen.

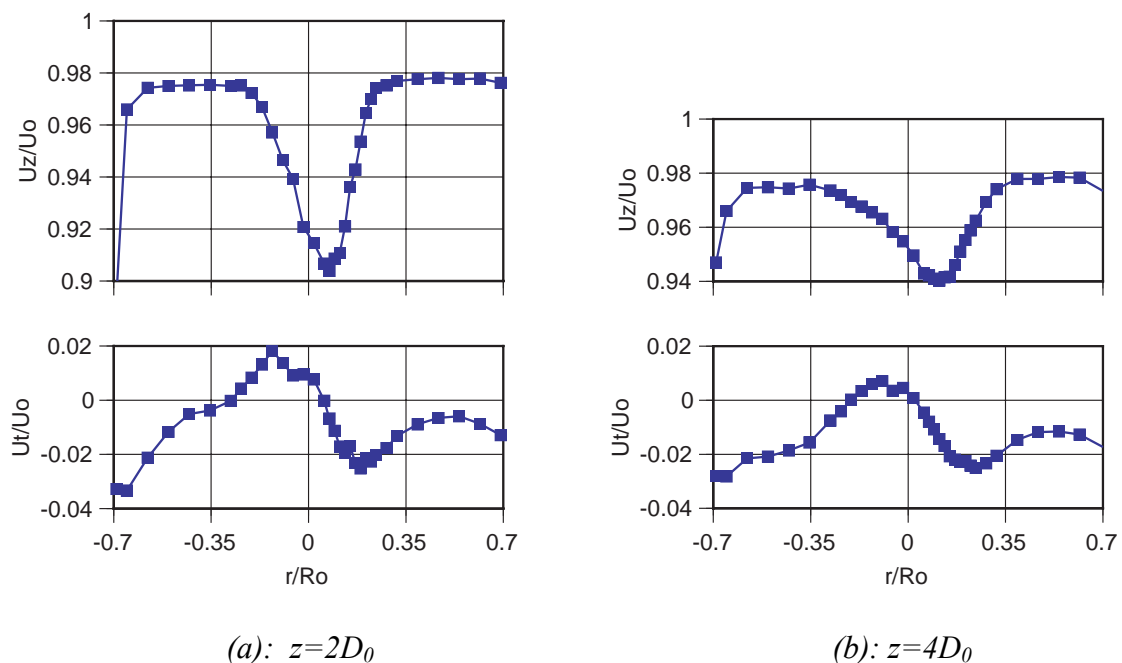


Abb. 3: Strömungsverteilungen im Freistrahls bei der Fallhöhe 90 m, gemessen bei der Düse Nr. 6 an zwei verschiedenen Stellen längs des Freistrahls jeweils bei $2D_0$ und $4D_0$

13.4

Wie man aus den Messergebnissen sieht, sind die Strömungen im Freistrahл nicht axial-symmetrisch. Eine Abweichung des Strahlkerns mit einer Geschwindigkeitsdelle von der Düsenachse lässt sich erkennen. Diese Abweichung ist auf die interne Sekundärbewegung des Fluides im Freistrahл zurückzuführen. In der Tat bewirkt die asymmetrische Sekundärströmung im Freistrahл eine Querverschiebung des Strahlkerns in der entsprechenden Richtung. Die in Abb. 3 ersichtlichen Verschiebungen stellen lediglich die Komponenten dieser räumlichen Verschiebung in entsprechenden Messtraversen dar. Die räumliche Orientierung und der Betrag der Strahlkernverschiebung lassen sich im nächsten Abschnitt bestimmen.

3.2 Verschiebung des Strahlkerns im Freistrahл

Infolge der Sekundärströmung im Freistrahл verschiebt sich der Strahlkern in der Richtung der Sekundärströmung. Diese Verschiebung deutet auf eine interne Bewegung des Fluides im Freistrahл hin. Zur Bestimmung der Strahlkernverschiebung mit der räumlichen Orientierung sind zwei Messungen aus unterschiedlichen Umfangsrichtungen notwendig, wie dies in Abb. 4 dargestellt ist.

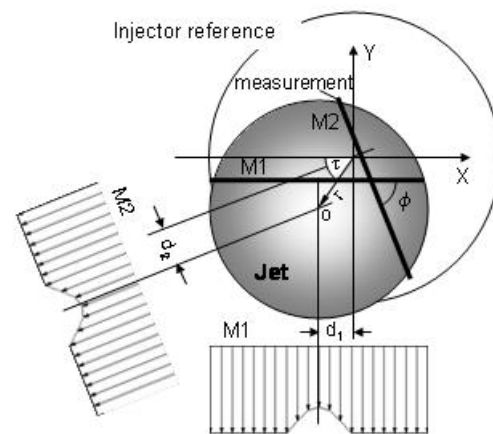


Abb. 4: Methode zur Bestimmung der Strahlkernverschiebung

In der Abbildung ist der Strahlkern mit einer Verschiebung von \vec{r} von der Referenzachse der Düse eingezeichnet worden. Aus zwei Messungen (M1 und M2), die auf das Koordinatensystem der Düse (x-y-System) bezogen sind, können jeweils Komponenten d_1 und d_2 der Verschiebung \vec{r} abgelesen werden. Der Verschiebungsbetrag r und die Orientierung τ werden folgendermaßen bestimmt.

