

## VERSUCHSAUFBAU UND MESSERGEBNISSE ZUR STRÖMUNGSBEEINFLUSSUNG IN EINEM SAUGROHRMODELL

### TEST RIG AND RESULTS OF VORTEX CONTROL IN A DRAFT TUBE MODEL

**O. Kirschner, J. Grupp, H. Schmidt, A. Ruprecht**

Institut für Strömungsmechanik und Hydraulische Strömungsmaschinen

Universität Stuttgart

Pfaffenwaldring 10

70550 Stuttgart

e-mail: kirschner@ihs.uni-stuttgart.de, jgrupp@ihs.uni-stuttgart.de, hschmidt@ihs.uni-stuttgart.de,

ruprecht@ihs.uni-stuttgart.de

Schlagworte: Wirbelzopf, Saugrohr

Key words: vortex rope, draft tube

#### Zusammenfassung

Wasserkraftwerke mit Speicherseen werden in den letzten Jahren verstärkt zur Regelung der elektrischen Verbundnetze eingesetzt. Deshalb ist ein großer Betriebsbereich dieser Wasserkraftwerke und der Betrieb außerhalb des Optimums immer wichtiger. Aber eines der wichtigsten Probleme bei hydraulischen Turbinen ist der umlaufende Saugrohrwirbelzopf, besonders bei Francisturbinen in Teillast. Dies ist der Grund für das große Interesse der Ingenieure im Bereich hydraulischer Turbinen an der Vorhersage und Reduzierung der Auswirkungen des Wirbelzopfs in Saugrohren. Susan-Resiga et al 2006 (1-3) präsentierte einen neuen Ansatz zur Reduzierung bzw. Verhinderung des Saugrohrwirbelzopfs bei dem axial durch die Laufradnabe Wasser in das Saugrohr eingespritzt wird.

Für eine experimentelle Untersuchung dieser Reduzierungsmaßnahme wurde ein offener Versuchskreislauf errichtet. In diesem Versuchskreislauf werden Messungen mit einem vereinfachten geraden Saugrohr durchgeführt. Um die Wirbelzopfbewegung und die Wirkung der Maßnahme zu untersuchen wird der Wirbelkern mit Luft sichtbar gemacht. Zusätzlich werden Druckmessungen an der Saugrohrwand durchgeführt und die Axial- und Radialkomponente der Geschwindigkeit in einem Mittelschnitt mit PIV im geraden Diffusor erfasst.

Die Ergebnisse der Untersuchung sollen die Funktionsweise dieser Strömungsbeeinflussung verdeutlichen und die notwendigen Durchflüsse des eingespritzten Wassers für verschiedene Randbedingungen aufzeigen.

#### Einleitung

Seit der Liberalisierung des Strommarktes werden Speicherkraftwerke verstärkt zur Regelung der elektrischen Verbundnetze eingesetzt. Dadurch arbeiten die Turbinen und die Pumpturbinen häufig in Teillast und werden oft angefahren und abgestellt, siehe Nonoshita et al 1988. Außerhalb des Optimums der Turbine, also bei Teil- bzw. Überlast, erfolgt die Abströmung nach dem Laufrad mit einer Umfangskomponente. Diese Drallströmung führt insbesondere zur Vergrößerung des Nabentotwassers, an dessen Grenze zur Transport-

strömung sich ab einer ausreichenden Drallstärke ein umlaufender Wirbelzopf ausbildet. Der Wirbelzopf erzeugt eine umlaufende Druckschwankung. Neben den umlaufenden Druckschwankungen kann bei einem Ellenbogensaugrohr, mit 90° Umlenkung, durch Wechselwirkungen im Krümmungsbereich eine synchrone Druckschwankung, d.h. eine Schwankung des gemittelten Drucks in einem Saugrohrquerschnitt, entstehen. Diese synchrone Druckschwankung kann wegen ihrer niedrigen Frequenzen als eine Anregung auf das gesamte hydraulische System wirken. Als Konsequenz kann es sein, dass der Betriebsbereich des Kraftwerks eingeschränkt werden muss, siehe Ruprecht et al 2001, 2003.

In den vergangenen Jahren wurden verschiedene Einbauten und Modifikationen an Saugrohren und Turbinen durchgeführt, um die Entstehung des Wirbelzopfs zu verhindern oder die Auswirkungen des Wirbelzopfs zu minimieren. Die meisten Maßnahmen haben jedoch zur Folge, dass sich der Wirkungsgrad oder das Betriebsverhalten in anderen Betriebspunkten verschlechtert. In dem neuesten Ansatz wird Wasser durch die Laufradnabe axial in das Turbinensaugrohr eingespritzt, siehe Susan-Resiga et al 2006 (1-3). Da das Axialgeschwindigkeitsprofil am Eintritt des Saugrohrs für die Entstehung des Wirbelzopfs entscheidend ist, kann das Geschwindigkeitsprofil durch das eingespritzte Wasser so geändert werden, dass die Entstehung des Wirbelzopfs vermieden werden kann. Diese Maßnahme hat den Vorteil, dass sie durch ein Ventil abgeschaltet werden kann und somit nur in dem betroffenen Betriebsbereich wirkt, alle anderen Betriebspunkte werden nicht beeinflusst.

