

Leistungsschub in der Triebwerkstechnik

Strukturschwingungen an Verdichterlaufrädern
analysieren

Applikationsnote





Scanning Vibrometer visualisieren Lokalisierungseffekte bei Strukturschwingungen an Triebwerksverdichterlaufrädern in Integralbauweise (blisk).

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

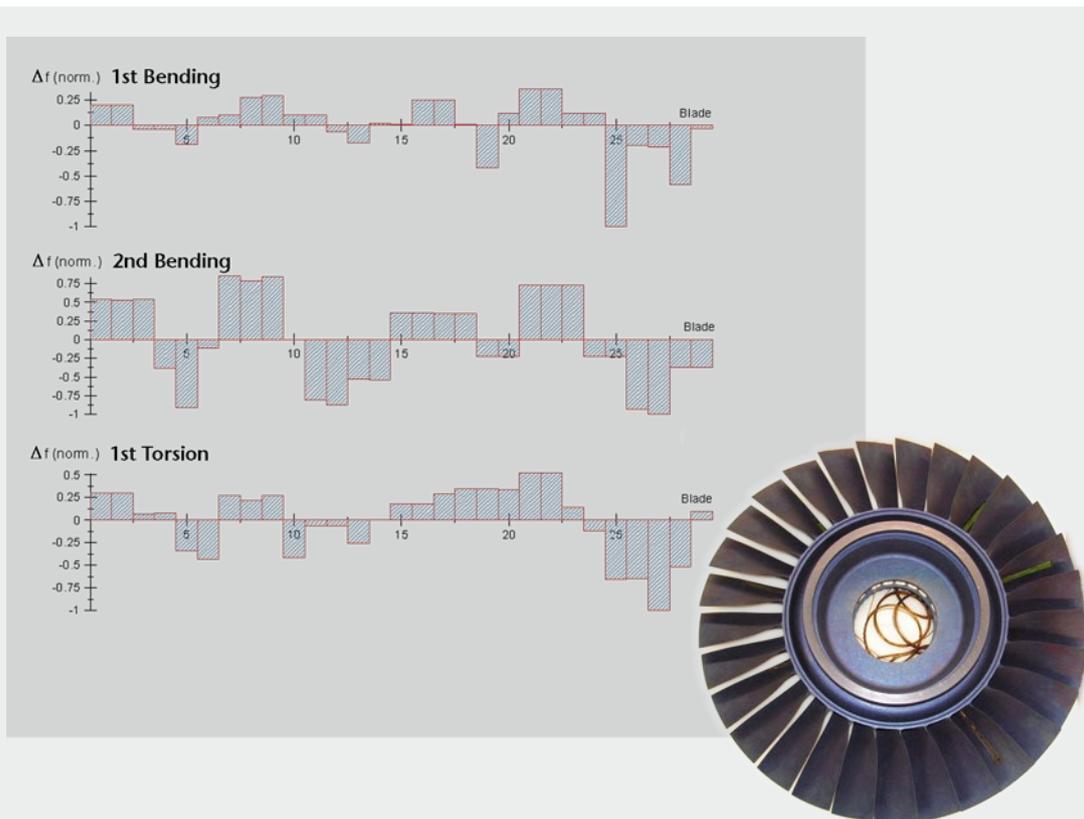
Verbunden mit der Forderung nach immer umweltfreundlicheren und leistungsfähigeren Flugtriebwerken hat die sogenannte Integralbauweise von Verdichterschaufelrädern einen hohen Stellenwert. Da diese Strukturen aus einem Stück oder mittels Reibschweißverfahren gefertigt werden, kann man auf gewichtsintensive Schaufelfuß-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 ver-

nachlässigen, da die Schaufeln dabei individuell unterschiedliche Schwingungseigenschaften erhalten (Bild 1). In diesem Zusammenhang können auch Lokalisierungserscheinungen in den Schwingungsmoden auftreten, welche durch aerodynamische Anfachungen zu hohen Beanspruchungen der Schaufeln führen können.

