



Berührungsfreie Schwingungs- diagnostik an Windkraftanlagen

Betriebsschwingungen aus großen
Distanzen messen
Applikationsnote



Die Auslegung von Windkraftanlagen muss hohen Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften der Komponenten genügen.



1

Laserpunkte auf den Reflektorfolien am Rotorblatt

Im Betrieb werden durch die Windeinwirkung Schwingungen angeregt, die bei größeren Anlagen zu Auslenkungen des Turms und der Rotorblätter bis zu 1 m führen können, bei typischen Eigenfrequenzen von einigen Hertz.

Die Motivation, diese Schwingungen im Betrieb zu messen, besteht einerseits darin, die bei der Konstruktion eingesetzten Simulationsmodelle zu prüfen und zu optimieren, andererseits einen fehlerfreien Betrieb sicherzustellen, indem Materialbelastungen und -ermüdungen rechtzeitig erkannt werden. Eine solche vorbeugende Instandhaltung (Condition Monitoring) wird oft mithilfe von Sensoren durchgeführt, die an verschiedenen Stellen des Triebstrangs platziert werden und beispielsweise Aufschluss über Lagerschäden in der Kraftübertragung geben können. Auf den Rotorblättern ist die Messung von Schwingungen mit kontaktierenden Sensoren, vor allem während des Betriebs, nur über aufwendige Telemetriesysteme möglich. Optische Messverfahren, wie beispielsweise die Laservibrometrie, sind berührungsfrei und bieten außerdem den Vorteil, dass aus großen Abständen und im Idealfall ohne Präparation des Messpunkts gemessen werden kann. In der vorliegenden Untersuchung sollte daher im Rahmen eines Projekts zur Erforschung sensorgestützter Betriebsüberwachungssysteme die Eignung von Laservibrometern zur berührungsfreien Schwingungs-Ferndiagnostik an Windkraftanlagen geprüft werden. Das Forschungsnetz-

werk CEwind, in dem die Aktivitäten einer ganzen Reihe von Hochschulen gebündelt werden, verfolgt mit solchen wissenschaftlichen Arbeiten das Ziel, grundlegende Fragestellungen zukünftiger Windenergieanlagen, Windenergieparks und der dazugehörigen Infrastruktur zu bearbeiten.

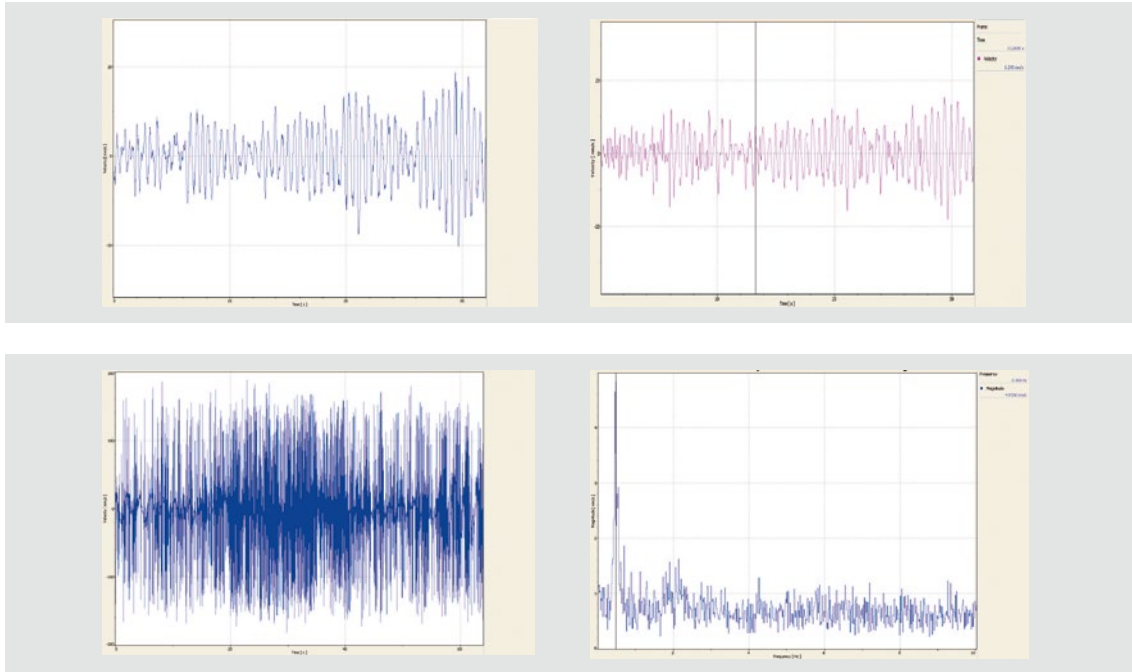
Experimenteller Aufbau und Fragestellung

