



Herausforderungen an Technik und Sicherheit

Windkraft ist eine Energiequelle mit stetig zunehmender Bedeutung. Die deutsche Bundesregierung plant gegenwärtig den Stromanteil aus Windenergie bis zum Jahr 2025 auf 25 % zu erhöhen. Im Betrieb sind Windkraftwerke starken Schwingungen und mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt und müssen daher einerseits für eine hohe Dauerfestigkeit ausgelegt sein, andererseits muss das dynamische Verhalten auch



Bild 1: komplettes Rotorblatt mit zusätzlichen Massenpaketen am Versuchsstand auf dem IMA-Gelände Dresden

Berührungsfreie Methoden im Aufwind

Optische Schwingungsmessung eines Rotorblattes von Windkraftanlagen



regelmäßig geprüft werden (Condition Monitoring). Schwingungstests mit Hilfe von Laservibrometern bieten hier gleich mehrere Vorteile. Zum Einen erlauben Sie die Validierung bestehender Simulationsmodelle und eine Güteprüfung hinsichtlich der Konstruktion und der Fertigung beispielsweise eines Rotorblatts. Zusätzlich ist es anhand der gemessenen Schwingformen möglich, die optimale Position für das Anbringen von ortsfesten Sensoren für das Condition Monitoring zu bestimmen.



Bild 2: Anregung durch einen elektromotorischen Shaker von Firma Wölfel

Vorausgehende Untersuchungen waren vielversprechend

Im Rahmen eines Projektes zur Erforschung sensorgestützter Betriebsüberwachungssysteme waren bereits Messungen mit Laservibrometern auf dem Gelände der FH Flensburg durchgeführt worden [1]. Diese Testmessungen an einer 300 kW-Anlage mit 50 m Nabenhöhe hatten gezeigt, dass Laservibrometer zur berührungsfreien Schwingungs-Ferndiagnostik an Windkraftanlagen gut geeignet sind.

Für den Feldeinsatz sind besonders Einpunktvibrometer mit Teleobjektiv, Zielfernrohr und Autofokus-Einrichtung konzipiert. Möchte man dagegen die Eigenschwingformen von Rotorblättern am Prüfstand mit hoher Ortsauflösung und Genauigkeit bestimmen, ist das Scanning Vibrometer das ideale Messinstrument.

Ein Projekt mit vielen Partnern

Die hier vorgestellte Messung ist Teil eines Messprojektes zur Diagnose von Windenergieanlagen. Zu den Projektpartnern gehören die IMA Materialforschung

Bild 3: Messkopf des Vibrometers an der Plattform eines Hubsteigers



und Anwendungstechnik GmbH in Dresden, das IZFP Dresden (Fraunhofer-Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren) und das Ingenieur-Dienstleistungsunternehmen Wölfel-Beratende Ingenieure GmbH in Hochtberg.

Für die Messungen wurde ein Rotorblatt mit einer Länge von 40 m auf dem Firmengelände der IMA horizontal in ein Fundament eingespannt (Bild 1) und mit einem elektromotorischen Shaker, entwickelt von Fa. Wölfel, auf der Oberseite (aerodynamische Saugseite) bei circa 10 m Radius in vertikale Schwingungen versetzt (Bild 2). Die Anregung erfolgte mit einem Periodic Chirp-Signal in einem Frequenzbereich von 3 – 100 Hz bei einer Auflösung von 62.5 mHz. Als Phasenreferenz für die Animation der Schwingform diente ein Beschleunigungssensor bei Radius 16 m auf der Oberseite des Blattes. Da neben der Unterseite des Rotorblatts insbesondere die oben liegende Saugseite auf Schwingungen untersucht werden sollte, wurde der Messkopf des Vibrometers an der Plattform eines Hubsteigers montiert (Bild 3) und wie in Bild 4 zu sehen, über das Rotorblatt gefahren.

Durch den großen Abstand zwischen Messkopf und Messobjekt konnte so eine recht große Fläche in einem Scan untersucht werden. Auf den präparierten Flächen wurden insgesamt für 531 Messpunkte auf der Saugseite (oben) und 480 Messpunkte auf der Druckseite (unten) sowohl die Geometriekoordinaten als auch die FFT-Spektren der Schwingung mit hoher Auflösung bestimmt. Zur Aufnahme der Messdaten diente das PSV-400 mit der Long Range-Optik in Verbindung mit dem VD-08 Geschwindigkeitsdecoder unter Anwendung eines Tiefpassfilters von 5 KHz.

