

Simulation turbulenter Strömungen in Turbomaschinen

Skalenauflösende Simulation von Deckbandlabyrinthdichtungen in Niederdruckturbinen

L. Wein, F. Herbst und J. R. Seume, *Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik, Leibniz Universität Hannover*

Kurzgefasst

- RANS-Modellierung
- Large Eddy Simulation
- Niederdruckturbinen

Zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte von Turbomaschinen müssen deren Wirkungsgrade verbessert werden. Aus aerodynamischen Gesichtspunkten kann dies z.B. durch eine Reduzierung der verlustbehafteten Sekundärströmungen erfolgen. In axialen Niederdruckturbinen bilden sich Sekundärströmungen unter anderem an den Übergängen zwischen Schaufelfuß und Schaufelblatt aus. Sie folgen nicht der Hauptströmung, erzeugen damit Mischungsverluste und reduzieren den Stufenwirkungsgrad. Weiterhin führen sie i.d.R. zu einer Fehlansströmung der darauf folgenden Turbinenstufen, was weitere Verluste generiert. Bei frei stehenden Turbinenschaufeln kommt es zudem zu einer Überströmung der Schaufelspitze von der Druck- zur Saugseite. Auch hierbei entstehen Sekundärströmungen und aerodynamische Verluste.

Die Überströmung der Schaufelspitze kann durch den Einsatz von Deckbändern unterbunden werden, dargestellt in Abb. 1. Da jedoch ein minimaler Spalt zwischen drehenden Rotor und stehendem Gehäuse verbleiben muss, kommt es bei der Durchströmung des Spaltes zwischen Deckband und Gehäuse zu so genannten Leckageverlusten. Die Leckageströmung verrichtet keine Arbeit in der Stufe und reduziert damit deren Leistungsdichte. Ein Vorteil von Deckbändern im Vergleich zu frei stehenden Rotorschaukeln ist, das Spalt effizienter abgedichtet werden kann. Dies erfolgt mit so genannten Labyrinthdichtungen. Labyrinthdichtungen können auf dem Deckband eingesetzt werden und reduzieren den Leckagemassenstrom deutlich, können ihn jedoch nicht vollständig unterbinden. Der verbleibende Leckagemassenstrom ist abhängig von der Gestaltung der Labyrinthdichtung. Beim Wiedereintritt der Leckageströmung in die Hauptströmung kommt es zu einer komplexen, dreidimensionalen Wechselwirkung. Die Leckageströmung erfährt im Spalt eine geringere Umlenkung als die Hauptströmung, wodurch die Mischungsverluste stromab erhöht werden und die nachfolgenden Stufen falsch angeströmt werden.

Es wird davon ausgegangen, dass durch eine gezielte Beeinflussung und Nutzung der Leckageströmung der Wirkungsgrad von Turbomaschinen um 0,14 – 0,5% gesteigert werden kann. Hierfür ist jedoch ein genaues Verständnis der Strömung in den Kavitäten erforderlich, wozu numerische Strömungssimulationen eingesetzt werden können. In dem Forschungsvorhaben AGT 4.2.5 *Optimaler Deckbandrückschnitt bei Turbinenlaufschaufeln* werden unterschiedliche Deckbandvarianten einer 1,5-Stufigen Niederdruckturbinen hinsichtlich ihrer Dichtwirkung und Interaktion mit der Hauptströmung untersucht. Hierfür werden sowohl experimentelle als auch numerische Untersuchungen durchgeführt. Anhand eines Vorprüfstandes, der lediglich den Dichtungspfad über das Deckband im Maßstab 1:1 abbildet, werden experimentelle Daten gewonnen, mit denen numerische Untersuchungen validiert werden können. Diese haben gegenüber dem Experiment den Vorteil einen noch tieferen Einblick in die Physik der Strömung zu ermöglichen.

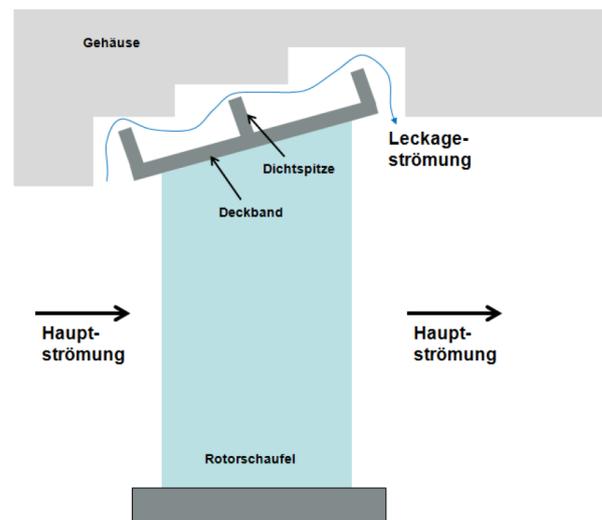


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer Niederdruckturbinenschaufel mit Deckbandlabyrinthdichtung

