

Leistungsschub in der Triebwerkstechnik



Applikationsbereich

- A Luft- und Raumfahrt
- B Audio & Akustik
- C Automobilentwicklung
- D Datenspeicher
- G Vibrometrie allgemein
- M Mikrosystemtechnik
- P Fertigungsprüfung
- S Wissenschaft/Medizin
- T Strukturuntersuchungen
- U Ultraschalltechnik

Scanning Vibrometer visualisiert Lokalisierungseffekte bei Strukturschwingungen eines Triebwerksverdichter-Laufrades in Integralbauweise

Verdichterlaufräder für Flugtriebwerke werden zunehmend in Integralbauweise hergestellt. Bei der Untersuchung und Interpretation von Schwingungserscheinungen, die für die Lebensdauer des Laufrades relevant sind, stellt diese innovative Bauform eine besondere Herausforderung dar. Mit dem Einsatz eines PSV-400 Scanning Vibrometers wird hier ein wesentlicher Beitrag geleistet, da es die maßgeblichen Schwingformen direkt visualisieren kann.

Einleitung

Verbunden mit der Forderung nach immer umweltfreundlicheren und leistungsfähigeren Flugtriebwerken hat die sogenannte Integralbauweise von Verdichterlaufrädern einen stetig zunehmenden Stellenwert. Da diese Strukturen aus einem Stück oder mittels Reibschweißverfahren gefertigt werden, kann man auf gewichtsintensive Schauffuß-Konstruktionen verzichten. Mit der sogenannten Blisk (Blade integrated disk)-Bauform können daher im Vergleich mit der konventionellen Ausführung höhere Rotationsgeschwindigkeiten und ein verbessertes Druckverhältnis erzielt werden. Allerdings wirft sie eine Reihe von Fragen zum strukturdynamischen Verhalten auf. Insbesondere ist der Einfluss von Fertigungsungenauigkeiten (Mistuning) nicht zu vernachlässigen, da die Schauffeln dabei indivi-

duell unterschiedliche Schwingungseigenschaften erhalten (Bild 1). In diesem Zusammenhang können auch Lokalisierungserscheinungen in den Schwingungsmoden auftreten, welche durch aerodynamische Anfachungen zu hohen Beanspruchungen der Schauffeln führen können.

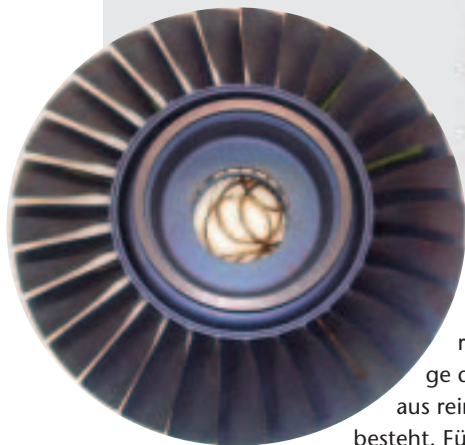
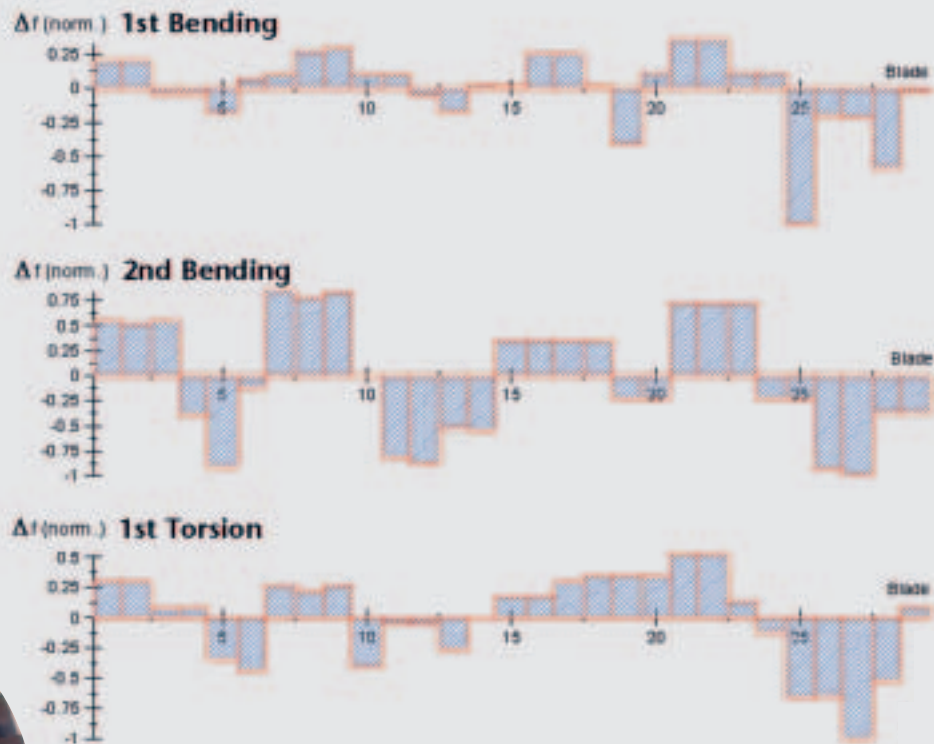
Lokalisierungsphänomen

