

Masterarbeit

Frequenzbasierte experimentelle Identifikation strukturellen Mistunings integraler Verdichter- und Turbinenlaufräder

„Frequency-Based Experimental Identification of Structural Mistuning of Integrally Bladed Compressor and Turbine Rotors“

Kleine, in der Regel fertigungsbedingte Abweichungen von Laufradschaufeln untereinander führen dazu, dass sich mechanische Eigenschaften von Schaufel zu Schaufel ungewollt unterscheiden. Diese Verstimmungen sind unter dem Begriff ‚Mistuning‘ bekannt, deren Auswirkungen auf das Schwingungsverhalten beschauelter Räder seit mehr als 50 Jahren Gegenstand intensiver Forschungstätigkeit ist. Dieses Interesse wurde vornehmlich durch die für gewöhnlich aus Fertigungsmistuning resultierende Verstärkung von erzwungener Schwingungsantworten im Vergleich zum perfekten Design mit identischen Schaufeln motiviert [1], [2], [3], [4]. Insbesondere in Verbindung mit geringer mechanischer Dämpfung wirkt sich Mistuning besonders negativ hinsichtlich der Laufradlebensdauer aus. Dem gegenüber steht die Forderung, besonders leichte, effiziente und kostengünstige Laufräder zu bauen, weshalb die konventionelle Bauweise mit gesteckten Schaufeln durch die sogenannte Integralbauweise ersetzt wurde, in der Laufräder aus einem Stück gefertigt werden. Mit dem integralen Design entfällt jedoch eine wesentliche Dämpfungsquelle zwischen Schaufelfüßen und Scheibe, so dass man sich mit einem besonders geringen mechanischen Dämpfungsniveau konfrontiert sieht. Umso wichtiger ist es, Mistuning in Verteilung und Stärke zu kennen und anhand dessen Simulationen erzwungener Schwingungen realitätsnah durchführen zu können.

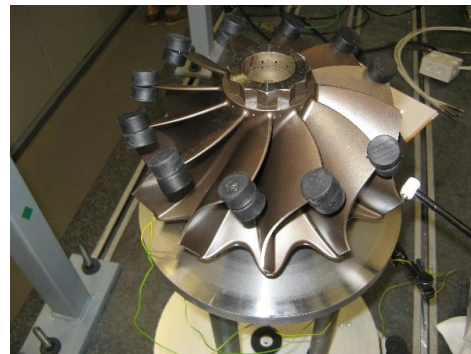
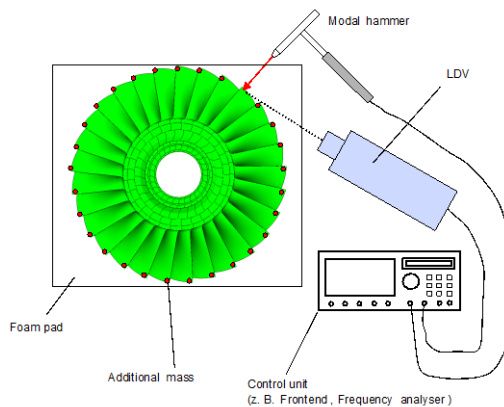


Bild 1: Messtechnischer Aufbau ‚Blade by Blade‘ Messungen [4], [5]

Die messtechnische Ermittlung erfolgt häufig frequenzbasiert mittels sogenannter inverser Methoden [3] oder anhand von ‚Blade by Blade‘ – Schwingungsmessungen auf Basis von Laser-Doppler-Vibrometrie. Ein diesbezüglich etabliertes Verfahren [4], [6] verwendet für diese Anschlagversuche eine zusätzliche Massenverstimmung (Bild 1), welche zur Bestimmung schaufeldominierter Frequenzen dient, aus denen sich schließlich die gesuchten Mistuningverteilungen ableiten lassen. Die Methode beruht darauf, dass sich in den gewünschten Frequenzbändern Eigenfrequenzen isolieren, d.h. modal entkoppelt sind. Lässt sich die modale Kopplung nicht oder nicht vollständig bewerkstelligen,

können fehlerhaft identifizierte Mistuningverteilungen die Folge sein. Aus diesem Grund wurde von Zhou u.a. [7] eine Erweiterung des Verfahrens mittels zusätzlicher Simulationen vorgestellt, deren Ergebnisse für eine Korrektur von Mistuningverteilungen genutzt werden. Im Rahmen dieser Arbeit sollen beide Verfahren für zwei verschiedene Laufräder verwendet und verglichen werden.