### Versuchsaufkreislauf

In früheren Arbeiten wurde die PIV-Messung der Geschwindigkeit in einem vereinfachten geraden Saugrohr einer Modell-Pumpturbine vorgestellt, siehe Kirschner 2006 bzw. Kirschner et al 2007. Da die notwendigen konstruktiven Änderungen des Pumpenturbinen-Versuchsstands sehr aufwändig wären, wurde für die Untersuchung der Strömungsbeeinflussung der Saugrohrströmung durch axial eingespritztes Wasser ein neuer vereinfachter Versuchskreislauf errichtet.

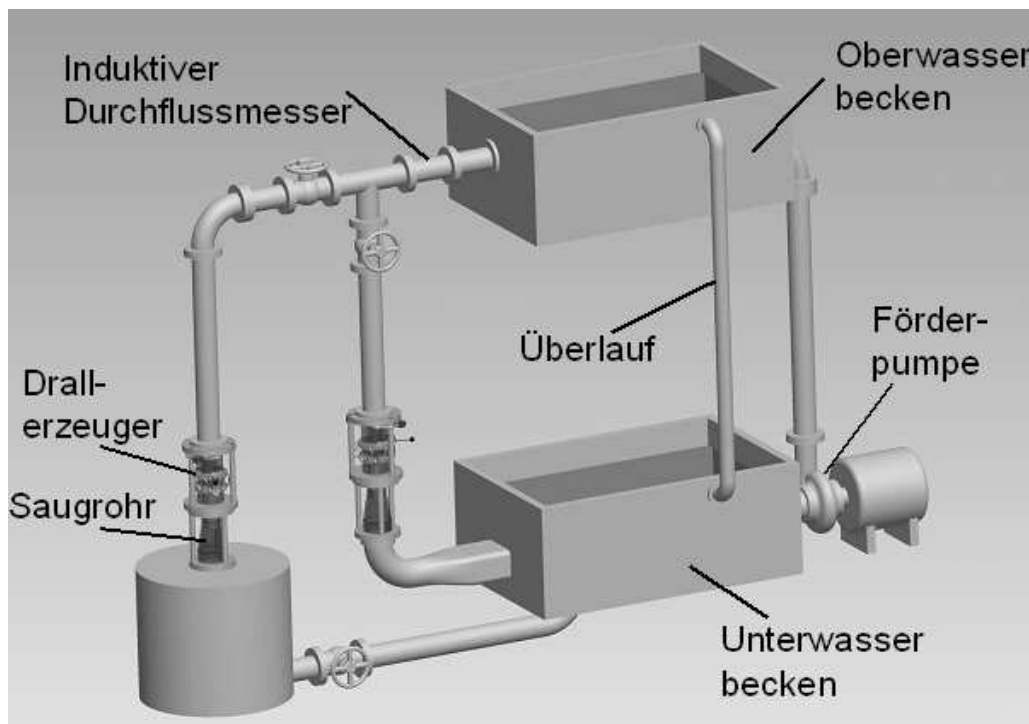


Abb. 1: Schema des Versuchskreislaufs

Eine Versorgungspumpe fördert Wasser vom Unterwasserbecken in den oberen Behälter. Durch einen Überlauf wird dort der Wasserspiegel konstant gehalten. Vom Oberwasserbehälter fließt das Wasser durch einen magnetisch induktiven Durchflussmesser zu einer Versuchstrecke. Mit Hilfe von zwei Armaturen kann zwischen einer Versuchstrecke mit einem Drallerzeuger und einem Ellenbogensaugrohr und einer Versuchstrecke mit Drallerzeuger und einem geraden Konus gewählt werden. Der Drallerzeuger ist eine vereinfachte Methode eine Drallströmung zu erzeugen, die die Dallströmung nach einem Turbinenlaufrad ersetzt. Diese Untersuchung wird in der Versuchstrecke mit dem geraden Saugrohr durchgeführt. Nach dem Saugrohr ist ein Behälter angebracht, von dem aus das Wasser in das Unterwasserbecken zurückfließt.