Lokalisierungsphänomen

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

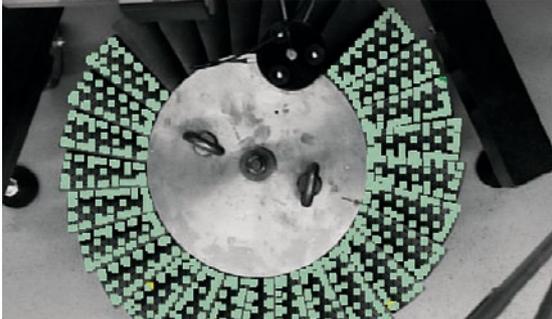
Diese Tendenz verstärkt sich durch die extrem geringe Dämpfung, die infolge der Integralbauweise nur aus reiner Materialdämpfung besteht. Für die Visualisierung der Schwingformen und somit der Lokalisierungsphänomene ist die Laser-Scanning-Technik besonders geeignet.



1
Test-Blisk und auf individuelle Schaufeln bezogene Blade-Alone-Frequenzen (Abwicklung)

2

Anordnung der 1128 Scanpunkte und DMS-instrumentierte Schaufeln



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 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.

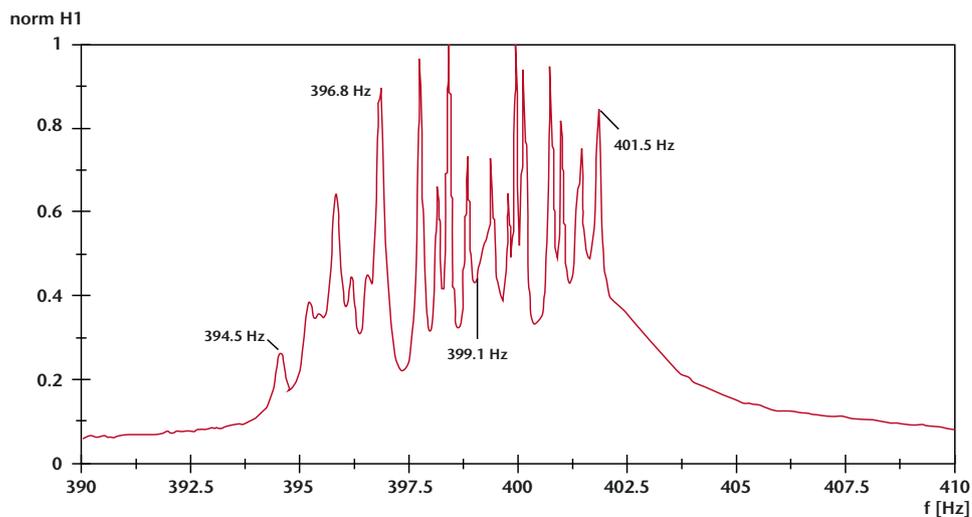
3

Shaker-Ankopplung



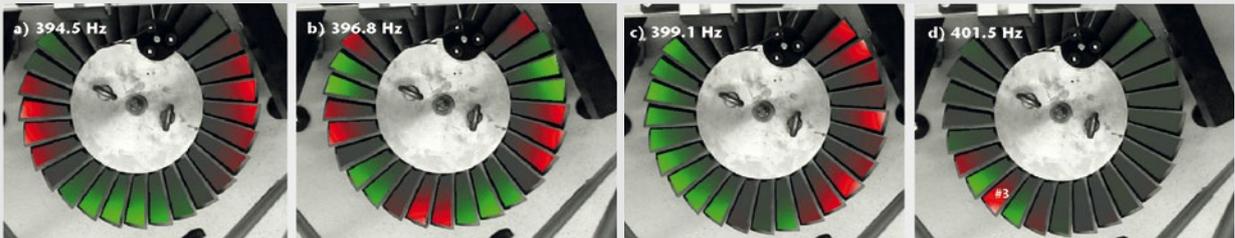
4

Gemittelte Übertragungsfunktion





5
Ausgewählte
Schwingformen



Ergebnisse

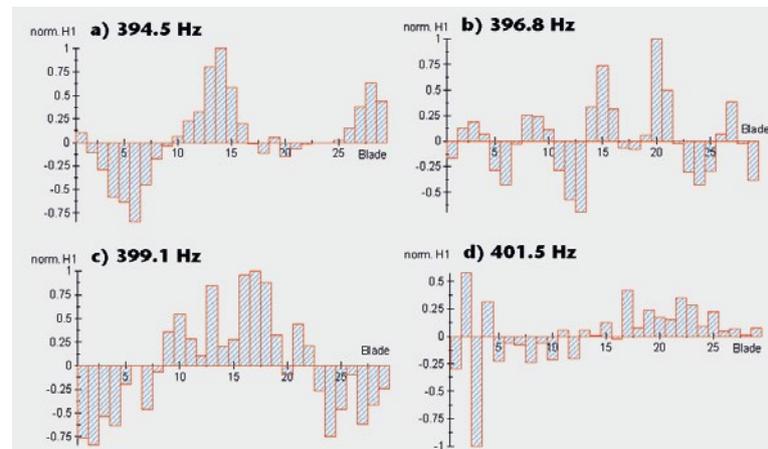
Die Darstellung der über alle Scanpunkte gemittelten Übertragungsfunktionen (Bild 4) zeigt, dass im untersuchten Frequenzband eine Reihe von Peaks auftritt, die einerseits aus dem Mistuning der Schaufeln resultieren, andererseits mit bestimmten Schwingmoden der gekoppelten Scheibe/Schaufel-Bewegung in Zusammenhang stehen. Eine 2D-Visualisierung zugehöriger Schwingformen ist für einige ausgewählte Fälle in den Bildern 5 und 6 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 6) 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 Schwingform, 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.

6
Abwicklung
ausgewählter
Moden aus Bild 5
an der Spitze der
Einlaufkante



Berührungsfreie Messmethoden wie die Laser Scanning Vibrometrie sind die Grundlage zur Analyse unverfälschter Strukturschwingungen und effizienter Lebensdauerberechnung.

