

## Dynamische Strömungslasten in radialen Turbomaschinen

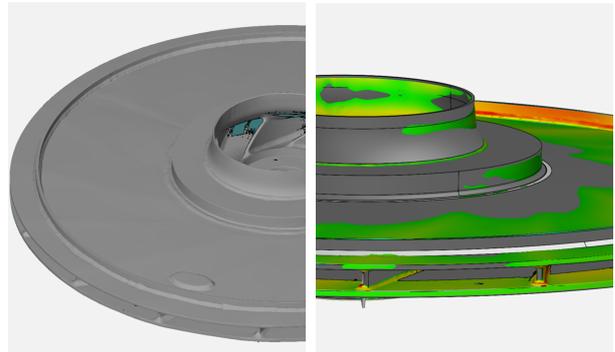
### Numerische Untersuchungen zum Strukturverhalten dynamisch hochbelasteter Ventilatoren unter besonderer Berücksichtigung von Mistuning

**G. Brenner, A. Ludewig**, Institut für Technische Mechanik (ITM), Abteilung Strömungsmechanik, Technische Universität Clausthal

#### Kurzgefasst

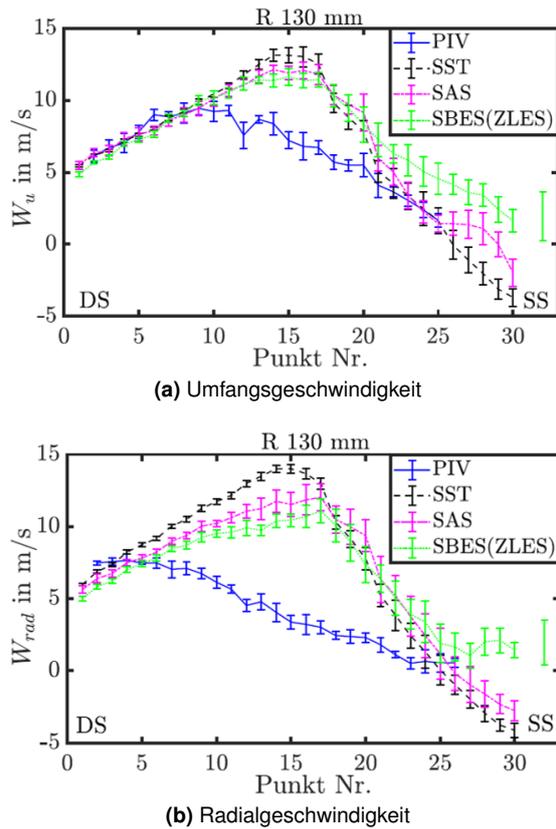
- Die Strömung in radialen Turbomaschinen ist vor allem in der Teillast instabil und durch starke Turbulenz, z.B. an der Saugseite der Schaufeln, charakterisiert
- Hybride LES-RANS Modelle sind häufig für kleine und mittlere Unternehmen zu aufwendig, sodass reduzierte Modelle, wie spektrale Verfahren, Abhilfe schaffen sollen
- Mistuning
- Harmonic Balance / Nonlinear Harmonic

Im Rahmen des Projektes nii00143 wird ein aus der Produktion eines mittelständischen Unternehmens stammender Ventilator bei realitätsnahen Betriebsbedingungen experimentell am ITSM in Stuttgart untersucht. Die Strukturanalyse wird am DLR Göttingen im Institut für Aerolastik durchgeführt. Die Strömungsanalyse findet am ITM der TU Clausthal statt. In Industrieventilatoren können bereits vor dem Erreichen der nominellen Lebensdauer Schäden auftreten, deren Ursachen bislang nicht zufriedenstellend geklärt sind. Dies ist die Motivation für das vorliegende HLRN-Vorhaben, in dem untersucht wird, ob das Laufrad, d.h. das am stärksten belastete Bauteil im Maschine, durch die instationäre Strömung zu schadensrelevanten Schwingungen angeregt werden kann. Insbesondere soll geklärt werden, ob fertigungsbedingte Toleranzen zu einer zusätzlichen aerodynamischen Anregung des Laufrades führen können (sog. „Mistuning“). Ein weiteres Ziel ist die Formulierung von Auslegungsempfehlungen, in denen die Dynamik und modalen Eigenschaften der mit Fertigungstoleranzen behafteten und somit verstimmt Struktur berücksichtigt werden.



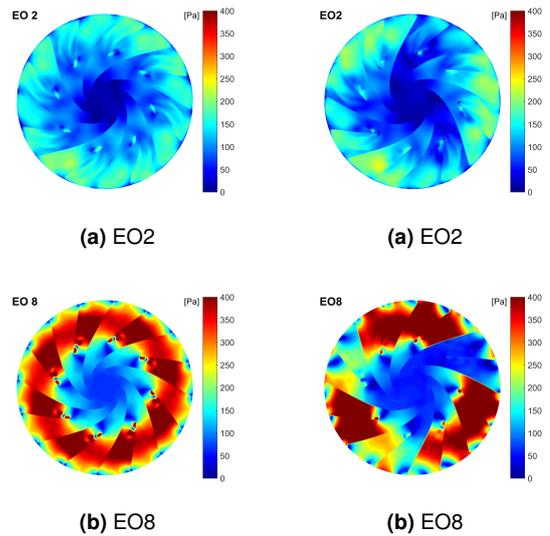
**Abbildung 1:** Ursprüngliche Ausrichtung; Vermessung des Rotors  
**Abbildung 2:** Best-Fit Methode; Vergleich zwischen CAD-Modell und Vermessung