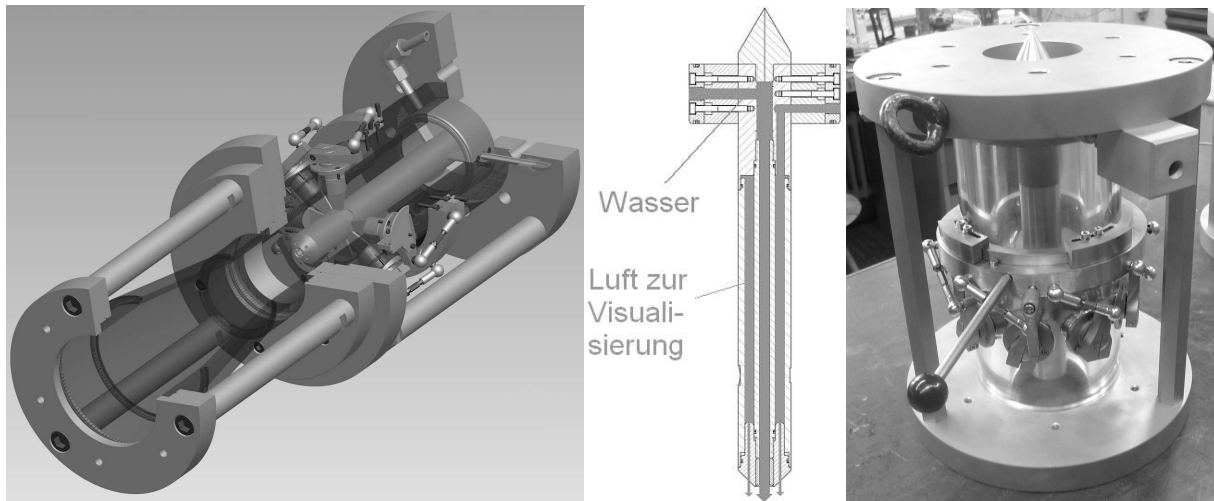


Abb. 2: links: Halbschnitt durch den Drallerzeuger und das gerade Saugrohr (Schmidt 2007);  
Mitte: Schnitt durch die Nabe des Drallerzeugers; rechts: Fotografie des Drallerzeugers

Der Drallerzeuger ist mit verstellbaren geraden Leitschaufeln ausgeführt, siehe Abb. 2 links. Der Drallerzeuger erzeugt hierbei die drallbehaftete Eintrittsströmung in das gerade Saugrohr. Durch die hohlgebohrte Nabe des Drallerzeugers kann Wasser axial im Zentrum eingespritzt werden, siehe Abb. 2 Mitte. Zusätzlich kann durch die Drallerzeugernabe Luft in der Achsregion des Saugrohereintritts geleitet werden um den Wirbelzopf zu visualisieren. In Abb. 2 ist rechts eine Fotografie des Drallerzeugers abgebildet. Das Gehäuse des Drallerzeugers und der gerade Diffusor sind aus transparentem Acrylglas gefertigt, um die Zugänglichkeit für die laseroptischen Messverfahren zu gewährleisten. Das gerade Saugrohr hat einen Eintrittsdurchmesser von 80 mm und einen Austrittsdurchmesser von 130 mm. Damit ergibt sich bei einer Länge von 165 mm ein Öffnungswinkel des Konusses von  $2 \times 8,6^\circ$ .

### Durchführung und Auswertung der Messung

Im folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchung für die zwei Leitschaufelwinkel  $20^\circ$  und  $30^\circ$  des Drallerzeugers bei einem Durchfluss am Drallerzeugereintritt von  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  vorgestellt. Bei der Untersuchung werden Druckmessungen, inklusive Frequenzuntersuchungen und Visualisierungen, bei verschiedenen Durchflüssen der Einspritzung durchgeführt. Zusätzlich wird die Axial- und Radialkomponente der Geschwindigkeit in einem zentralen Längsschnitt mit PIV im geraden Diffusor, zur Untersuchung der Wirkungsweise dieses Ansatzes zur Beseitigung des Saugrohrwirbelzopfs, erfasst.

Für die Messungen wird ein konventionelles PIV-System eingesetzt. Als Seeding werden Polyamidpartikel der Dichte von  $1,016 \text{ g/cm}^3$  bei  $23^\circ\text{C}$  mit einer nahezu runden Kornform und einer mittleren Korngröße von  $22 \mu\text{m}$  verwendet. Die Auswertung der Messung erfolgt über

Kreuzkorrelation mit einem Auswertefenster von  $64 \times 64 \text{ Pixel}^2$  bei 50% Überlappung. Die Zeit zwischen zwei Belichtungen beträgt  $70 \mu\text{s}$ . Die hier präsentierten Vektorfelder enthalten die Mittelwerte von 5000 gemessenen Vektorfeldern.

Bei den Druckmessungen werden sowohl zeitlich gemittelte Druckmessungen zur Bestimmung des Druckrückgewinns als auch dynamische Druckmessungen zur Untersuchung der entstehenden Druckschwankungen durchgeführt. Die zeitlich gemittelte Druckdifferenz zwischen Saugrohrein- und austritt wird mit einem Differenzdruckaufnehmer erfasst. Bei der Auswertung wird mit dem Differenzdruck der Druckrückgewinnfaktor  $C_p$  nach der folgenden Formel bestimmt:

$$C_p = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot v_{\text{Eintritt\_Saugrohr}}^2}$$

Der Druckrückgewinnfaktor ist das Verhältnis der im Saugrohr umgewandelten Druckenergie bezogen auf die Geschwindigkeitsenergie (der mittleren Geschwindigkeit) am Saugrohreintritt. Dabei ist  $\Delta p$  die Druckdifferenz zwischen Saugrohraustritt und Saugrohreintritt,  $\rho$  die Dichte des Fluids und  $v_{\text{Eintritt\_Saugrohr}}$  die mittlere Geschwindigkeit am Saugrohreintritt. Die Geschwindigkeit am Saugrohreintritt wird aus der Summe des Durchflusses am Eintritt in den Drallerzeuger und aus dem Durchfluss durch die Einspritzung sowie der Querschnittsfläche des Eintritts bestimmt. Dazu wird der Durchfluss am Eintritt in den Drallerzeuger, wie bereits erwähnt mit einem magnetisch induktiven Durchflussmesser erfasst. Zur Messung des Durchflusses der eingespritzten Wassermenge kommt ein Schwebekörperdurchflussmesser zum Einsatz.

