

Motivation

Innerhalb des letzten Jahrzehnts hat der exzessive Ausbau volatiler Energieerzeuger zu einem Fallen des Strompreises am Spotmarkt geführt. Dadurch sind allerdings Netzdienstleistungen, wie das Bereitstellen von Regelenergie, immer gefragter. Resultierend daraus haben sich Betreiber von Wasserkraftanlagen darauf spezialisiert die vom Markt geforderten Dienstleistungen zu erbringen. Bezogen auf Francis Turbinen bedeutet dies allerdings, dass die Anlage vermehrt in der Teillast betrieben wird und sich auch transiente Vorgänge wie Maschinenstarts und Abstellvorgänge häufen. Dabei können diverse Strömungsphänomene, Strukturschwingungen anregen und die Lebensdauer des Laufrades deutlich verringern.

Basierend auf dem Vorgängerprojekt, PSP-LowLoad ist in diesem Project eine Weiterentwicklung der Lebensdauerberechnung mit Hilfe von Messungen und Simulationen angestrebt. Weiteres ist die Dedektion der kritischen Lastpunkte mit Hilfe der Maschinendiagnose eine zentrale Fragestellung. Die Ergebnisse des Projekts sind /werden in diversen Papers und wissenschaftlichen Konferenzen veröffentlicht (siehe [1] [2] [3]).

Prototyp Messungen

Um das Verhalten der Prototypanlage zu untersuchen wurden Messungen durchgeführt. Dabei sind besonders transiente Betriebsarten wie Maschinenstarts vom besonderen Interesse gewesen. Abbildung 1 zeigt eine Übersicht der an der Maschine installierten Sensoren. Statische Druckmessungen wurden am Ende des Saugrohrs (p_{DT}), im Konus nahe des Laufrads ($p_{cone.2}$), im schaufellosen Raum (p_{RN}), in der Spirale (p_{SC}) sowie vor der Absperrklappe durchgeführt. Des Weiteren wurden instationäre Drücke mittels piezoresistiven Drucksensoren im Saugrohrkonus ($p_{cone.1}$, $p_{cone.3}$) gemessen.

Weiters wurden, Schwingungssignale am oberen ($v_{UGBx,y,z}$) und unteren Generatorlager ($v_{LGBx,y,z}$) und am Turbinenträgerlager ($s_{THBx,y}$) wie auch in der Hohlnahe des Laufrades (a_{HUB}) aufgenommen. Das mechanische Drehmoment (T) sowie die Drehzahl (n) wurde über eine optische Messeinrichtung, welche die Verdrehung der Welle misst, bestimmt. Der Durchfluss (Q) wurde über eine Winter-Kennedy Methode bestimmt. Zur Ermittlung des Leckagestroms zufolge der Labyrinth (q'), wurde eine Staudrucksonde eingesetzt. Außerdem wurden Dehnmessstreifen zur Bestimmung der Spannungen im Laufrad, appliziert. Mehr Informationen zum Aufbau und Durchführung der der Messung kann [1] entnommen werden.

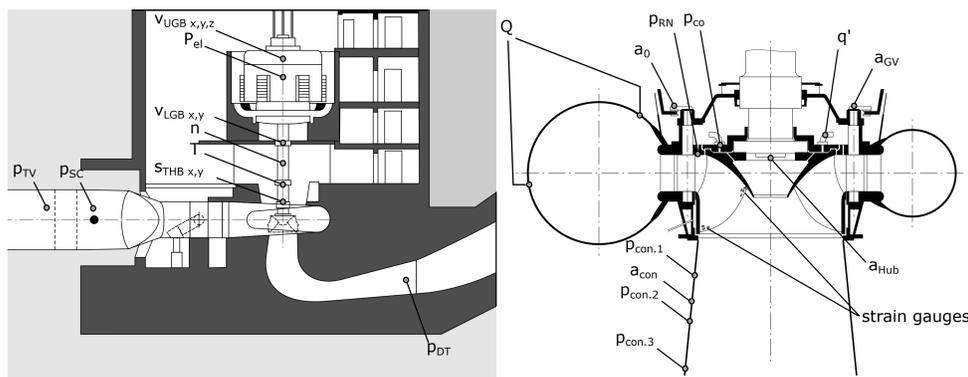
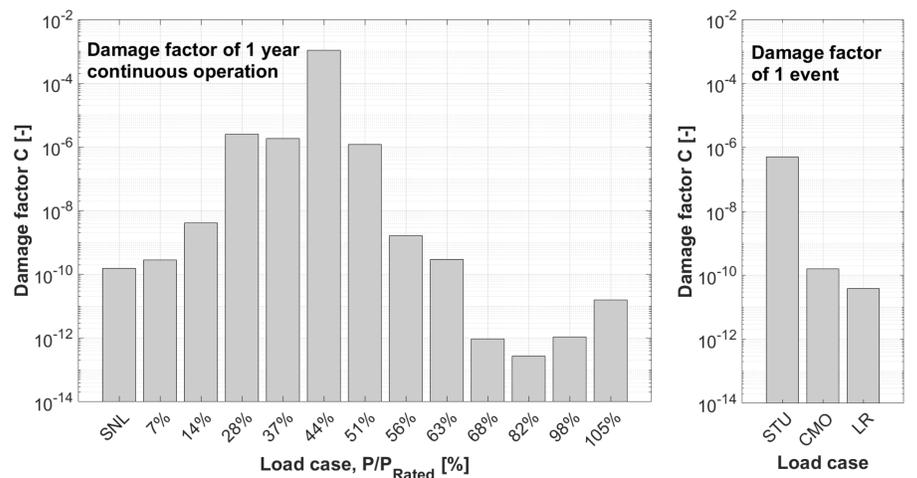