Zudem soll untersucht werden, ob mathematische Modelle auf der Basis der „Harmonic Balance“ Methode geeignet sind, die wesentlichen Charakteristika der Strömung bei Mistuning widerzugeben. Hierzu sind zunächst valide Referenzlösungen auf Basis der zeitabhängigen RANS Gleichungen mit hochwertigen Turbulenzmodellen zu generieren. Die Laufräder von Industrieventilatoren werden aus geformten Stahlblechen geschweißt. Daraus resultieren mitunter erhebliche Formabweichungen von einer vorgegebenen CAD Geometrie. Um diese Abweichungen quantifizieren zu können wurde mit einem optischen Abtastverfahren die reale Geometrie eines Laufrades vermessen. Ein Vergleich der Geometrie der CAD Konstruktion und des geschweißten Laufrades ist in Abb. [1] und [2] dargestellt. Aufgrund der beschränkten optischen Zugänglichkeit konnten nicht alle Bereiche des Laufrades gescannt werden. Dennoch wird deutlich, dass die Schaufeln gegenüber dem CAD-Modell teilweise unterschiedlich stark gekrümmt sind oder sogar kürzer ausfallen. Die Abbildung zeigt auch die Abweichungen zwischen idealer und realer Geometrie, wobei die Farben das Maß der Abweichung beschreiben. Auf der Grundlage dieser Daten kann eine Parametrisierung der Formabweichungen vorgenommen werden, auf deren Basis weitere CFD Berechnungen zur Quantifizierung des aerodynamischen Mistuning vorgenommen werden sollen. Gleichzeitig konnte festgestellt werden, dass hybride LES-RANS Modelle gegenüber klassischen URANS-Modellen bei einem Radialventilator anderer Bauart kaum ersichtliche Verbesserungen darstellen (s. Abb. [3]). Hierzu wurden Geschwindigkeiten auf verschiedenen Radien des Schaufelkanals entnommen und mit PIV-Messungen verglichen. Dabei wurden Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Geschwindigkeitsprofilen im



**Abbildung 3:** Vergleich der Geschwindigkeitsprofile bei 50 % Teillast von der Druckseite (DS) zur Saugseite (SS) [2]

Schaufelkanal festgestellt. Ebenfalls stehen Kosten und Nutzen hybrider LES-RANS Modelle bei diesem Ventilator zu keinem Verhältnis [2]. Auch in Hinblick auf die Rechenkapazitäten von KMUs ist eine Simulation von Radialventilatoren mit dem SBES-Modell in naher Zukunft nicht möglich, wobei auch hier die SAS SST durch geringere Rechenzeiten hinreichend genaue Ergebnisse erzielen kann. Dennoch hat sich gezeigt, dass die Strömung zunehmend instationär wird, je weiter sich der Betriebspunkt des Hochleistungsventilators vom Auslegungspunkt entfernt. Vor allem in der Teillast ist der Bedarf der Abbildung dieser Instationaritäten hoch, um eine sichere Auslegung zu gewährleisten. Hierbei versprechen die „Harmonic Balance“ umfangreiche Simulationen mit überschaubaren Rechenressourcen durchführen zu können, mit der Folge, dass KMU in der Lage sind, höherwertige Simulationsmethoden in Forschung und Entwicklung einsetzen zu können. Dabei berechnet die Harmonic Balance das instationäre Strömungsfeld mittels der Fourier-Zerlegung der periodischen Fluktuationen basierend auf der Schaufelpassierfrequenz und deren Vielfachen [1]. Die Ergebnisse der harmonischen Drücke auf der Innenseite des Rotors können in der Abb. [4] und [5] nachvollzogen werden. Dabei fällt auf, dass Anregungen der Harmonic Balance niedriger Ordnungen



**Abbildung 4:** Harmonischer Druck auf der Bodenscheibe / Druck auf der Bodenscheibe / Transient  
**Abbildung 5:** Harmonischer Druck auf der Bodenscheibe / Druck auf der Bodenscheibe / Harmonic Balance

gut mit den transienten Berechnungen gut übereinstimmen. Je höher die Anregungsordnung (EO) ist, desto schlechter kann die Harmonic Balance diese auflösen. Die Eignung der Harmonic Balance zur Anregungsrechnung mit einem Vollmodell ist nicht gegeben, da die Simulationen die gleiche Rechenzeit benötigen, als auch ein höheren Arbeitsspeicher brauchen, der linear mit der Anzahl der Harmonischen ansteigt.

#### WWW

<https://www.itm.tu-clausthal.de/>

#### Weitere Informationen

- [1] K. C. Hall, J. P. Thomas and W. S. Clark. Computation of unsteady linear flows in cascades using a harmonic balance technique. *AIAA Journal* (2002)
- [2] H. Ding. Numerische Simulation von turbulenten Strömungen in einem Radialventilator. Masterarbeit. TU Clausthal, Institut für Technische Mechanik (2019)

#### Förderung

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen, IGF-Vorhaben 19721 N/1 [www.aif.de](http://www.aif.de)