### Ergebnisse bei einem Leitschaufelwinkel von $20^\circ$

Im folgenden werden die Ergebnisse der Messung bei einem Leitschaufelwinkel des Drallerzeugers von  $20^\circ$  gegenüber der Axialrichtung und einem Durchfluss am Drallerzeugereintritt von  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  vorgestellt. Ein Foto des mit Luft visualisierten Wirbelzopfkerne ohne Wassereinspritzung im Drallerzeuger ist in Abb. 3 links dargestellt. In der Mitte von Abb. 3 ist ein Foto des mit Luft visualisierten Wirbelzopfkerne bei einer Einspritzung von  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$  abgebildet. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Wirbelzopf etwas stromabwärts verschoben ist. Bei einer Erhöhung des Einspritzdurchflusses auf  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$  ist kein Wirbelzopfkerne mehr zu erkennen (vgl. Abb. 3 rechts).

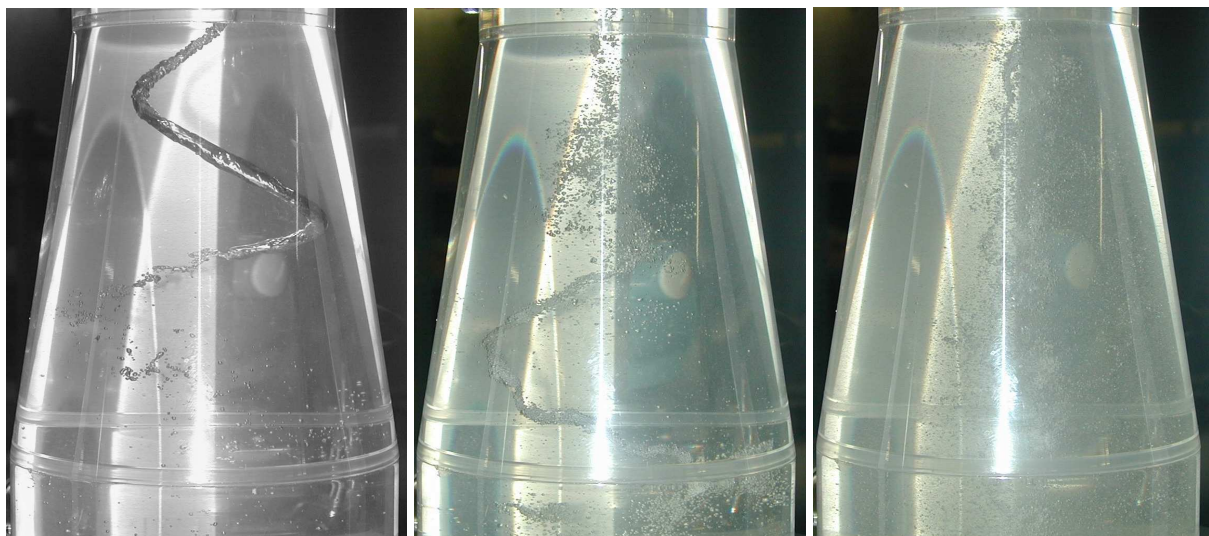


Abb. 3: Bilder des visualisierten Wirbelzopfkerne bei verschiedenen Einspritzdurchflüssen; links:  $Q_{\text{Einspritzung}} = 0,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ; Mitte:  $Q_{\text{Einspritzung}} = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ; rechts:  $Q_{\text{Einspritzung}} = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$

In Abb. 4 sind die drei Geschwindigkeitsvektorfelder der in Abb. 3 dargestellten Betriebsbedingungen aufgeführt. Links ist das Geschwindigkeitsvektorfeld bei Betrieb ohne Wassereinspritzung im Drallerzeuger, in der Mitte bei einer Einspritzung von  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$  und rechts bei einer Einspritzung von  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$  abgebildet. Im Originalzustand ohne Wassereinspritzung ist das sehr große Totwassergebiet im Saugrohrzentrum zu sehen, um das der Saugrohrwirbelzopf entsteht. Bei einer Einspritzung von  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$  Wasser ist zu erkennen, dass das Totwassergebiet etwas stromabwärts verschoben ist. Im Zentrum des Saugrohrenintritts ist eine höhere Geschwindigkeit durch den eingespritzten Wasserstrahl festzustellen. Bei einer Erhöhung des Einspritzdurchflusses auf  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$  löst sich das Totwassergebiet vollständig auf (vgl. Abb. 4 rechts).