Fazit

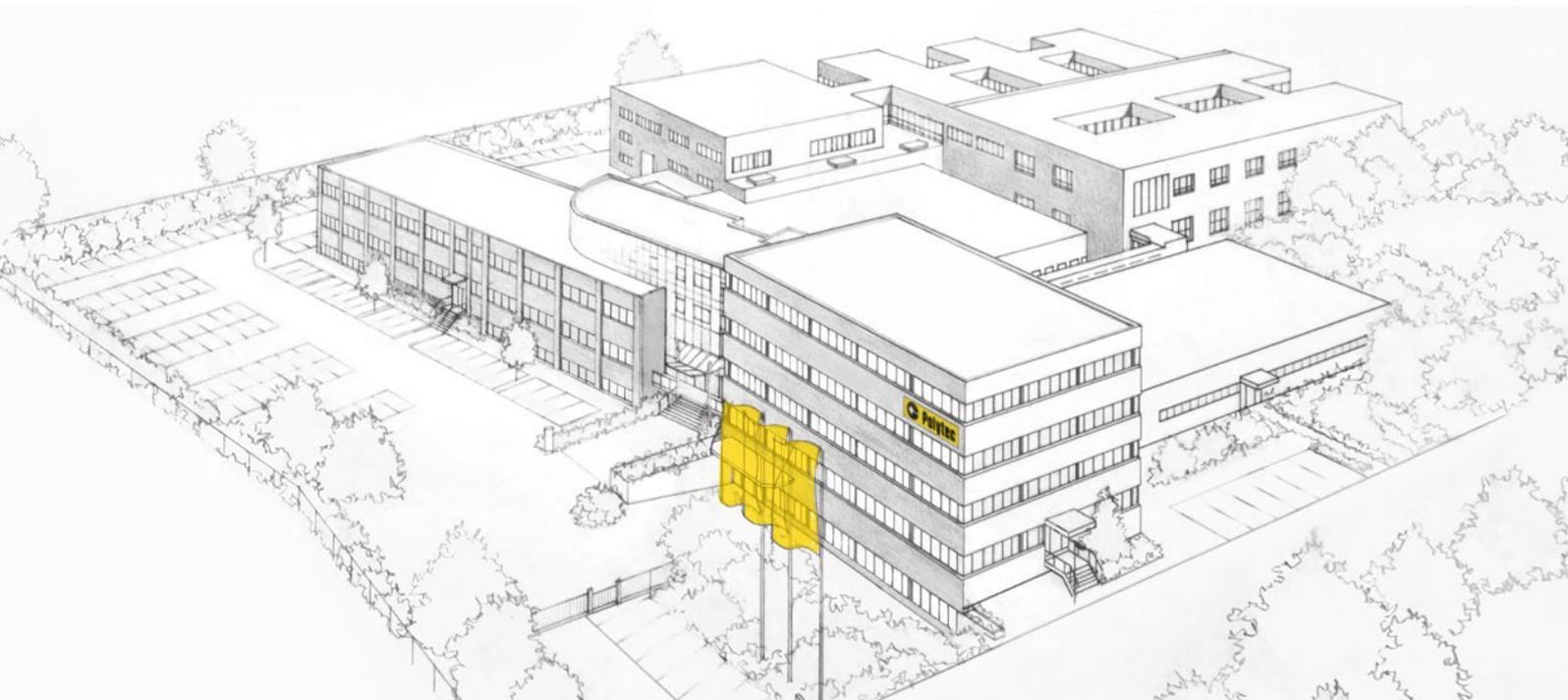
Mithilfe von berührungsfreier Untersuchungen per Laser mit einem PSV Scanning Vibrometer lassen sich Lokalisierungseffekte an Verdichterlaufrädern nachweisen, die durch ein Mistuning der Schaufeln bei der Fertigung verursacht werden. Die Kenntnis derartiger Phänomene ist von wesentlicher Bedeutung, um 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 gefördert wird.

Autoren

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



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

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

 **Polytec, Inc.**
(USA)
 North American
 Headquarters
 16400 Bake Parkway
 Suites 150 & 200
 Irvine, CA 92618
 Tel. +1 949 943-3033
 info@polytec.com

Central Office
 1046 Baker Road
 Dexter, MI 48130
 Tel. +1 734 253-9428

East Coast Office
 1 Cabot Road
 Suites 101 & 102
 Hudson, MA 01749
 Tel. +1 508 417-1040

 **Polytec Ltd.**
(Great Britain)
 Lambda House
 Batford Mill
 Harpenden, Herts AL5 5BZ
 Tel. +44 1582 711670
 info@polytec-ltd.co.uk

 **Polytec France S.A.S.**
 Technosud II
 Bâtiment A
 99, Rue Pierre Semard
 92320 Châtillon
 Tel. +33 1 496569-00
 info@polytec.fr

 **Polytec Japan**
 Arena Tower, 13th floor
 3-1-9, Shinyokohama
 Kohoku-ku, Yokohama-shi
 Kanagawa 222-0033
 Tel. +81 45 478-6980
 info@polytec.co.jp

 **Polytec South-East Asia**
Pte Ltd
 Blk 4010 Ang Mo Kio Ave 10
 #06-06 TechPlace 1
 Singapore 569626
 Tel. +65 64510886
 info@polytec-sea.com

 **Polytec China Ltd.**
 Room 402, Tower B
 Minmetals Plaza
 No. 5 Chaoyang North Ave
 Dongcheng District
 100010 Beijing
 Tel. +86 10 65682591
 info-cn@polytec.com