



Characterization of the Fluid-Structure Interaction on a Vertical Axis Turbine with Deformable Blades

Kurzzusammenfassung

In der vorliegenden Dissertation wird die Fluid-Struktur-Interaktion (FSI) an einer Vertikalachsen-Wasserturbine (VAWT) mit flexiblen Schaufeln untersucht. In der Studie werden in der Hauptsache experimentelle Verfahren eingesetzt.

Ein numerischer Ansatz wird, nach einem kurzen Überblick über VAWT und dem aktuellen Stand der Technik zur FSI an VAWT, vorgestellt. Er basiert auf der Open Source Toolbox Foam-Extend, deren FSI toolkit zunächst evaluiert und dessen Funktionalität erweitert wird. Die Simulation eines oszillierenden Profils mit starken Deformationen, inklusive zwei-Wege-Kopplung wird für vereinfachte Fluideigenschaften und ohne Berücksichtigung der Kompositmaterialien exemplarisch durchgeführt. Die numerischen Untersuchungen geben jedoch nur einen Ausblick, da der vorgegebene Aufbau nicht in der erforderlichen Komplexität modelliert werden konnte.

Für das Experiment werden die komplexen, multiphysikalischen Wechselwirkungen im Rotor einer VAWT durch ein Ersatzmodell, bestehend aus einer einzelnen, oszillierenden Schaufel, vereinfacht. Im Abschnitt Modellierung wird gezeigt, dass durch die Variation der Oszillationstrajektorie und ihrer Frequenz mehrere Turbinendesigns ohne jegliche Hardwarevariationen untersucht werden können. Ein experimenteller Aufbau, basierend auf vorhandener Hardware, wurde entwickelt. Eine hochgenaue Lageregelung für die erzwungenen Drehschwingungen sowie ein Datenerfassungs-Framework wurden erstellt. Kraft- und Drehmomentmessungen zeigen einen signifikanten Vorteil flexibler Schaufeln für eine Schnellaufzahl von $\lambda=2$ und eine Vielzahl von Turbinenkonstruktionen. Für einen tieferen Einblick in die FSI auf Schaufelebene wurde das momentane Strömungsfeld mittels Particle-Image-Velocimetry (PIV) zeitaufgelöst erfasst. Ein Algorithmus wurde entwickelt, um dynamische Deformationen der Struktur zu maskieren. Die periodische Strömungsablösung mit hohen chaotischen Anteilen wird visualisiert und der Einfluss der strukturellen Verformungen gezeigt. Die Strukturverformungen der flexiblen Schaufeln wurden synchron mit den hydrodynamischen Kräften und dem Lagefeedback des Antriebs gemessen. Die Wechselwirkung von Turbinenkonstruktion und Betriebspunkt zu Verformung und daraus resultierenden Kräften wird charakterisiert. Es wurden zwei unabhängige Methoden für die Deformationsmessungen entwickelt und angewendet: Eine Verfolgung des Querschnitts der Struktur basierend auf der PIV und eine Oberflächenverfolgungsmethode. Letztere gründet auf einer strukturierten Lichtmusterprojektion auf die Oberfläche, die eine zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Messung der Oberflächendeformation ermöglicht.

Im letzten Teil wird eine räumliche Spektralanalyse für die Verformungen sowie eine zeitliche Analyse der Verformung zusammen mit Kräften und Oszillation durchgeführt. Diese ermöglicht die Unterscheidung zwischen Verformungen und hydrodynamischen Kräften, die direkt mit der erzwungenen Bewegung und solchen, die mit den Sekundäreffekten der FSI zusammenhängen.