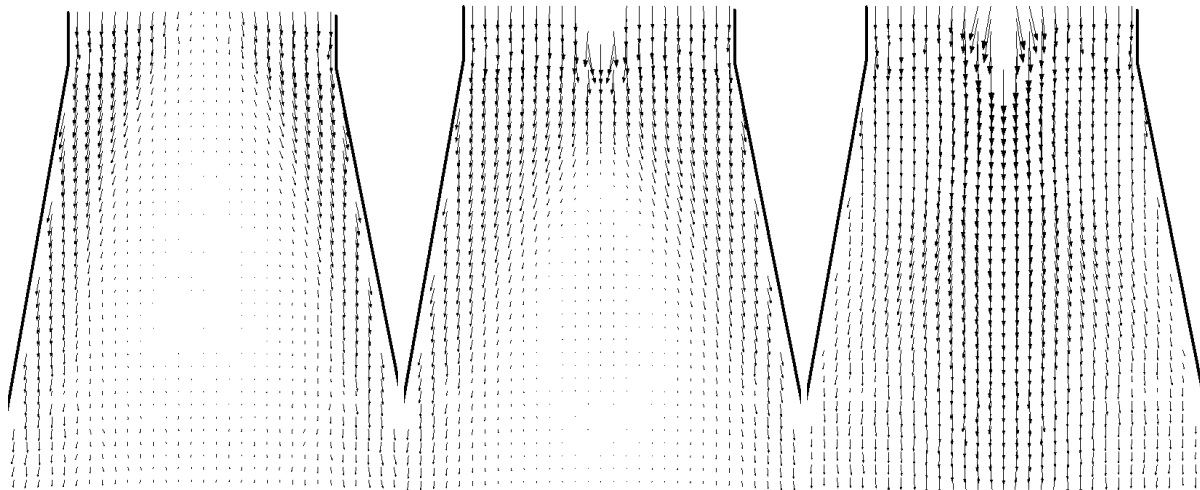


Abb. 4: Geschwindigkeitsvektorfelder bei verschiedenen Einspritzdurchflüssen; links:  $Q_{\text{Einspritzung}} = 0,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ; Mitte:  $Q_{\text{Einspritzung}} = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ; rechts:  $Q_{\text{Einspritzung}} = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$

In Abb. 5 ist links das Frequenzspektrum der Amplitude der Druckschwankung am Eintrittsquerschnitt für die beiden Einspritzdurchflüsse und den Originalzustand ohne Einspritzung dargestellt. Dabei ist eine deutliche Spitze im Originalzustand ohne Einspritzung bei einer Frequenz von ca.  $8,9 \text{ Hz}$ , welche der Umlauffrequenz des Wirbelzopfs entspricht, zu erkennen. Sowohl bei einer Einspritzung von  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$  als auch bei einer Einspritzung von  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$  ist diese Spitze nicht mehr zu erkennen.

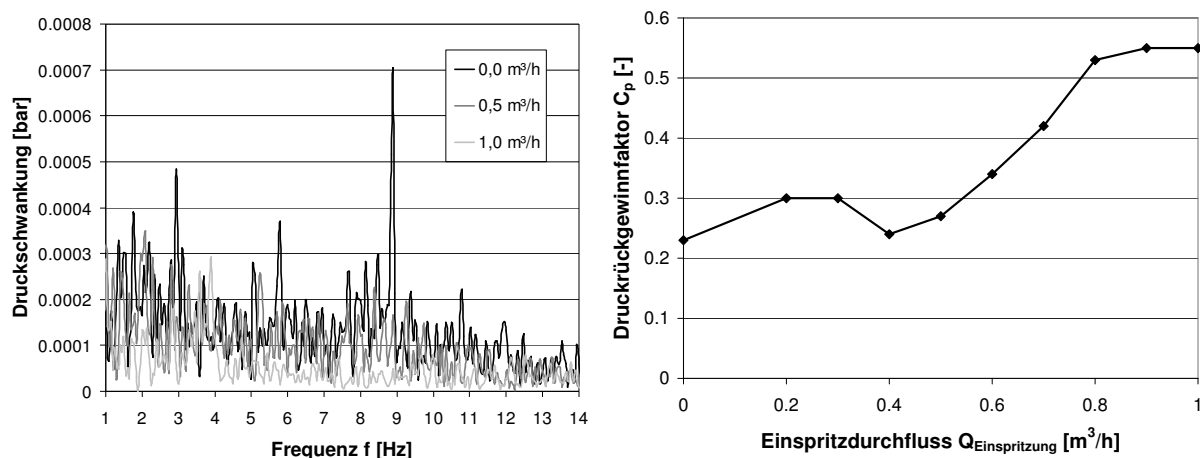


Abb. 5: links: Amplitude der Druckschwankung am Saugrohrenintritt bei verschiedenen Einspritzdurchflüssen; rechts: Druckrückgewinnfaktor über dem Einspritzdurchfluss

In Abb. 5 ist rechts der Druckrückgewinnfaktor über dem Einspritzdurchfluss aufgetragen. Der Druckrückgewinnfaktor steigt anfangs mit Erhöhung des Einspritzdurchflusses von ca. 0,24 leicht auf 0,3 an. Danach geht der Druckrückgewinnfaktor zwischen 0,3 m<sup>3</sup>/h und 0,4 m<sup>3</sup>/h wieder zurück auf ca. 0,24. Von 0,4 m<sup>3</sup>/h bis ca. 0,8 m<sup>3</sup>/h steigt der Druckrückgewinnfaktor sehr stark an und bleibt dann auf einem konstanten Wert von ca. 0,55. Bei einer gemeinsamen Betrachtung von Abb. 3, Abb. 4 und Abb. 5 ergibt sich die Schlussfolgerung, dass der Druckrückgewinn im Saugrohr mit Auflösung des Saugrohrwirbelzopfs deutlich zunimmt.