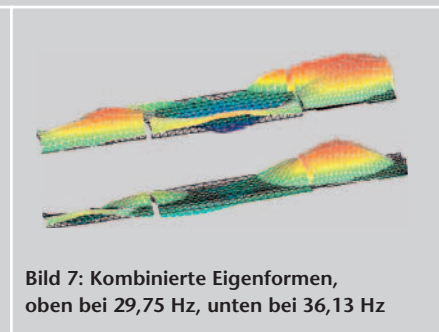
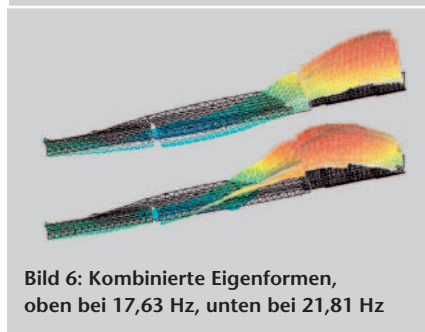
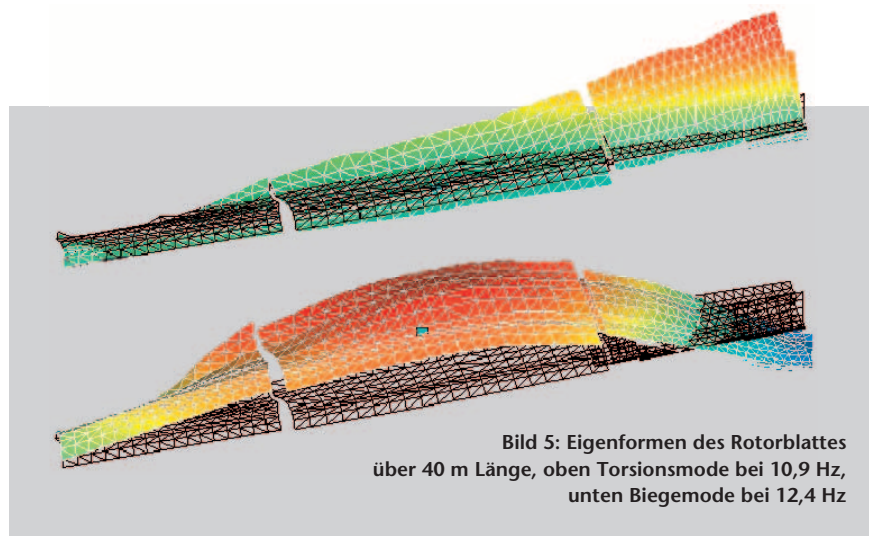
Vergleich von Simulation und Messung

Mit Hilfe der Messungen konnten die Eigenformen des Rotorblattes bestimmt werden. Wegen der Geometrie der Versuchsanordnung wurden die Messungen jeweils in Abschnitten von mehreren Metern durchgeführt und mit Hilfe der PSV Software zu einer kompletten Darstellung zusammengefügt.

Die gemessenen Eigenfrequenzen unter 22 Hz stimmen mit der Modellrechnung und mit den bereits vorhandenen Messungen der Firma Wölfel [2] gut überein (Bild 5 und 6). Eigenfrequenzen unter 3 Hz konnten durch den verwendeten Shaker nicht angeregt und somit auch nicht gemessen werden. Die kombinierten Eigenformen über 22 Hz (Bild 7) zeigen recht große Abweichungen zum Simulationsmodell. Anhand der aufgenommenen Messdaten ist es der Firma Wölfel nun möglich, das bereits bestehende Modell zu korrigieren.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Messergebnisse liefern sowohl die Eigenschwingformen des gesamten Rotorblattes als auch die Schwingamplituden



jedes einzelnen Scanpunktes in Verbindung mit den aktuellen Positionen im 3D-Koordinatensystem. Berechnete Modelle können somit einfach und schnell mit dem realen dynamischen Verhalten abgeglichen werden, um falls nötig konstruktive Anpassungen vorzunehmen. Die hier beschriebene Methode erlaubt außerdem, die optimalen Messpunkte für das Anbringen berührender Sensoren zum Aufbau von Condition Monitoring-Systemen effizient und schnell zu bestimmen.

Während sich die Beträge der Eigenfrequenzen nach den Modellrechnungen nur geringfügig ändern sollten, sind bei einer Schädigung größere Änderungen

bezüglich der Eigenform zu erwarten. Scanning Vibrometer sind ideale Messsysteme, um die Eigenformen einer schwingenden Struktur mit hoher Ortsauflösung und Genauigkeit zu erfassen. Mit kontaktierenden Sensoren wäre eine vergleichbare Messung sehr aufwändig und zeitintensiv. Mit dem Scanning Vibrometer konnte in diesem Fall die Messung inklusive aller Montage- und Vorbereitungsarbeiten innerhalb von 8 Stunden durchgeführt werden.

Bild 4 – links: Rotorblatt und 20 m-Hubsteiger; rechts: Draufsicht des Messfeldes



Literatur

- [1] Wissen, woher der Wind weht – Einsatz von Laservibrometern zur berührungslosen Schwingungsdiagnostik an Windkraftanlagen, Polytec InFocus 2/2008, www.polytec.de/infocus
- [2] Ebert, C.; Friedmann, H.; Henkel, F.-O.; Frankenstein, B.; Schubert, L., „Entwicklung eines Condition-Monitoring-Systems zur Zustandsüberwachung an Rotorblättern“, 3. VDI-Fachtagung Baudynamik, Kassel 2009, VDI-Berichte 2063.

Autor · Kontakt

Dipl.-Ing. Dehao Yao, früher Polytec GmbH
oms@polytec.de