

Mit **ROMI** gegen die Verstimmung

Winzige Fertigungstoleranzen können dazu führen, dass Schaufeln in Turbomaschinen während des Betriebs verstärkt in Schwingung geraten. Forscher aus Hannover haben das Phänomen ergründet und damit den Grundstein für noch effizientere Turbinen gelegt.

»Wichtig war es, einen Anstieg von Schwingungsamplituden vorherzusagen – und das ist uns gelungen.«

Simulation von Mistuning mit Aerokopplung // Turbomaschinen sind Präzisionsmaschinen. Dennoch: Aufgrund von Fertigungstoleranzen variieren die einzelnen Schaufeln minimal hinsichtlich Geometrie oder Materialeigenschaften. Während des Betriebs sorgen diese Abweichungen von der Idealgeometrie für unerwünscht hohe Schwingungsamplituden – das System ist ›verstimmt‹. Dieser ›Mistuning‹ genannte Effekt tritt bei allen Turbomaschinen auf: In kleinen Turboladern ebenso wie in großen Dampfturbinen oder Flugzeugtriebwerken. In einem FVV-Projekt untersuchten Forscher der Leibniz Universität Hannover (LUH), wie sich Wechselwirkungen mit dem Fluid, etwa Dampf oder Gas, auf die Verstimmung auswirken. Zudem wurde ein Simulationsprogramm entwickelt, um künftig Schwingungsamplituden besser vorhersagen zu können.

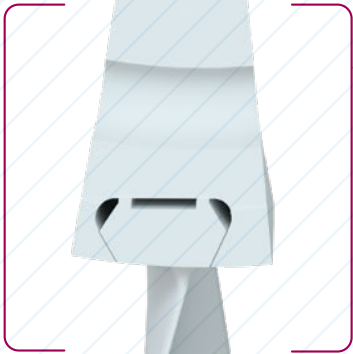
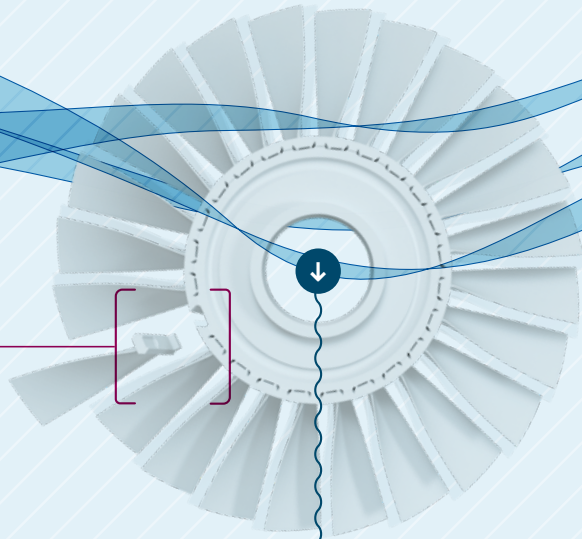
Aus Angst vor solchen Amplituden, die bei verstimmtten Schaufeln im Betrieb entstehen können, werden Bauteile bislang stärker konstruiert als nötig. »Das daraus resultierende Gewicht erfordert dickere Schaufeln und wirkt dadurch der Bemühung

entgegen, den Wirkungsgrad der Turbomaschinen so weit wie möglich zu erhöhen«, erklärt Prof. Dr. Jörg Seume, Institutsleiter und Vorstand am Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik (TFD) der LUH. Für hoch-effiziente Gaskraftwerke, berichtet Seume, wird jedes Jahr eine Wirkungsgradsteigerung von 0,3 Prozentpunkten erreicht, aber eben nur, wenn die Verstimmungphänomene beherrscht werden. Das klingt nicht viel, bedeutet aber auf die jahrelange Laufzeit gesehen die Einsparung großer Mengen Brennstoffs, die sonst CO₂-Emissionen verursacht hätten. »Ziel der Forschungs- und Entwicklungsarbeit ist es, die mechanische Zuverlässigkeit beizubehalten und den Wirkungsgrad gleichzeitig zu steigern«, fasst Seume zusammen.

Mistuning tritt nicht nur durch Fertigungstoleranzen auf, sondern auch durch Kopplungseffekte der Schaufeln. »Bei einer Blisk (Blade Integrated Disk) bestehen Schaufeln und Scheibe letztlich aus einem einzigen Bauteil und sind allein dadurch miteinander gekoppelt. Auch über das strömende Fluid findet eine Kopplung der Schaufeln statt, die schwingungsanregend

Schwingungsberechnung mit ROMI

Eine Verstimmung der Schaufeleigenschaften führt zu erhöhter Schwingbelastung.



