



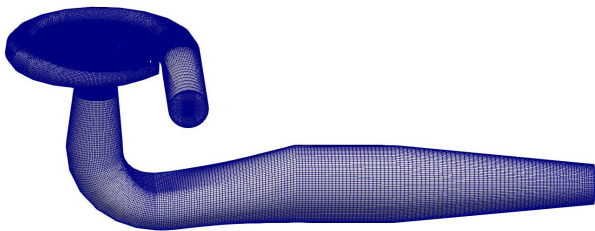
**Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet**

**Fabio Asaro  
Prof. Dr. Sabri Deniz  
Andritz Hydro AG  
Dr. Joel Schlienger  
Energien, Fluide und Prozesse**

## Unterdrückung von Instabilitäten an einer Pumpturbine mit Fluid-Injektion

### Ausgangslage

Das heutige Stromnetz ist ein komplexes System. Durch die Zunahme an erneuerbaren Energien wird die Komplexität weiter ansteigen. Dies liegt daran, dass erneuerbare Energien wie Solar- und Windenergie wetterabhängig sind und daher das Stromnetz stark fluktuiert. Dank den Pumpspeicherkraftwerken kann das Netz geglättet werden. Ein Pumpspeicherkraftwerk kann somit als Regler für das Netz betrachtet werden. Als Folge der zunehmenden Fluktuation des Netzes wird auch die Häufigkeit des Wechsels von Turbinen- zu Pumpbetrieb und umgekehrt ansteigen. Diese Wechsel sollten möglichst schnell erfolgen können. Dies ist aber nicht immer einfach, weil der Betriebswechsel fluiddynamische Probleme mit sich bringt. Vor allem das Auftreten von Instabilitäten ist kritisch. Deshalb ist es von praktischer Bedeutung, Zustände in diesem Bereich genauer zu analysieren, zu verstehen und zu optimieren.

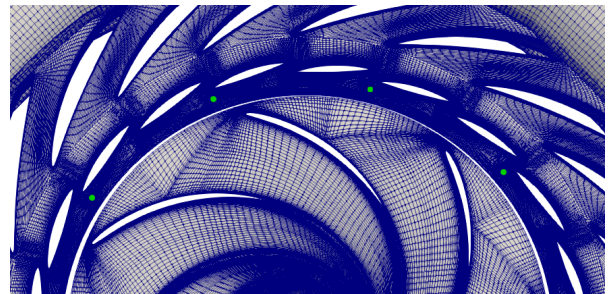


**Abb. 1:** CFD-Vernetzung der gesamten Modell-Pumpturbine

### Vorgehen

Um die Instabilitäten im Turbinenbetrieb zu unterdrücken, spritzt man bei einer Pumpturbine mit mehreren Düsen Wasser in den unbeschaufelten Raum ein (Gebiet zwischen Leitapparat und Laufrad, Abb 2). In dieser Arbeit wurde eine komplette Pumpturbine simuliert (Abb. 1). Das verwendete Netz besteht aus 6.3 Mio. Zellen. Für die CFD-Simulationen wurde ein an der Hochschule eigens entwickelter Solver verwendet. Die Simulationen wurden auf der open source Software Open-FOAM durchgeführt.

Zuerst wurde eine experimentell bestimmte Kennlinie mit CFD-Simulationen berechnet. Im nächsten Schritt wurden verschiedene Fluid-Injektion-Konfigurationen mit CFD analysiert mit dem Ziel, die Fluid-Injektion energieeffizienter zu gestalten. Im Rahmen dieser Thesis wurde auf einem Cluster ca. 2'200 Stunden auf insgesamt 450 Kernen simuliert.

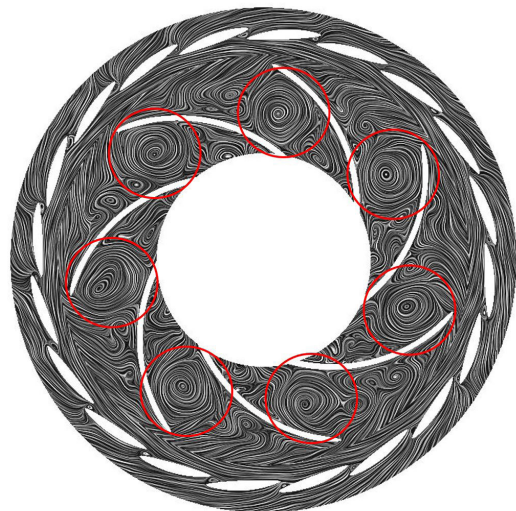


**Abb. 2:** Ausschnitt von Modell-Pumpturbinennetz mit grünmarkierten Einspritzdüsen im unbeschaufelten Raum

### Ergebnis

Bereits im Vorfeld gemachte Experimente zeigten, dass Fluid-Injektion das Stabilitätsverhalten einer Pumpturbine positiv beeinflusst. Die CFD-Simulationen zeigten eine gute Übereinstimmung mit den Experimenten. Die CFD-Untersuchungen zeigen, dass es möglich ist, die Injektionswassermenge zu reduzieren und somit die Fluid-Injektion attraktiver zu machen.

Mithilfe von post processing und einer Fourier-Analyse konnte gezeigt werden, dass dank der Fluid-Injektion das Instabilitätsphänomen namens «Rotating Stall» unterdrückt werden kann. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass bei instabilen Pumpturbinen die Laufradkanäle mit festgesetzten Wirbeln versperrt sind (Abb. 3). Diese Wirbelstrukturen konnten teilweise durch Fluid-Injektion gestört werden.



**Abb. 3:** Festgesetzte Kanalwirbel im Laufrad einer instabilen Pumpturbine