Details zur Aufgabenstellung

1. Literaturrecherche zu Verfahren der experimentellen Bestimmung von Mistuning und Einarbeitung in schwingungsspezifische Charakteristiken beschadelter Räder.
2. FE-Modellierung (Sektor- und Vollmodell) von zwei Laufrädern:
 - a. Axiales Hockdruckverdichterrad (29 Schaufeln) eines Flugtriebwerks.
 - b. Radialturbinenrad (12 Schaufeln) eines Schiffsdieselabgasturboladers (Bild 1, rechts).
3. Messtechnische Ermittlung der Mistuningverteilungen nach klassischer ‚Blade by Blade‘ Methodik bis zum sechsten (Verdichter) bzw. fünften Mode (Turbine).
4. Anpassung der FE-Vollmodelle (Model-Update).
5. Programmierung des Algorithmus von Zhou et al. [7] zur Korrektur der unter 3. ermittelten Mistuningverteilungen (i: virtueller ‚Blade by Blade Test‘, ii: Mistuning ID) und Vergleich der Verteilungen.
6. Berechnung erzwungener Schwingungen und Diskussion der Ergebnisse.

Literaturempfehlungen:

- [1] Castanier, M. P., Pierre, C., 2006, "Modelling and Analysis of Mistuned Bladed Disk Vibration: Status and Emerging Directions", *Journal of Propulsion and Power*, 22, No. 2, pp. 384-396.
<https://doi.org/10.2514/1.16345>
- [2] Klauke, Th., 2007, Schaufelschwingungen realer integraler Verdichterräder im Hinblick auf Verstimmung und Lokalisierung. Dissertation BTU Cottbus, der andere Verlag. ISBN: 978-3-89959-685-4.
- [3] Weber, R., 2019, Ein Beitrag zur schwingungssicheren Auslegung von radialen Turbomaschinen mit Fokus auf Mistuning und Dämpfung. *Dissertation, BTU Cottbus-Senftenberg*, Mensch & Buch Verlag.
- [4] Beirow, B., Kühhorn, A., Nipkau, J., 2009, "On the Influence of Strain Gauge Instrumentation on Blade Vibrations of Integral Blisk Compressor Rotors Applying a Discrete Model", GT2009-59207, pp. 245-253; 9 pages.
<https://doi.org/10.1115/GT2009-59207>
- [5] Nakos, A., Schafferus, M., Sasakaras, M., Zobel, A., 2022, Intentional Mistuning zur Begrenzung erzwungener Schwingungsantworten von Radialturbinen. Zwischenbericht über das Vorhaben Nr. 1389 (AiF-Nr. 20992 BG), Frühjahrstagung 2022, Würzburg, 31. März - 1. April 2022, Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. (FVV), Heft R602 - 2022, S.523-558.
- [6] Kühhorn, A., Beirow, B., 2010, "Method for Determining Blade Mistuning on Integrally Manufactured Rotor Wheels", Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, Blankenfelde-Mahlow, Germany, Patent No. US8024137 B2.
- [7] Zhou, B., Zhao, J., Berutti, T.M., 2022, "Exploration of blade detuning tests for mistuning identification of blisks". *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 175, 2022, 109118.
<https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.109118>.

Bearbeitungszeitraum: Frühjahr/Sommer 2023

Betreuer: apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Beirow / M.Sc. Alex Nakos

.....
apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Beirow

Cottbus, 14.03.2023