

### Motivation

Im Rahmen des COMET K-Projektes GreenStorageGrid werden im Teilprojekt PSP-LowLoad die modernen Anforderungen an die Turbinen- und Pumpturbinentechnologie aufgrund des steigenden Energiebedarfs und der immer stärker belasteten elektrischen Netze untersucht. Um möglichst schnell Energie aus dem elektrischen Netz aufnehmen bzw. einspeisen zu können, werden Turbinen und Pumpturbinen immer häufiger und über längere Zeit in tiefer Teillast betrieben. Durch ungünstige Strömungsverhältnisse führt dies zu einem sehr unruhigen Betriebsverhalten der Anlage und zu hohen Anforderungen an die Festigkeit beanspruchter Bauteile wie Laufrad, Leit- und Stützapparat [1, 2]. Der Schwerpunkt dieser Untersuchung liegt auf einer Methodenentwicklung, die es erlaubt, stochastisch auftretende Strömungsvorgänge zu berechnen und die mechanischen Auswirkungen auf die Bauteile zu erfassen [3, 4].

### Messungen

Um ein besseres Verständnis für die Strömungsvorgänge und die auftretenden Belastungen an einem Francislaufrad in tiefer Teillast zu bekommen, wurden Messungen an einer Prototypmaschine durchgeführt. Dabei wurden mehrere Dehnmessstreifen (DMS) an der Austrittskante einer Turbinenschaufel saug- und druckseitig angebracht, um die auftretenden Spannungen bei verschiedenen Betriebspunkten der Turbine auswerten zu können. Dies erforderte einen hohen Aufwand an die Messtechnik, da die Daten im laufenden Betrieb nur durch ein Speichergerät, welches in einem wasserdichten Gehäuse an der Maschinenwelle innerhalb des Saugrohrs angebracht wurde, aufgezeichnet werden konnten (siehe Abb. 1). Zusätzlich zu den Dehnungen wurden die elektrische Leistung am Generator und die Drücke in der Spirale bzw. im Saugrohr gemessen. Die ermittelten statischen und dynamischen Belastungen am Laufrad werden anschließend zur Bewertung der Restlebensdauer, unter Berücksichtigung verschiedener Betriebspunkte, herangezogen.