Wird eine derartige Schwingungsform im Betrieb angefacht, ergeben sich Überhöhungen der maximalen Schwingungsamplitude bis über den Faktor 2 im Vergleich mit einem idealen Design. Besonderes Augenmerk verlangt die Tatsache, dass in diesem Fall das Verzerrungsniveau einzelner, von der Lokalisierung betroffener Schauffeln besonders groß wird und sich somit negativ auf die Lebensdauer auswirkt.

Polytec GmbH
Optische Messsysteme
Applikationsnote
VIB-A-02

August 2006

Bild 1: Versuchsblisk und auf individuelle Schaufeln bezogene Blade-Alone-Frequenzen (Abwicklung)



Diese Tendenz verstärkt sich durch die extrem geringe Dämpfung, die infolge der Integralbauweise nur aus reiner Materialdämpfung besteht. Für die Visualisierung der

Schwingformen und somit der Lokalisierungsphänomene ist die Laser-Scanning-Technik besonders geeignet.

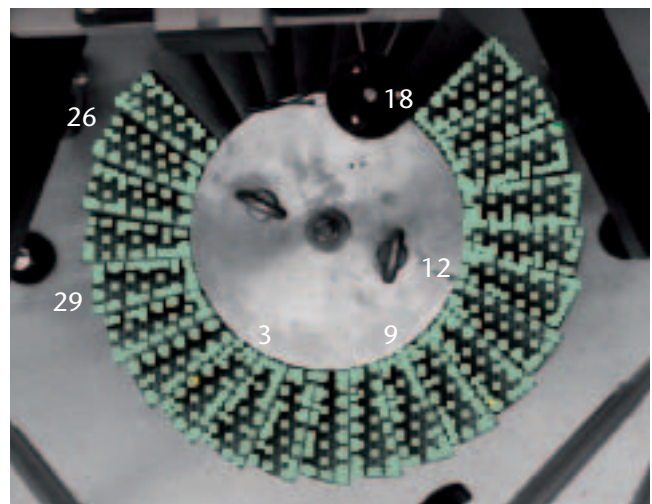
Messtechnischer Aufbau

Die untersuchte Blisk (Bild 2) umfasst 29 Schaufeln, von denen die Schaufeln 3, 9, 12, 18, 26 und 29 mit Dehnmessstreifen (DMS) instrumentiert sind. Aufgrund ihrer zusätzlichen Masse, Dämpfung und Steifigkeit ist der Einfluss der DMS auf das Schwingverhalten nicht vernachlässigbar. Im Rahmen späterer Testläufe stellt die Überwachung der DMS-Signale einen zuverlässigen Betrieb sicher.

Die Anregung erfolgt mittels eines über eine Spannvorrichtung angekoppelten elektrodynamischen Shakers mit einem Gleitsinus-Signal im Bereich der Grundbiegefrequenzen der Schaufeln. Die Ankopplung ist zur Ermittlung von Übertragungsfunktionen mit einem Referenz-Kraftsensor versehen.