→ Sind die Schaufeln einzeln mit ihren Füßen in Nuten der Scheibe befestigt, können sie dort mikroskopisch kleine Relativbewegungen ausführen.

Nichtlineare, strukturmechanische Kopplungen

zwischen Schaufeln und Scheibe erzeugen Reibung und mindern die Schwingungsamplituden, welche durch Experimente im Vakuum mit einer Schwingungsanregung durch Magnete bestimmt werden.

Die **aerodynamische Kopplung** der Schaufeln beeinflusst insbesondere die Dämpfung, die durch Experimente an mehrstufigen Turbomaschinen unter realen Strömungsbedingungen ermittelt wird.

Mit ROMI lassen sich verschiedene Effekte sowohl separat als auch simultan betrachten, um so Schwingungen verstimmter Schaufeln zukünftig besser voraussagen zu können.

Projektdaten

- » Mistuning mit Aerokopplung II [1269]:
Mistuning aerodynamisch und strukturmechanisch gekoppelter Beschaufelungen «
- **PROJEKTFÖRDERUNG**
315.750 Euro // DFG, FVV
- **PLANUNGSGRUPPE**
PGT › Turbomaschinen «
- **PROJEKLEITUNG**
Dr. Harald Schönenborn, MTU Aero Engines
- **FORSCHUNGSTELLEN**
Institut für Dynamik und Schwingungen (IDS) // Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik (TFD), beide Leibniz Universität Hannover

wirkt«, berichtet Dr. Lars Panning-von Scheidt, Leiter des Forschungsbereiches Dynamik rotierender Maschinen am Institut für Dynamik und Schwingungen (IDS) der LUH. Sind die Schaufeln einzeln mit ihren Füßen in Nuten der Scheibe befestigt, können sie dort mikroskopisch kleine Relativbewegungen ausführen – was die Berechnung der Schwingungen zusätzlich kompliziert macht.

Um die verschiedenen Einflussmöglichkeiten zu untersuchen, arbeiteten die Forscher an zwei Prüfständen mit unterschiedlichen Konfigurationen. Jener am IDS ist eine idealisierte Turbinenstufe in einer Kammer, in der sich die Effekte ohne störende Einflüsse abbilden lassen. »Hier rotieren die durch einen Elektromotor angetriebenen Schaufeln im Vakuum, dadurch blenden wir Wechselwirkungen mit dem Fluid aus«, sagt Panning-von Scheidt. Strukturmechanische Schwingungen werden künstlich erzeugt: Zum einen mit Permanentmagneten, die in der Kammer verteilt sind, zum anderen im Standversuch mit Laut-

sprechern, die für eine akustische Anregung sorgen. Der Prüfstand am TFD hingegen ermöglicht die reale Anregung durch das strömende Fluid, mit dem sich auch die Dämpfung untersuchen lässt. In modernen Gas- oder Dampfturbinen kann die Verstimmung in der letzten Schaufelreihe so groß sein, dass die Turbinen ohne die zusätzliche Dämpfungswirkung der Strömung nicht stabil laufen können.

An den Instituten kam eine Simulationssoftware zum Einsatz, die in einem Vorgängerprojekt entwickelt und nun erweitert wurde. Das Simulationsprogramm ROMI (Reduced Order Model for Mistuned Turbine Blades) ermöglicht die Schwingungsberechnung unter Berücksichtigung verschiedener Kopplungseinflüsse. Statt durch externe Softwareentwickler wurde ROMI durch einen wissenschaftlichen Mitarbeiter geschrieben. Aus gutem Grund: »Wir wollen das Projekt weiterführen und den Code dementsprechend immer anpassen können. Das geht besser, wenn wir ihn selbst entwickeln«, erklärt Panning-von Scheidt.

In aufwendigen, mehrere Monate dauernden Testreihen überprüften die Wissenschaftler, wie gut die Ergebnisse der Simulationen mit den Realdaten übereinstimmen. »Es gab kleine Diskrepanzen, die durch den Aufbau bedingt waren. Vorhersagefehler sind beim derzeitigen Stand der Technik bei der Strömungsmechanik naturgemäß etwas größer«, sagt Seume, und zeigt sich dennoch zufrieden: »Wichtig war es, einen Anstieg von Schwingungsamplituden vorherzusagen – und das ist uns gelungen.« //