### Ergebnisse bei einem Leitschaufelwinkel von 30°

Im folgenden werden die Ergebnisse der Messung bei einem Leitschaufelwinkel des Drallerzeugers von 30° und einem Durchfluss am Drallerzeugereintritt von 25 m<sup>3</sup>/h vorgestellt. In Abb. 6 ist analog zu Abb. 3 links ein Foto des mit Luft visualisierten Wirbelzopfkerne ohne Wassereinspritzung im Drallerzeuger dargestellt. In der Mitte ist ein Foto des mit Luft visualisierten Wirbelzopfkerne bei einer Einspritzung von 0,5 m<sup>3</sup>/h abgebildet. Bei diesem Leitschaufelwinkel zeigt sich nahezu kein Unterschied im Vergleich zur Visualisierung ohne Einspritzung links. Bei einer Erhöhung des Einspritzdurchflusses auf 1,0 m<sup>3</sup>/h ist wie bei einem Leitschaufelwinkel von 20° kein Wirbelzopfkerne mehr zu erkennen (vgl. Abb. 6 rechts).

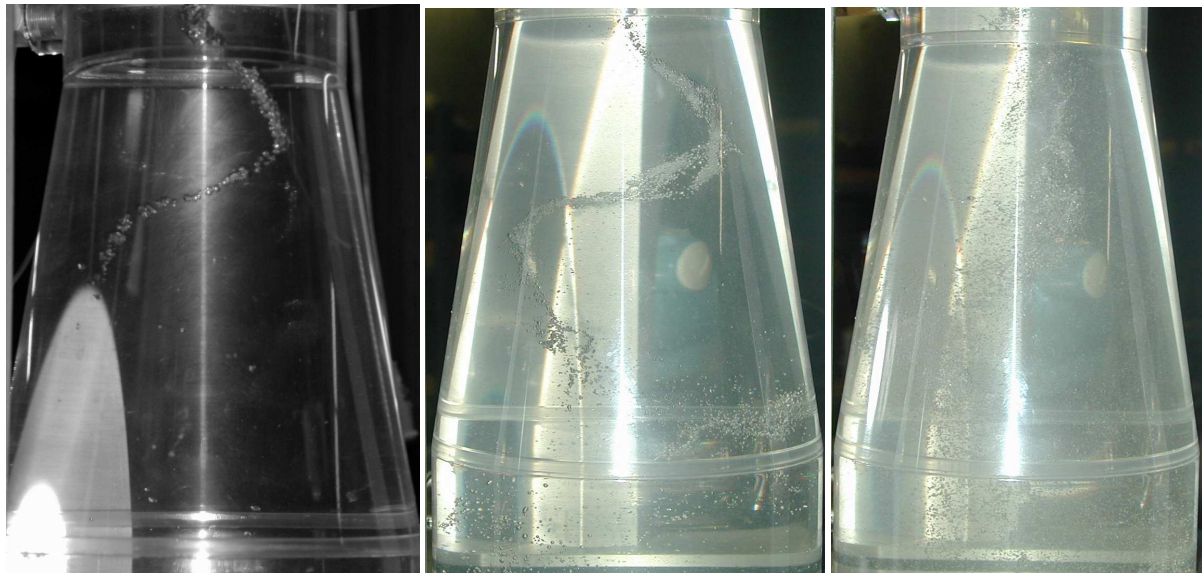


Abb. 6: Bilder des visualisierten Wirbelzopfs bei verschiedenen Einspritzdurchflüssen;  
links:  $Q_{\text{Einspritzung}} = 0,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ; Mitte:  $Q_{\text{Einspritzung}} = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ; rechts:  $Q_{\text{Einspritzung}} = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$

In Abb. 7 sind die drei Geschwindigkeitsvektorfelder der in Abb. 6 dargestellten Betriebsbedingungen analog zu den Messergebnissen bei einem Leitschaufelwinkel von 20° aufgeführt. Links ist das Geschwindigkeitsvektorfeld bei Betrieb ohne Wassereinspritzung im Drallerzeuger, in der Mitte bei einer Einspritzung von 0,5 m<sup>3</sup>/h und rechts bei einer Einspritzung von 1,0 m<sup>3</sup>/h dargestellt. Im Originalzustand ohne Wassereinspritzung ist wie bereits bei 20° Leitschaufelwinkel, das sehr große Totwassergebiet im Saugrohrzentrum zu sehen. Bei einer Einspritzung von 0,5 m<sup>3</sup>/h Wasser ist zu erkennen, dass das Totwassergebiet minimal stromabwärts verschoben ist. Im Zentrum des Saugrohereintritts ist keine höhere Geschwindigkeit gegenüber den äußeren Bereichen durch den eingespritzten Wasserstrahl festzustellen. Bei einer Erhöhung des Einspritzdurchflusses auf 1,0 m<sup>3</sup>/h ist das Totwassergebiet weiter stromabwärts verschoben. Das Totwassergebiet ist aber im Vergleich zu den Messergebnissen bei einem Leitschaufelwinkel von 20° noch nicht aufgelöst. Im Zentrum des Saugrohereintritts



ist nun auch eine höhere Geschwindigkeit durch den eingespritzten Wasserstrahl festzustellen.