Die Flächenmessung mit dem PSV-400 Scanning Vibrometer beschränkt sich aufgrund von Abschattungseffekten zunächst auf 22 Schaufeln. Zur Vervollständigung der Schwingungsforminformation in Umfangrichtung wurde in einem zusätzlichen Scan auf einem geschlossenen Ring im Bereich der Schaufelspitzen gemessen.

Bild 2: Anordnung der 1128 Scanpunkte und DMS-instrumentierte Schaufeln



Ergebnisse

Die Darstellung der über alle Scanpunkte gemittelten Übertragungsfunktionen (Bild 3) zeigt, dass im untersuchten Frequenzband eine Reihe von Peaks auftritt, die einerseits aus dem Mistuning der Schaufeln resultieren, andererseits mit bestimmten Schwingungsmoden der gekoppelten Scheibe/Schaufel-Bewegung in Zusammenhang stehen.

Eine 2D-Visualisierung zugehöriger Schwingungsformen ist für einige ausgewählte Fälle in den Bildern 4 und 5 zusammengefasst. Die Beispiele a – c sind dabei geprägt von starken Kopplungen von Scheiben- und Schaufelbewegungen, was sich im Auftreten von Knotendurchmesserlinien äußert.

So entspricht der Fall a) einer Schwingform mit zwei Knotendurchmesserlinien, einer sogenannten „Cyclic Symmetry Mode 2“ (CSM 2), welche infolge des Mistunings zu einem gewissen Grad verzerrt ist und daher in der Abwicklung (Bild 5) von einer idealen sinusförmigen Gestalt abweicht.

Die Schwingungsformen b) und c) entsprechen den Moden CSM 5 und CSM 1, während sich d) nicht mehr ohne weiteres zuordnen lässt. Hier zeigt sich vielmehr eine im Bereich der Schaufel 3 stark lokalisierte Schwingungsform, wie sie prinzipiell durch Mistuning hervorgerufen werden kann. Eine derartige Schwingform fällt durch eine weitgehend isolierte Bewegung einer Schaufel und ggf. der unmittelbar angrenzenden Schaufeln auf. Die Schaufel 3 ist mit einem DMS instrumentiert, sodass durch dessen Massen- und Steifigkeitsbeitrag eine zusätzliche Verstimmung hervorgerufen wird. In Vorversuchen konnte nachgewiesen werden, dass die zugehörige Schwingfrequenz der sogenannten „Blade-Alone-Frequenz“ der instrumentierten Schaufel 3 entspricht.

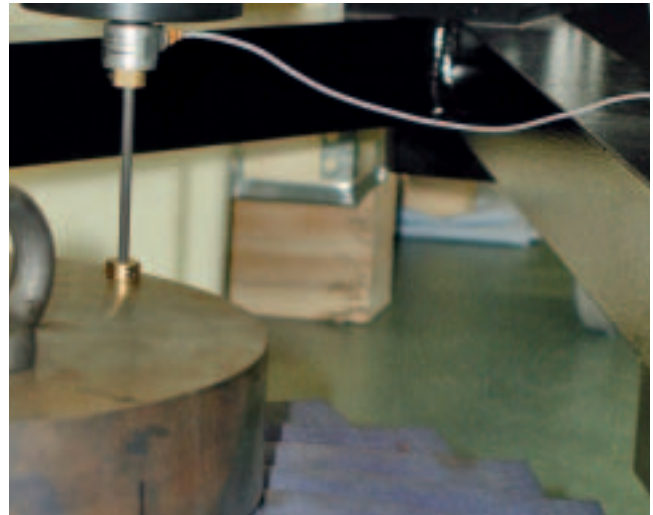


Bild 2: Shaker-Ankopplung

Fazit

Mithilfe von PSV-400 Laser-Scanning-Untersuchungen lassen sich Lokalisierungseffekte an Verdichterlaufrädern nachweisen, die durch ein Mistuning der Schaufeln bei der Fertigung verursacht werden. Die Kenntnis derartiger Phänomene ist von wesentlicher Bedeutung, um ihre Beiträge im Rahmen von Lebensdauerberechnungen berücksichtigen zu können.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Rolls-Royce Deutschland für die fachliche und finanzielle Unterstützung für die in diesem Beitrag dargestellten Untersuchungen.

