

Neue Wege bei der 3D-Vermessung von Rotorblättern

Ingenieurbüro Schenk & Steindorf vermisst Formen und Blätter bei NOI.

Die Weiterentwicklung von Windkraftanlagen und ihrer Komponenten geht mit einem rasanten Tempo vorstatten. Parallel zur Größe der Anlagen steigen auch die Anforderungen an die Fertigungsgenauigkeit, um die auftretenden Kräfte zu beherrschen und den Wirkungsgrad zu steigern. Zusätzlich erfordern eine dezentrale Fertigung der Hauptbaugruppen und ihre Montage vor Ort ebenfalls höchste Präzision im Bereich der Schnittstellen. Mit diesen Genauigkeitsanforderungen erhöhen sich natürlich auch die Anforderungen an Maßnahmen der Qualitätssicherung und der entsprechenden Nachweise.

Es zeigt sich, dass konventionelle Herangehensweisen die anfallenden Probleme nicht mehr befriedigend lösen können.

Neue Messstrategien sind gefragt, um Fehler frühzeitig zu erkennen und zu beseitigen. Besonders deutlich wird dies im Hinblick auf die geplanten Offshore Kraftwerke, die in ihren Abmessungen die bisher üblichen Windkraftanlagen z.T. um ein vielfaches übertreffen.

Der Artikel beabsichtigt, einen Überblick über die derzeit modernsten optischen Messsysteme zu geben, die geeignet sind, großvolumige Bauteile in einem industriellen Umfeld geometrisch zu analysieren. Anschließend werden am konkreten Beispiel der Vermessung eines Rotorblattes und der entsprechenden Fertigungsvorrichtung die sich eröffnenden neuen Möglichkeiten der Qualitätssicherung vorgestellt.

Die Thematik spricht sowohl die Bereiche Qualitätskontrolle und Fertigung, als auch die Konstruktion an.

Auswahl eines geeigneten Messsystems

Besonders imposant ist die Entwicklung der Rotorblätter, deren Einfluss auf die Funktionalität und den Wirkungsgrad der Windkraftanlagen wesentlich ist. Mittlerweile haben die Rotorblätter Abmessungen von ca.

40 m Länge erreicht, die bei den Offshore Anlagen noch auf ca. 80 m erhöht werden.

Diese ungleichmäßigen, sphärisch gekrümmten Bauteile und ihre Fertigungsvorrichtungen zuverlässig zu überprüfen und ggf. Korrekturmaßnahmen abzuleiten bereitet den Herstellern enorme Schwierigkeiten, da der Verwendung herkömmlicher Hilfsmittel, wie Schablonen und Lehren, Grenzen gesetzt sind.

Darum beauftragte die Firma NOI-Rotortechnik GmbH mit Sitz in Nordhausen das Ingenieurbüro Schenk & Steindorf GbR, deren Mitarbeiter sich schon seit einigen Jahren auf die exakte Vermessung von großvolumigen Objekten, z.B. moderner ICE-Züge, spezialisiert haben, mit der Erarbeitung einer Messstrategie für die Vermessung von Rotorblättern. Gemeinsam wurde nach entsprechenden Lösungen für die anspruchsvollen messtechnischen Aufgaben gesucht.

In Vorbereitung der Vermessung des Rotorblattes wurde durch das Ingenieurbüro ein Variantenvergleich möglicher Messsysteme durchgeführt.

Für die Beurteilung lagen folgende Anforderungskriterien zugrunde:

- Erfassung von 3D-Koordinaten
- Großes Messvolumen (ca. 40 m x 10 m x 5 m)
- Hohe Messgenauigkeit
- Hohe Punktdichte, da sphärisch gekrümmte Bauteile
- Mobiler Einsatz
- Vergleich mit CAD-Modell
- Exakte Dokumentation der Ergebnisse

Der vorliegende Anforderungskatalog führte schnell zu der Erkenntnis, dass nur optische Koordinatenmesstechnik mit digitaler Datenverarbeitung die gestellten Aufgaben lösen konnte.

Auf ihre Eignung hin wurden deshalb verschiedene Systeme untersucht, die alle Anwendung in der industriellen Präzisionsmesstechnik großvolumiger Objekte finden:

- Theodoliten / Tachymeter
- Videogrammetrie/Photogrammetrie
- Lasertracker.

Als optimal für den Einsatz bei der Rotorvermessung wurde der Lasertracker beurteilt, der das gesamte Spektrum des Anforderungsprofils ideal abdeckt und durch seine Messoptionen die konkrete Messaufgabe ideal unterstützt.

Messablauf bei der Vermessung eines Rotorblattes und seiner Fertigungsvorrichtung

Die Vermessung selbst kann als sehr komplex eingestuft werden. Ursächlich dafür sind neben den enormen Abmessungen und der sphärisch gekrümmten Form des Bauteils das Nichtvorhandensein antastbarer "innerer" Koordinatensysteme und die notwendige hohe Messgenauigkeit. Ziel der Vermessung war es, die gesamte Geometrie insbesondere im Bereich der Anströmkante zu überprüfen. Die Länge des vermessenen Rotorblattes betrug ca. 35 m bei einer maximalen Breitenausdehnung von ca. 3 m x 2 m.

In Absprache mit den Fachleuten von NOI wurde das Rotorblatt über seine Länge in 13 Messquerschnitte mit einer jeweiligen Breite von ca. 1 m unterteilt. Dies führte zu einer überschaubaren Anzahl von Messpunkten und half, die Ergebnisse systematisch zu interpretieren.