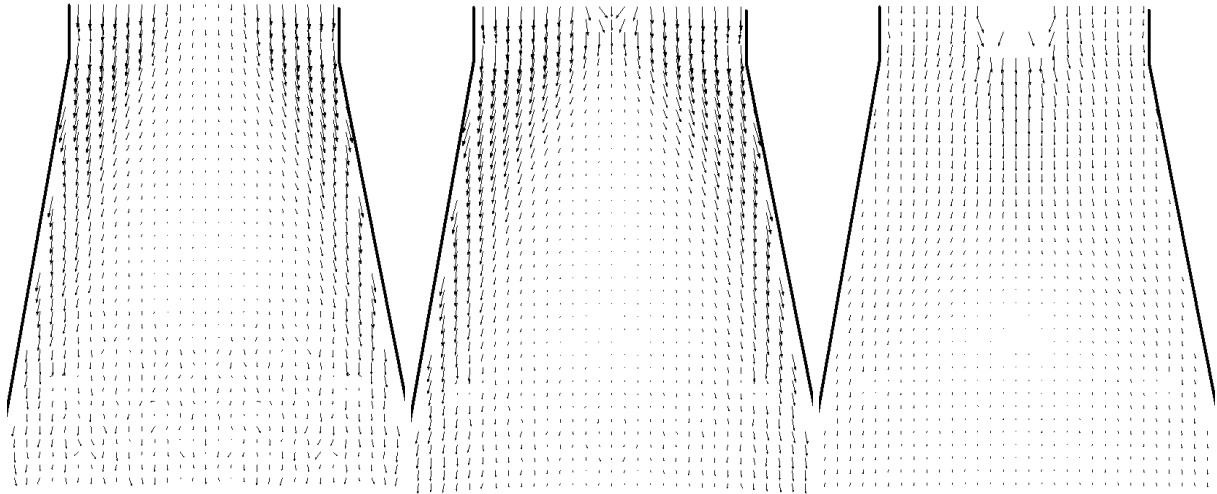


Abb. 7: Geschwindigkeitsvektorfelder bei verschiedenen Einspritzdurchflüssen; links:  $Q_{\text{Einspritzung}} = 0,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ; Mitte:  $Q_{\text{Einspritzung}} = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ; rechts:  $Q_{\text{Einspritzung}} = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$

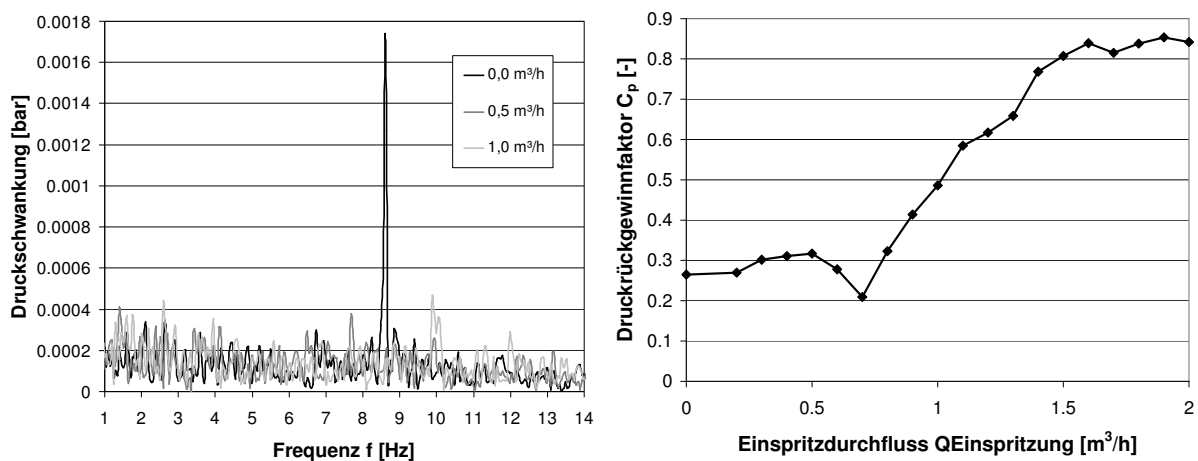


Abb. 8: links: Amplitude der Druckschwankung am Saugrohreintritt bei verschiedenen Einspritzdurchflüssen; rechts: Druckrückgewinnfaktor über dem Einspritzdurchfluss

In Abb. 8 ist links das Frequenzspektrum der Amplitude der Druckschwankung am Eintrittsquerschnitt für die beiden Einspritzdurchflüsse und den Originalzustand ohne Einspritzung dargestellt. Dabei ist auch bei diesem Leitschaufelwinkel eine deutliche Spitze im Originalzustand ohne Einspritzung bei einer Frequenz von ca. 8,5 Hz zu erkennen. Sowohl bei einer Einspritzung von  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$  als auch bei einer Einspritzung von  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$  ist diese Spitze nicht mehr zu erkennen.