Bei der hier untersuchten Windkraftanlage handelt es sich um eine E-30 des Herstellers Enercon mit einer Nennleistung von 300 kW und einer Nabenhöhe von 50 m. Verschiedene Vibrometersysteme standen für die Messungen am Turmschaft, an der Nabe und an den Rotorblättern aus großem Abstand zur Verfügung. Im Experiment sollten neben den Eigenfrequenzen das Signal-Rausch-Verhältnis sowie Übertragungsfunktionen für unpräparierte bzw. mit Reflektorfolie präparierte Oberflächen bestimmt werden. Ein Rotorflügel sowie die Nabe wurden dazu im Vorfeld an definierten Stellen mit Reflektorfolie beklebt (Bild 1).

Für Detail- und Referenzmessungen stand ein OFV-505 Einpunkt-Vibrometer bereit, der dazugehörige OFV-5000 Vibrometer Controller war mit einem hochauflösenden digitalen VD-09 Geschwindigkeitsdecoder ausgerüstet. Weitere Messpunkte wurden mit einem PSV-400 Scanning Vibrometer erfasst. Die Scannerspiegel ermöglichten dabei ein bequemes Anfahren der

2

Zeitverlauf der Schwinggeschwindigkeit am Rotorblatt;
Links: PSV-400 mit Reflektorfolie;
Rechts: OFV-505 ohne Reflektorfolie, mit SLR-Linse, nach Tiefpass-Filterung (5 Hz)



Messorte und mithilfe des integrierten Geometrie-Scanners konnten die Koordinaten automatisch bestimmt werden.

Ergebnis

Die präparierten Oberflächen gewährleisteten auch bei großen Messabständen ein exzellentes Signal-Rausch-verhältnis, so dass Messungen selbst bei Entfernungen bis 90 m leicht realisierbar sind. Die ersten Eigenfrequenzen liegen bei 0,47 Hz für den Turm und bei 1,85 Hz für das Rotorblatt. Ohne Mittelung lassen sich noch Oberfrequenzen bis ca. 50 Hz bestimmen. Auf den nicht präparierten Flächen sind gute Messungen ebenfalls möglich, wenn dazu der OFV-505 Messkopf in Verbindung mit einer SLR Super Long Range Linse verwendet und die Messwerte mit einem Tiefpassfilter auf <5 Hz eingeschränkt werden (Bild 2).

Um den Messfleck ohne Reflektorfolie aus der Entfernung finden und verfolgen zu können, empfehlen sich optische Hilfsmittel, beispielsweise ein Fernrohr mit optischem Schmalbandfilter. Zur Bestimmung der Übertragungsfunktionen wurden Messungen mit mehreren Vibrometern zeitgleich sowohl an einer ortsfesten Referenzposition als auch auf variablen Punkten auf dem Rotorblatt durchgeführt. Die Messungen ergeben Rauschpegel bei 4 mHz Auflösung von 1 $\mu\text{m/s}$ für das Geschwindigkeitssignal bzw. 0,1 μm für das Wegsignal, sowie Wegamplituden bis 8 mm, bei einer Windstärke von 3–4 während der Messung.

Erste Versuche, auch im Betriebszustand bei drehendem Rotor zu messen, verliefen ebenfalls positiv. Die Schwin-

gungen überlagern sich dabei mit der infolge der Rotordrehung auftretenden Periodizität zu einem komplexen Zeitsignal (Bild 3, links). Nach einer Fast-Fourier-Transformation (FFT) des Signals und Anwendung eines Tiefpassfilters ist dennoch die erste Eigenfrequenz des Turms bei 0,47 Hz klar zu erkennen (Bild 3, rechts).

Um auch das Rotorblatt im Betriebszustand erfassen zu können, müsste mehr in Nabennähe gemessen werden. Dort ist das Tastverhältnis für die Verweildauer des Laserspots auf dem Rotorblatt günstiger. Mithilfe einer zeit-aufgelösten FFT könnten dann Turm- und Rotorschwingungen voneinander getrennt werden.

Fazit

Laservibrometer sind ein leistungsfähiges Werkzeug zur berührungsfreien Schwingungsdiagnostik auch über größere Entfernungen, beispielsweise an Windkraftanlagen. Die Messungen sind bequem vom Boden aus möglich, bei entsprechender Ausrüstung der Messtechnik und geeigneten Messanordnungen auch ohne das Anbringen von Reflektorfolie und während des laufenden Betriebs.