Die aus Messungen ermittelten Verschiebungskomponenten d_1 und d_2 hängen mit r und τ wie folgt zusammen:

$$d_1 = r \cdot \cos \tau \quad (1)$$

$$d_2 = r \cdot \sin[\tau - (90 - \phi)] = -r \cdot \cos(\tau + \phi) \quad (2)$$

Daraus ergibt sich:

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{-\cos(\tau + \phi)}{\cos \tau} = -\cos \phi + \tan \tau \sin \phi \quad (3)$$

Der Orientierungswinkel τ kann dann aus Gl. (3) bestimmt werden:

$$\tan \tau = \frac{d_2/d_1 + \cos \phi}{\sin \phi} \quad (4)$$

Aus Gleichung (1) lässt sich der Betrag der Verschiebung r berechnen durch

$$\frac{r}{d_1} = \frac{1}{\cos \tau} = \sqrt{1 + \tan^2 \tau} \quad (5)$$

Unter Berücksichtigung der Gleichung (4) ergibt sich schließlich

$$\frac{r}{d_1} = \frac{1}{\sin \phi} \sqrt{1 + (d_2/d_1)^2 + 2 d_2/d_1 \cos \phi} \quad (6)$$

Für zwei Messungen mit $\phi = 90^\circ$ vereinfacht sich die Berechnung auf:

$$\tan \tau = d_2/d_1 \quad (7)$$

und

$$\frac{r}{d_1} = \sqrt{1 + (d_2/d_1)^2} \quad (8)$$

Die Aus obiger Methode bestimmten Strahlkernverschiebungen zeichnen sich als sehr zuverlässig aus. Wegen der komplexen Sekundärströmung im Freistrahle verändert sich die Orientierung (τ) der Strahlkernverschiebung längs der Strahlachse stark. Der Verschiebungsbetrag r ändert sich jedoch linear mit dem Abstand z vom Düsenaustritt, so dass der konstante Abweichungswinkel des Strahlkerns bestimmt werden kann.

Die Strahlkernverschiebung, die oben behandelt wurde, zeichnet sich als eine interne Verschiebung des Strahlkerns innerhalb des Freistrahles und ist auf die Sekundärbewegung des Fluides zurückzuführen. Sie repräsentiert jedoch nicht die Abweichung des gesamten Freistrahls von der Düsenachse. Die Letztere dürfte viel kleiner als die Strahlkernverschiebung sein und muss aus einem anderen Verfahren bestimmt werden.

4. Zusammenfassung

Im Anschluss an frühere Untersuchungen von Freistrahlen bei Fallhöhen bis 30 Meter wurden Freistrahlen bei Fallhöhen bis 90 Meter mittels des LDA-Verfahrens

13.6

untersucht. Die Untersuchungen von Freistrahlen sind an einem Prüfstand einer Pelton-Turbine durchgeführt worden. Dies ermöglicht den direkten Vergleich von Strömungen bei allen sechs vorhandenen Düsen. Messungen haben gezeigt, dass Freistrahlen stark von den Sekundärströmungen geprägt sind. Die Strömungsstrukturen bei verschiedenen Fallhöhen bleiben jedoch ähnlich. Die Sekundärströmung im Freistrahle beeinflusst einerseits die Stabilität des Freistrahls und bewirkt andererseits die interne Verschiebung des Strahlkerns. Alle diese Effekte sind in Hinsicht auf die Strahlqualität zu minimieren. Diesbezüglich haben die vorliegenden LDA-Messungen von Freistrahlen maßgebende Voraussetzungen geschaffen.

Danksagung

Der Autor bedankt sich sehr bei der Firma VA TECH HYDRO und hauptsächlich bei allen die, die auf dem Prüfstand diesen Messungen ermöglichen haben.

Literaturverzeichnis

- [1] **Zhang Zh; Muggli F; Parkinson E; Schärer C** (2000): Experimental investigation of a low head jet flow at a model nozzle of a Pelton turbine. *11. int. Seminar on Hydro Power Plants*, Vienna University of Technology. Vienna, Austria
- [2] **Zhang Zh; Parkinson E** (2001): Strömungsuntersuchungen am Freistrahle der Pelton-Turbine und Anpassen des LDA-Verfahrens. *9. GALA-Tagung*. Winterthur, Schweiz
- [3] **Zhang Zh; Parkinson E** (2002): LDA application and the dual-measurement-method in experimental investigations of the free surface jet at a model nozzle of a Pelton turbine. *11th. International Symposium on Applications of Laser Anemometry to Fluid Mechanics*. Lisbon, Portugal
- [4] **Parkinson E; Garcin H; Vuilloud G; Zhang Zh; Muggli F; Casartelli E** (2002): Experimental and numerical investigations of the free jet flow at a model nozzle of a Pelton turbine. *21th IAHR Symposium, Hydraulic Machinery and Systems*. Lausanne, Switzerland
- [5] **Parkinson E; Garcin H; Bissel C; Muggli F; Braune B** (2002): Description of Pelton flow patterns with computational flow simulations. Hydro 2002, Kiris, Turkey