Abbildung 1: Sensor Positionen und Messstellenplan [1]

Restlebensdauerbeurteilung

Eine Lebensdaueranalyse des Laufrads wurde basierend auf den Messdaten der Dehnmessstreifen durchgeführt, indem die diese einer Wöhlerlinie gegenübergelegt wurden. Dabei wurde die Schadensakkumulationshypothese nach Palmgren-Miner angewendet.

Abbildung 2 zeigt die Schädigungsfaktoren für die stationäre Lastpunkte und transiente Vorgänge welche bei der Messung angefahren wurden. Dabei erkennt man, dass besonders bei 44% Leistung erhöhte Schädigungen einhergehend mit Vibrationen des Gesamtsystems auftreten. Weiteres weisen besonders transiente Betriebsarten eine erhöhte Schädigungsrate auf.



Abbildungen 2: Schädigungsfaktoren basierend auf DMS Messungen [2]

Um die Gründe für die erhöhten dynamischen Spannungsanteile sowie Druckschwankungen in den kritischen Punkten etwas zu beleuchten, wurden in stationäre CFD Rechnungen durchgeführt. Dabei wurde als Solver ANSYS CFX 18 und der OpenFOAM 6 verwendet.

Auf der linken Seite von Abbildung 3 wird exemplarisch das Ergebnis eines Zeitschrittes des kritischen Lastpunkt (44%_{Rated}) dargestellt. Dabei bildet sich ein Saugrohrwirbel aus, welcher über Isobare des Dampfdrucks dargestellt wird. Die Resultate der CFD Simulationen wurden im weiteren auf als Randbedingungen der transienten FEM Rechnung verwendet um eine Aussage über die Spannungen im Laufrad zu erhalten (Abbildung 3 rechts, Exemplarisches Ergebnis für 1 Zeitschritt). Weiteres ist im Projekt eine Machbarkeitsstudie zu der Implementierung transients Vorgänge und deren Simulation in die Lebensdaueranalyse geplant. Mehr Informationen über das Setup der numerische Methode wird in [3] gegeben.

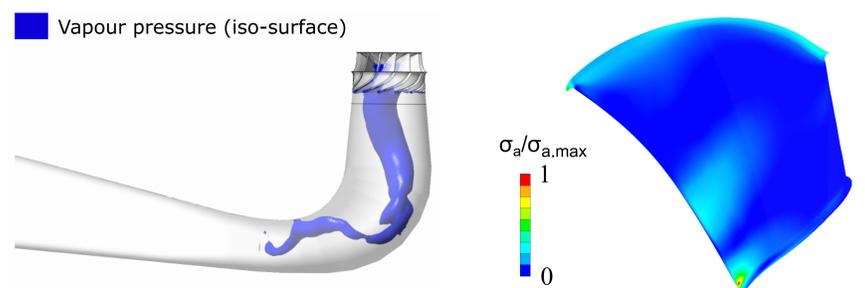


Abbildung 3: CFD Resultat (links) Vergleichsspannung (rechts)[3]

Fördergeber und Projektpartner

References

- [1] Eduard Doujak, Anton Maly, Julian Unterluggauer, and Schuebl Alfred. Instrumentation setup of a prototype francis turbine for off-design condition measurements. *Flow Measurement and Instrumentation*, 2019.
- [2] J. Unterluggauer, E. Doujak, and C. Bauer. Fatigue analysis of a prototyp Francis runner based on strain-gauge measurements. *Proceedings of the 20th International Seminar on Hydropower Plants*, 2018.
- [3] J. Unterluggauer, E. Doujak, and C. Bauer. Numerical fatigue analysis of a prototype Francis turbine runner in low-load operation. *13th European Convergence on Turbomachinery Fluid Dynamics and Thermodynamics*, 2019.