

Verbesserte Vorhersage des Ablöseverhaltens von Diffusoren

Skalenauflösende Simulationen zur Untersuchung des Ablöseverhaltens von Diffusoren

C. Jätz, D. Mimic, F. Schwarzbach, F. Herbst, Prof. J. Seume, Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik (TFD), Leibniz Universität Hannover

Kurzgefasst

- Diffusor (Turbomaschine)
- Skalenauflösende Simulationen
- Grobstruktursimulation (LES)
- Grenzschicht-Aerodynamik
- Turbulente Ablösung

Diffusoren wandeln kinetische Energie in statischen Druck um. Dem Austritt einer Turbine nachgeschaltet erlauben sie es, auf einen deutlich niedrigeren Turbinen-Austrittsdruck zu entspannen, bevor der Druck im Diffusor wieder auf Umgebungsniveau gebracht wird. Das Resultat ist eine Steigerung der Leistung und des Wirkungsgrades der Gasturbine. Dadurch sinken auch die relativen Schadstoffemissionen. Um Kosten und Totaldruckverluste zu minimieren, ist es essentiell, Diffusoren möglichst geringerer Länge auszulegen. Um dennoch den notwendigen Druckaufbau zu erreichen, müssen kürzere Diffusoren allerdings größere Öffnungswinkel aufweisen. Diese größeren Öffnungswinkel wiederum machen derartige Diffusoren sehr anfällig für Strömungsablösungen. Die Grenzschichtstabilisierung in solchen ablösegefährdeten Diffusoren macht auf lange Sicht eine kombinierte Auslegung von Turbine und Diffusor notwendig. Da diese diffizile Problematik ein genaues Verständnis der vorherrschenden Strömungszustände und der komplexen Wechselwirkungen zwischen rotationsbehafteter, instationärer Turbinenabströmung, Turbulenz und Grenzschichtcharakter bedingt, ist sie für Ingenieure und Aerodynamiker gleichermaßen von Bedeutung.

Nach längerer Stagnation in diesem Forschungsbereich konnte durch Mimic et al. in [1] erstmalig gezeigt werden, dass ein grundsätzlicher Zusammenhang zwischen der Stabilisierung der abgelösten Grenzschicht im Diffusor und dem durch Wirbel aus der letzten Turbinenstufe induzierten Geschwindigkeitsfeld besteht. Dieser Zusammenhang konnte auf eine starke Korrelation zwischen dem zusätzlichen Druckaufbau und der in [1] neu definierten Stabilisationszahl Σ , welche auf integralen Turbinen-Auslegungsparametern beruht, kondensiert werden. Die Korrelation wurde in [2] um den Einfluss von Σ auf die Totaldruckverluste im Diffusor erweitert.

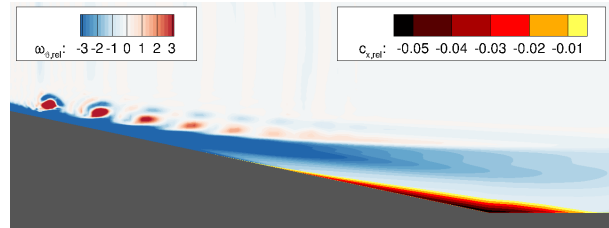


Abbildung 1: Grenzschichtstabilisierung durch Radialspaltwirbel

Diese Erkenntnis gewinnt im Zuge der Transformation des Energiesystems zunehmend an Relevanz, wenn stationäre Gasturbinen zukünftig als flexible Leistungsreserve zur Netzstabilisierung beitragen sollen.

Zusätzlich zur Erweiterung des Parameterraums um den Öffnungswinkel des Diffusors, wurde in [3] gezeigt, dass sich der Vorgang der Grenzschichtstabilisierung durch die wandnormale Diffusion der strömungsnorm-wandparallelen Komponente der Rotation des Strömungsfeldes quantifiziert werden kann. Somit ist erstmalig die Möglichkeit gegeben, durch ein vereinfachtes Rechenverfahren die Grenzschichtstabilisierung in Diffusoren Abhängig von den Eintrittsrandbedingungen geometrieunabhängig vorherzusagen.

Um diese Hypothese zu überprüfen und das Rechenverfahren zu validieren, ist hier eine breite Datenbasis von Nöten. Die in der industriellen Auslegung von Turbomaschinen verwendeten RANS-Modelle geben die Strömungsablösung sowie den Einfluss der Turbulenz auf den Stabilisierungsvorgang nur unzureichend wieder [4]. Experimente über den gesamten technisch relevanten Parameterbereich in ausreichender Menge sind dagegen praktisch nicht durchführbar. Dies gilt insbesondere für die hohen Mach-Zahlen aktueller Gasturbinen.

Die *ultima ratio* stellen skalenauflösende Simulationen dar. In diesem Vorhaben sollen mittels LES Strömungssimulationen mit einem Diffusormodell reduzierter Komplexität und vollständig parametrisierten, synthetischen Randbedingungen durchgeführt werden. So sollen nur die Strömungseffekte berücksichtigt werden, welche für den Druckrückgewinn in Diffusoren relevant sind. Der Vorteil dieses Ansatzes ist, dass nicht erst aufwendig für jeden Parametersatz eine Turbinenabströmung simuliert werden muss. Das senkt den Ressourcenbedarf und die Rechenzeit deutlich.

Das Ergebnis der Simulationen ist ein Datensatz, anhand dessen ein umfassendes, geometrieunabhängiges Rechenverfahren für die Vorhersage der

Stabilisierung von Grenzschichtströmungen in adersen Druckgradienten abgeleitet und kalibriert werden soll. Darüber hinaus erlaubt das verbesserte Verständnis über die Interaktion der Sekundärströmungen mit der Grenzschicht, bestehende RANS-Modelle zu einer besseren Vorhersage jener Grenzschichtstabilisierungseffekte führen.

WWW

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

Weitere Informationen

- [1] Mimic, D.; Drechsel, B.; Herbst, F. (2018): *Correlation Between Pressure Recovery of Highly Loaded Annular Diffusers and Integral Stage Design Parameters*, Accepted for publication in: J. Turbomach., doi:10.1115/1.4039821
- [2] Mimic, D.; Jätz, C.; Herbst, F. (2018): *Correlation between total pressure losses of highly loaded annular diffusers and integral stage design parameters*, Accepted for publication in: Journal of the Global Power and Propulsion Society
- [3] Mimic, D.; Jätz, C.; Sauer, P.; Herbst, F. (2018): *Increasing Boundary Layer Stability for Varying Degrees of Diffuser Loading*, To be published in: Proceedings of the GPPS North American Conference, 7-9 May 2018, Montréal, Canada
- [4] Drechsel, B.; Seume, J.R.; Herbst, F. (2016): *On the Numerical Prediction of the Influence of Tip Flow on Diffuser Stability*, International Journal of Gas Turbine, Propulsion and Power Systems (JGPP), December 2016, Volume 8, Number 3

Projektpartner

Arbeitsgruppe Turbine, TFD
Nachwuchsgruppe
Multiophysik Turbulenter Strömungen, TFD

Förderung

Der Bearbeiter ist über ein unabhängiges, öffentlich gefördertes Projekt finanziert.