Die Untersuchungen sind Teil des Vorhabens DeSK Blisk Validierung (FKZ: 80121978), welches durch das Land Brandenburg und mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (efreinfo@mw.brandenburg.de) gefördert wird.

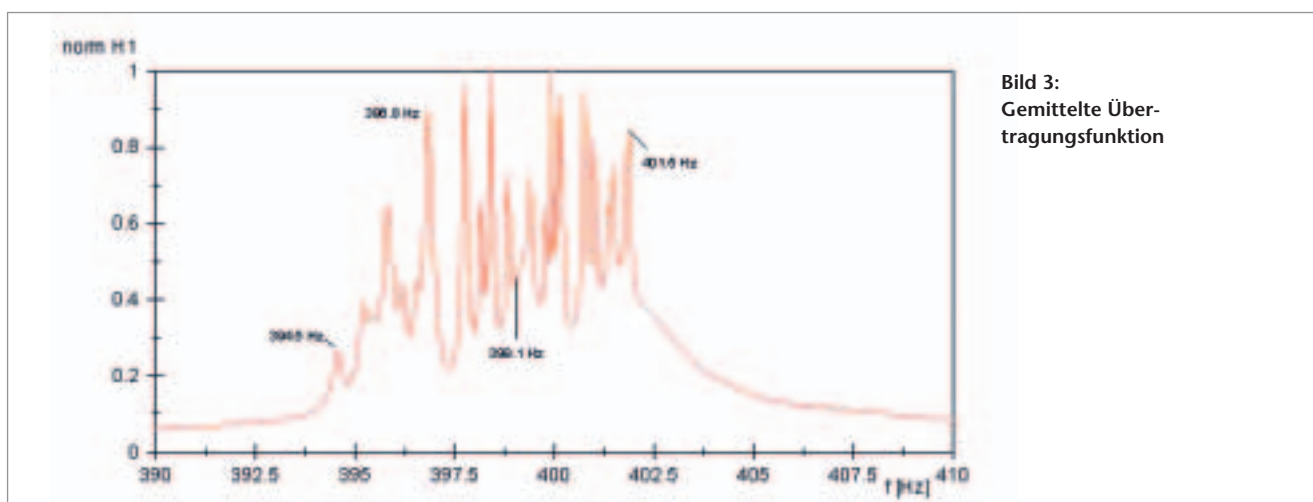


Bild 3:
Gemittelte Über-
tragungsfunktion

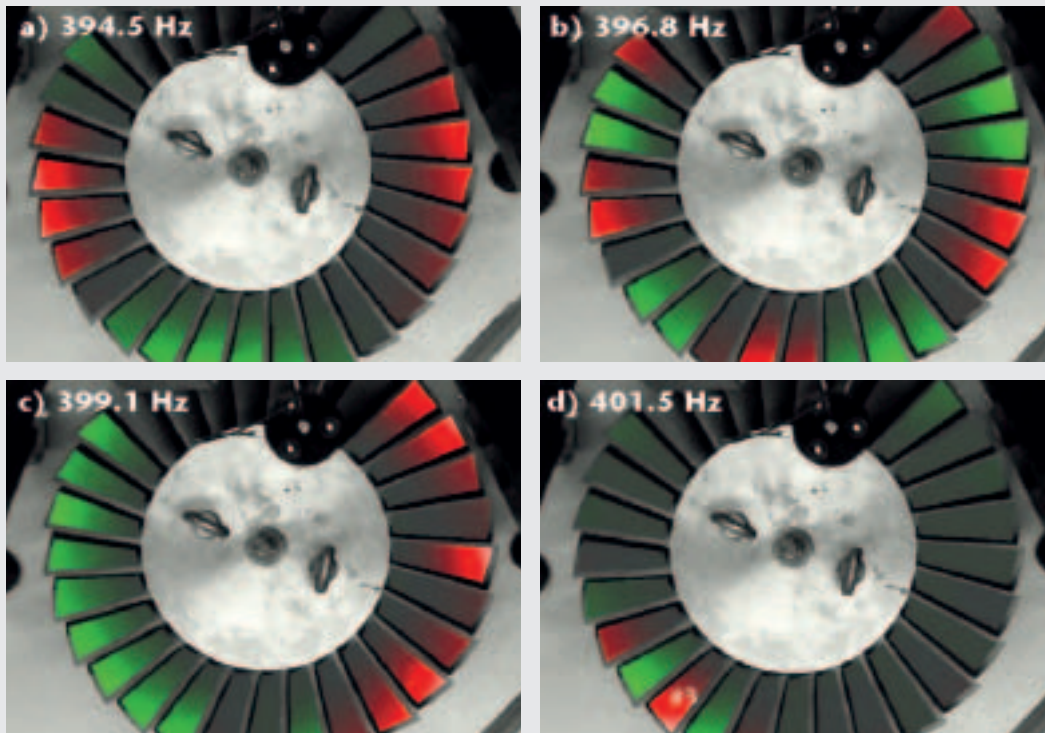


Bild 4: Ausgewählte Schwingformen

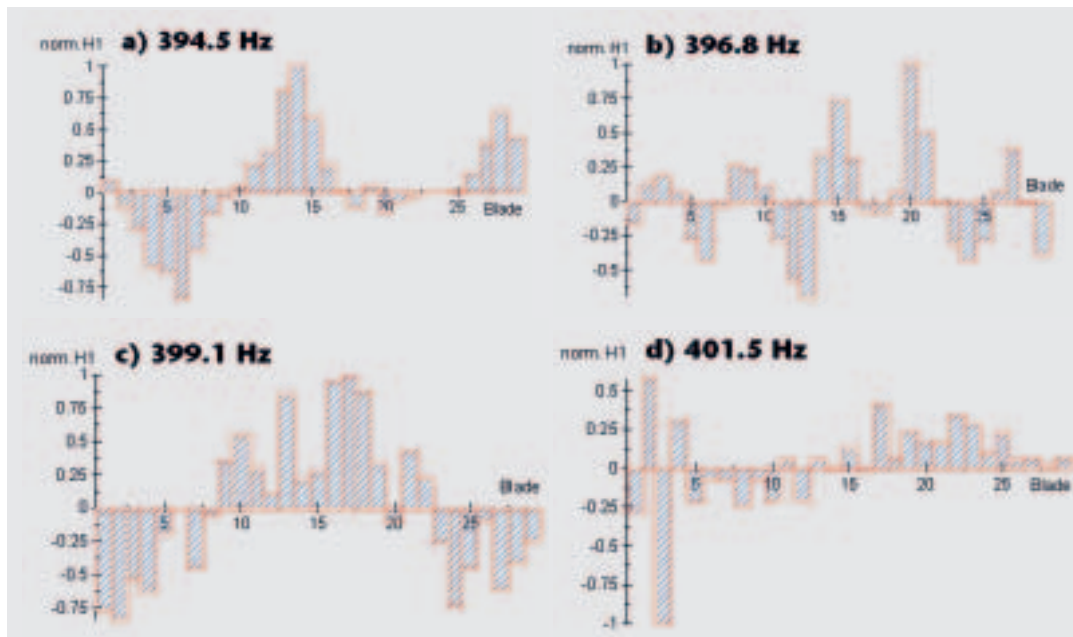


Bild 5: Abwicklung ausgewählter Moden aus Bild 4 an der Spitze der Einlaufkante

Autor: Dr.-Ing. Bernd Beirow · Brandenburgische Technische Universität Cottbus
Lehrstuhl für Strukturmechanik und Fahrzeugschwingungen
Siemens-Halske-Ring 14 · 03046 Cottbus · beirow@tu-cottbus.de

Weitere Informationen finden Sie unter www.polytec.de, oder lassen Sie sich durch unsere Produktspezialisten beraten: oms@polytec.de

Polytec GmbH
Polytec-Platz 1-7
76337 Waldbronn
Tel. +49 7243 604-0
Fax +49 7243 69944
info@polytec.de

Polytec GmbH
Vertriebs- und
Beratungsbüro Berlin
Schwarzschildstraße 1
12489 Berlin
Tel. +49 30 6392-5140
Fax +49 30 6392-5141