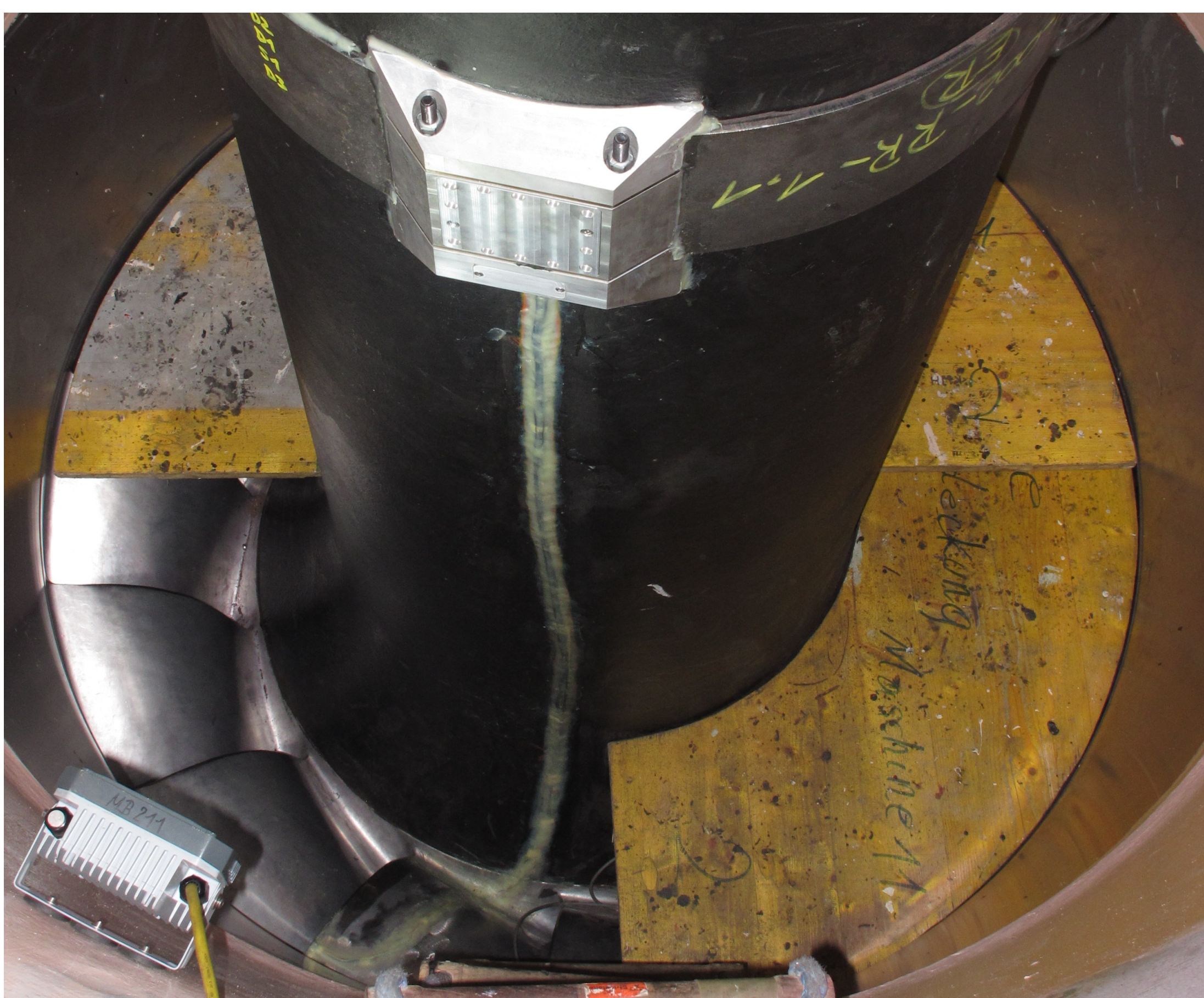


Abbildung 1: Messaufbau

### Simulationen

Zur Untersuchung der stochastischen Strömungsvorgänge in der hydraulischen Turbine werden stationäre und transiente numerische Strömungssimulationen mit der CFD Software OpenFOAM durchgeführt. Dazu werden die einzelnen Maschinenkomponenten (Spirale, Stützschaufeln, Leitapparat, Laufrad und Saugrohr) modelliert und für die CFD Berechnungen diskretisiert. Die Simulationen werden anschließend für verschiedene Betriebspunkte vom Bestpunkt bis in tiefe Teillast durchgeführt, wobei die Leitapparatstellungen und die Randbedingungen entsprechend den Messungen angepasst werden. Die entstehenden Druckkräfte im Laufrad (siehe Abb. 2) werden anschließend für die Festigkeitsanalyse mit dem Open Source Programm Code Aster verwendet.