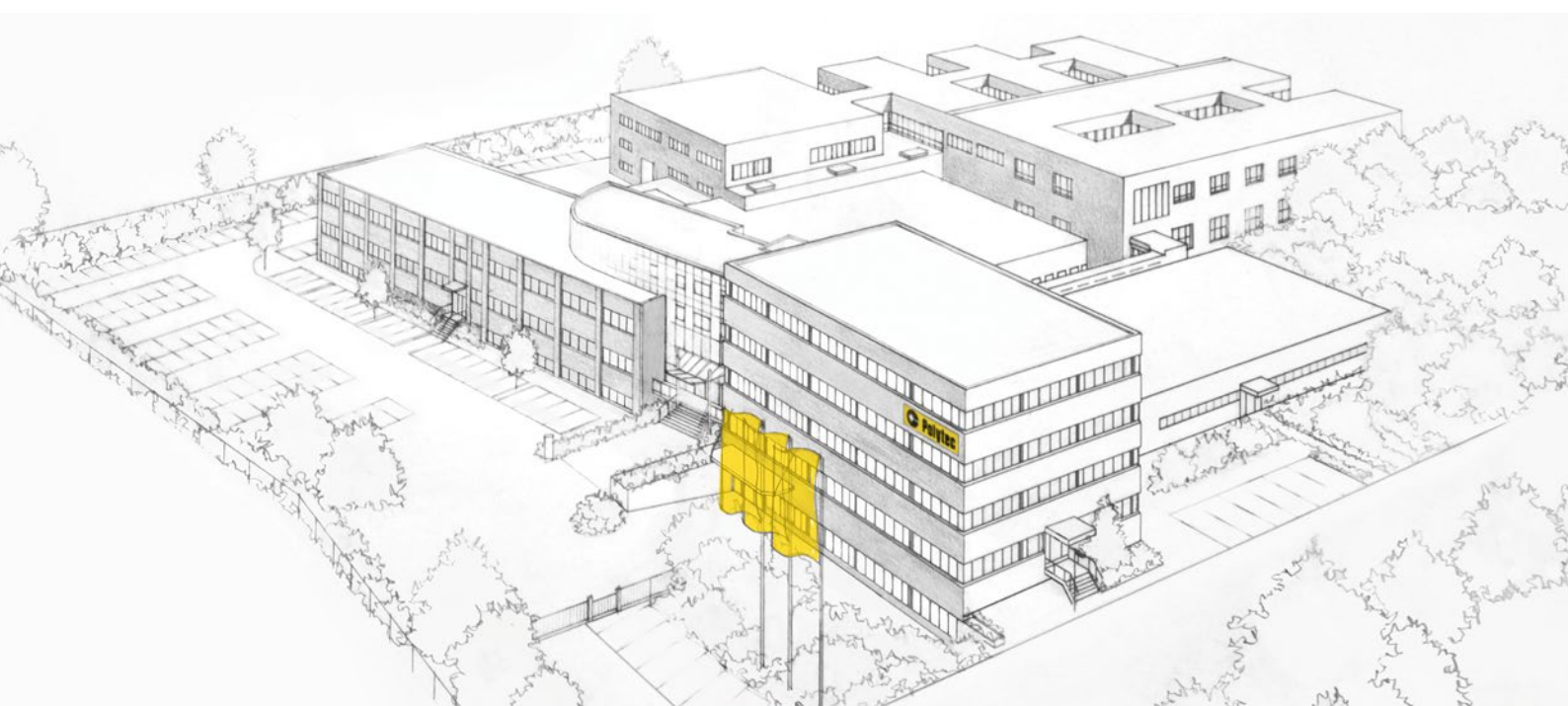
Autoren

Prof. Dr.-Ing. Ernst Reimers
Dipl.-Ing. Harald Wiegers
Institut für Werkstoffe und Konstruktion,
Fachhochschule Flensburg

Quelle: Polytec InFocus 2/2008

3

Messung im Betriebszustand, Zeitsignal (links) und Frequenzspektrum nach FFT und Tiefpass-Filterung (rechts)



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

**Polytec GmbH
(Germany)
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
25 South Street, Suite A
Hopkinton, MA 01748
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**
Arena Tower, 13th floor
3-1-9, Shinyokohama
Kohoku-ku, Yokohama-shi
Kanagawa 222-0033
Tel. +81 45 478-6980
info@polytec.co.jp