Die Strömung in den Kavitäten einer Labyrinthdichtung ist instationär, von Wirbeln und Rückströmungen geprägt und es können durch Re-Laminarisierung und nachfolgender Transition sowohl laminare als auch turbulente Grenzschichten vorkommen. Die Modellierung dieser Phänomene mit industriellen Simulationsverfahren (stationäre und instationäre RANS) führt für Kavitätenströmungen zumeist zu einer unzureichenden Übereinstimmung von Experimenten und numerischen Simulatio-

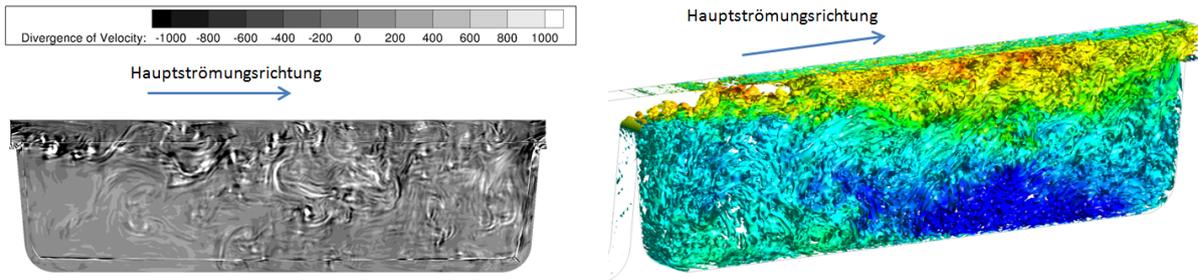


Abbildung 2: Links Divergenz des Geschwindigkeitsfeldes und Rechts Wirbelstrukturen in der Wirbelkammer einer Labyrinthdichtung

nen [1, 2]. Eine Modellierung der Leckageströmung mit skalenauflösenden Verfahren führt hingegen zu einer besseren Vergleichbarkeit von Experimenten und numerischen Simulationen und erlaubt daher einen Rückschluss auf die Ursache der bisher beobachteten Abweichungen.

Ein Vorteil dieser Verfahren liegt darin, dass turbulente Strukturen in der Strömung ganz oder teilweise aufgelöst werden und nicht, wie bei RANS, vollständig modelliert werden. Ein Nachteil ist jedoch, dass skalenauflösende Verfahren deutlich feinere Rechenetze und kleinere Zeitschrittweiten verlangen, wodurch die erforderliche Rechenleistung deutlich zunimmt. So hat eine Verfeinerung des Rechnetzes um den Faktor zwei in alle Raumrichtung eine Steigerung des numerischen Aufwandes vom Faktor 16 zur Folge, da auch die Zeitschrittweite halbiert werden muss.

In dem vorliegenden Forschungsvorhaben soll die Large Eddy Simulation (LES) als skalenauflösendes Verfahren eingesetzt werden, um ein besseres Verständnis der Leckageströmung zu erreichen und geeignete Modellierungsansätze für die ressourcenschonenden RANS-Verfahren zu erarbeiten. Bei der LES werden nur die großen turbulenten Skalen aufgelöst und die kleinen turbulenten Skalen ab dem Inertialbereich modelliert. Abbildung 2 zeigt die aufgelösten Wirbelstrukturen in der Wirbelkammer einer Deckbandlabyrinthdichtung. Dabei zeigen sich deutlich abgelösten Strukturen im stromab der ersten Dichtspitze, die bislang mit RANS-Verfahren nicht vorhergesagt werden. Durch die Isotropie der kleinen Skalen ist der Fehler der Turbulenzmodelle geringer als bei RANS-Verfahren. Dabei erreicht die LES in der Regel eine gute Genauigkeit bei einem, im Vergleich zur direkten numerischen Simulation (DNS), deutlich geringeren Ressourcenbedarf.

WWW

<http://www.tfd.uni-hannover.de>

Weitere Informationen

- [1] J. Tyacke, R. Jefferson-Loveday, and P. Tucker, On LES Methods Applied to Seal Geometries: GT-2012-68840 *Proceedings of ASME Turbo Expo 2012*
- [2] L. Wein, J.R. Seume, and F. Herbst, Improved Prediction of Labyrinth Seal Performance Through Scale Adaptive Simulation and Stream Aligned Grids: GT2017-64257, *Proceedings of ASME Turbo Expo 2017*
- [3] L. Wein, J.R. Seume, and F. Herbst, Unsteady Flow in a Labyrinth Seal: GPPS-NA-2018-0036, *Proceedings of Global Power and Propulsion Forum (GPPF) 2018*
- [4] L. Wein, T. Kluge, R. Hain, T. Fuchs, C. Kähler, R. Schmierer, F. Herbst, and J.R. Seume, Validation of RANS Turbulence Models for Labyrinth Seal Flows by Means of Particle Image Velocimetry: GT2020-14885, *Proceedings of ASME Turbo Expo 2020*

Projektpartner

Arbeitsgruppe für Multiphysik turbulenter Strömungen.

Förderung

Der Bearbeiter ist über ein unabhängiges öffentlich co-finanziertes Projekt finanziert.