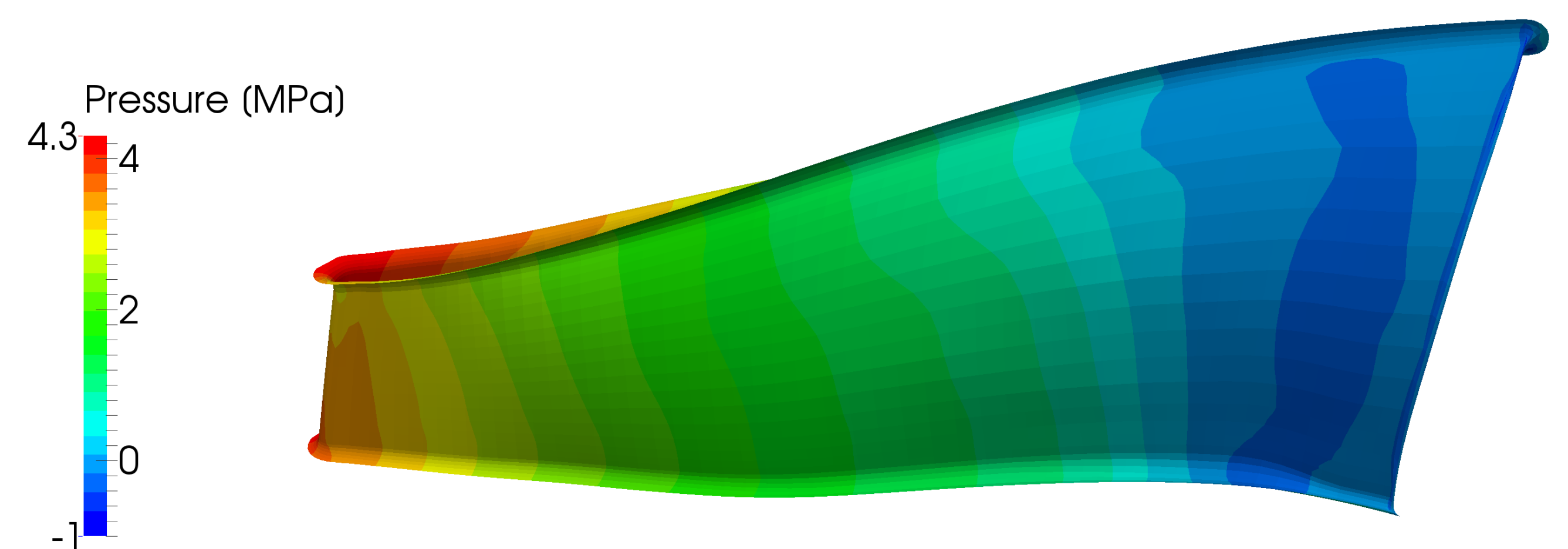


Abbildung 2: Druckverteilung an einer Laufradschaufel

Bei der statischen FE-Analyse wird als Strukturmodell eine Laufradschaufel herangezogen und diskretisiert. Die Belastungen im umströmten Gebiet der Laufradschaufel und im Radseitenraum der Turbine ergeben sich aus den Druckkräften der CFD Simulationen. Zusätzlich wird noch der Einfluss der Fliehkraft aufgrund der Rotation berücksichtigt. Die statische Analyse liefert einen Überblick über die Positionen der kritischen Belastungen (siehe Abb. 3). Bei der dynamischen Festigkeitsanalyse sollen die Auswirkungen der Rotor-Stator-Interaktion (Druckschwankungen zwischen Leitapparat und Laufrad) und der stochastischen Strömungsvorgänge ermittelt werden. Dabei werden die Druckverteilungen am Laufrad auf die gesamte Laufradgeometrie aufgeprägt. Die so ermittelten Spannungen werden schließlich zur Lebensdauerberechnung anhand des gesamten Lastkollektivs herangezogen und mit den Messungen verglichen.