In Abb. 8 ist rechts der Druckrückgewinnfaktor über dem Einspritzdurchfluss aufgetragen. Es ergibt sich ein ähnlicher Verlauf wie im Falle des Leitschaufelwinkels von  $20^\circ$ . Der Druckrückgewinnfaktor steigt anfangs mit Erhöhung des Einspritzdurchflusses von ca. 0,28 leicht auf 0,32 an. Danach geht der Druckrückgewinnfaktor zwischen  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$  und  $0,7 \text{ m}^3/\text{h}$  auf ca. 0,2 zurück. Von  $0,7 \text{ m}^3/\text{h}$  bis ca.  $1,6 \text{ m}^3/\text{h}$  steigt der Druckrückgewinnfaktor sehr stark an und bleibt dann auf einem konstanten Wert von ca. 0,85. Auch im Falle von  $30^\circ$  Leitschaufelwinkel lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass der Druckrückgewinn im Saugrohr mit Auflösung des Saugrohrwirbelzopfs drastisch zunimmt.

## Zusammenfassung

Für zwei Leitschaufelstellungen des Drallerzeugers wurden Geschwindigkeitsmessungen mit Particle Image Velocimety in einem geraden Saugrohr durchgeführt. Für diese Betriebspunkte werden die zeitlich gemittelten Axial- und Radialkomponenten der Geschwindigkeit im Längsschnitt durch die Saugrohrachse für jeweils zwei Wassereinspritzmengen und den Originalzustand ohne Wassereinspritzung präsentiert. Es kann anhand der Geschwindigkeitsvektorfelder die Funktionsweise der Maßnahme zur Beseitigung des Saugrohrwirbelzopfs gezeigt werden. Durch den eingespritzten Wasserstrahl wird die sonst vorhandene Totwasserzone hinter der Nabe stromabwärts verlagert, bzw. verhindert und so das Aufrollen des Wirbelzopfs verhindert. Der zur Auflösung des Saugrohrwirbelzopfs notwendige Durchfluss für die Wassereinspritzung steigt bei größer werdenden Leitschaufelwinkel an. Es zeigt sich zusätzlich, dass durch die Maßnahme eine erhebliche Erhöhung des Druckrückgewinnfaktors erreicht wird, wenn sich der Wirbelzopf aufgelöst hat.

## Literatur

- Grupp J.: „Experimentelle Untersuchung der Strömungsbeeinflussung in einem geraden Saugrohrmodell“; unveröffentlichte Studienarbeit Nr. 184, Institut für Strömungsmechanik und Hydraulische Strömungsmaschinen; Universität Stuttgart, 2008.
- Kirschner O. 2006: "PIV Geschwindigkeitsmessung im geraden Saugrohr einer Modell-Pumpturbine" Fachtagung "Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik", Braunschweig, Germany, 5. - 7. September 2006.
- Kirschner O., Ruprecht A. 2007: "2D-PIV Messung einer Strömung mit starker Drallkomponente in einem geraden Pumpsturbinensaugrohr" Fachtagung "Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik", Rostock, 4. - 6. September 2007
- Nonoshita T., Matsumoto Y. Ohashi H., Kubota T. 1988: "Transient phenomena in a draft tube during a load rejection", Proc. of the Section on hydraulic machinery, equipment and cavitation 14th IAHR Symposium, Trondheim, Norway, 1988.
- Ruprecht A., Helmrich T., Aschenbrenner T., Scherer T. 2001: "Simulation of pressure surge in a hydro power plant caused by an elbow draft tube", 10<sup>th</sup> IAHR WG 1 Symposium "The Behaviour of Hydraulic Machinery under Steady Oscillatory Conditions", Trondheim, 2001
- Ruprecht A., Helmrich T. 2003: "Simulation of the water hammer in a hydro power plant caused by draft tube surge" Proceedings of ASME FEDSM'03, 4<sup>th</sup> ASME\_JSME Joint Fluids Engineering Conference, Honolulu, Hawaii, USA, 6-10 July 2003.
- Schmidt H.: „Konstruktion eines axialen Drallapparats mit Luft- und Wasserzuführung“; unveröffentlichte Studienarbeit Nr. 181, Institut für Strömungsmechanik und Hydraulische Strömungsmaschinen; Universität Stuttgart 2007.
- Susan-Resiga R., Muntean S., Anton I., Avellan F. 2006-1: "Analysis and Control of decelerated Turbulent Swirling Flow in Francis Turbine Draft Tube Cone" Proceeding at IAHR International Meeting of WG on Cavitation and Dynamic Problems in Hydraulic Machinery and Systems, Barcelona, Spain, 28-30 June 2006.
- Susan-Resiga R., Ciocan G.D., Muntean S., Anton I., Avellan F. 2006-2: "Numerical Simulation and Analysis of Swirling Flow in the Draft Tube Cone of a Francis Turbine" Proceeding at 23rd IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, Yokohama, Japan 17.-21. October 2006.
- Susan-Resiga R., Vu T.C., Ciocan G. D., Nennemann B. 2006-3: "Jet Control of the Draft Tube Vortex Rope in Francis Turbines at Partial Discharge" Proceeding at 23rd IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, Yokohama, Japan 17.-21. October 2006.