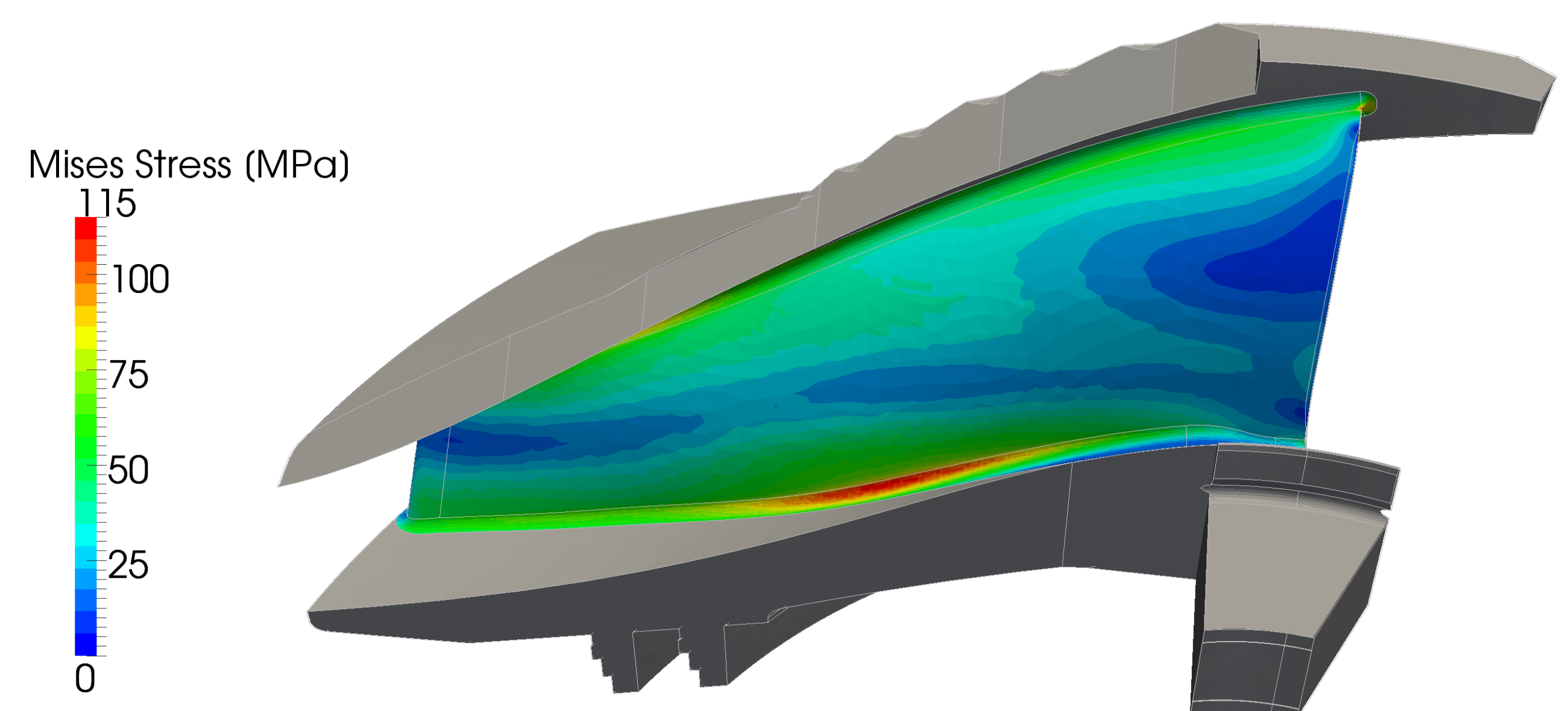


Abbildung 3: Mises-Vergleichsspannungen im Turbinenlaufrad

### Fördergeber und Projektpartner

Das K-Projekt GSG-GreenStorageGrid wird im Rahmen von COMET – Competence Centers for Excellent Technologies durch das BMVIT, das BMWFW, die Wirtschaftsagentur Wien, durch das Land NÖ und durch das Forschungsressort des Landes Oberösterreich im Wege des Amtes der Oö Landesregierung - Abteilung Wirtschaft gefördert. Das Programm COMET wird durch die FFG abgewickelt.



Ein Fonds der  
Stadt Wien



### References

- [1] C. Trivedi, M. J. Cervantes, B. K. Gandhi, O. G. Dahlhaug: "Experimental and Numerical Studies for a High Head Francis Turbine at Several Operating Points", *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 135, 2013
- [2] S. Erne: "Numerical Investigation of Part-Load Flows in a Pump-Turbine affected by System Rotation", *PhD-thesis at Institute for Energy Systems and Thermodynamics*, 2013
- [3] A. Schneider, B. Ch. Will, M. Böhle: "Investigation of Deformation and Stress in Impellers of Multistage Pumps by Means of Fluid-Structure Interaction Calculations", *The 15<sup>th</sup> International Conference on Fluid Flow Technologies*, 2012
- [4] X. F. Wang, H. L. Li, F. W. Zhu: "The calculation of fluid-structure interaction and fatigue analysis for Francis turbine runner", *26<sup>th</sup> IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems*, 2012