Um die Vermessung des gesamten Rotorblattes mit optischer Sichtfreiheit zu allen Messpunkten durchzuführen, waren drei verschiedene Standorte des Messsystems notwendig. Zur Realisierung dieser Standorte mussten zusätzlich Orientierungspunkte im gesamten Messvolumen gleichmäßig verteilt und mit hoher Stabilität befestigt werden.

Grundlage jeder 3D-Vermessung ist die Bestimmung des lokalen Koordinatensystems des Bauteils, das dem der Konstruktionsunterlagen entspricht. Einziger Anhaltspunkt dafür war sowohl beim Rotorblatt als auch bei den Vorrichtungshälften der Flanschbereich. Mit der Vermessung und Analyse des Flanschbereiches

vom jeweils ersten Standort aus begann deshalb jede Vermessung.

Anschließend wurden die Messpunkte in den einzelnen Querschnitten und die Orientierungspunkte erfasst. Dabei geschieht die eigentliche Messwertaufnahme nach dem Aufsetzen des Reflektors auf das Messobjekt durch die fortlaufende (dynamische) Erfassung und Auswertung der Horizontal und Vertikalwinkel sowie der Distanz zum Messgerät. Zeitgleich zur Messwertaufnahme erfolgt die Datensicherung der gemessenen Punkte auf dem Notebook. Sind alle Mess- und Orientierungspunkte vom ersten Standort aus erfasst, wird das System umgestellt. Über die erneut vermessenen Orientierungspunkte kann man sich dann in das ursprüngliche Objektkoordinatensystem hineintransformieren. Die Vermessung der nun sichtbaren Messpunkte erfolgt im gleichen Koordinatensystem, wie vom vorherigen Standort aus.

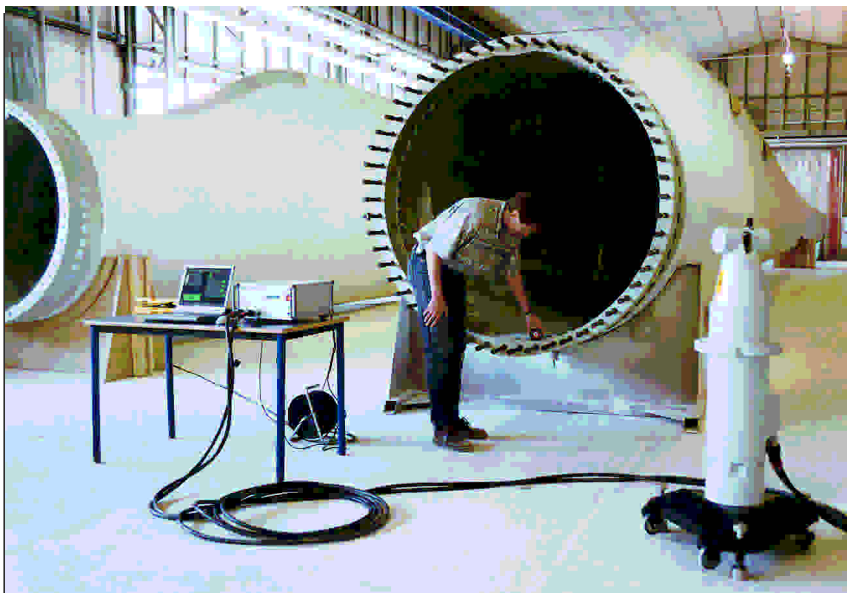
Messergebnisse

Insgesamt wurden sowohl am Rotorblatt als auch an den beiden Vorrichtungshälften jeweils ca. 20.000 Messpunkte erfasst. Da eine manuelle Auswertung dieser Datenmengen insbesondere an sphärisch gekrümmten Bauteilen nicht mit vertretbarem Aufwand durchgeführt werden kann, ist es notwendig, die aufgenommenen Messpunkte direkt mit dem CAD-Modell zu vergleichen. Dazu wurden unserem Ingenieurbüro im Vorfeld der Vermessung die CAD-Daten des Rotorblattes zur Verfügung gestellt.

Die erreichte Messpunktdichte und -anzahl erlaubt bei der Geometrieanalyse vielfältige Möglichkeiten. Sinnvoll erschien hier eine Unterteilung in große globale Formabweichungen (Durchbiegungen, Verdrehungen usw.) und in kleinere lokale Formabweichungen (Dellen, Beulen, Riefen usw.). Erreicht werden konnte dies durch unterschiedliche Ausrichtungen der Messpunkte zum CAD-Modell.

In einem ersten Schritt wurden **alle** Messpunkte zum CAD-Modell ideal ausgerichtet. Dabei wurden **alle** Messquerschnitte einbezogen. Der anschließende Soll-Ist-Vergleich führte zu Aussagen über die globalen Formabweichungen des Bauteils zum CAD-Modell.

So konnte ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Ist-Geometrie

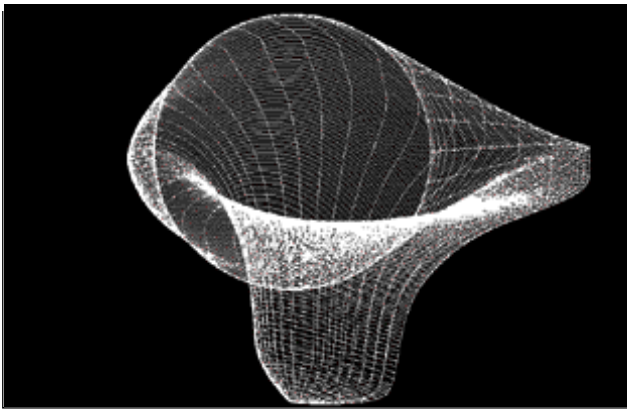


**Vermessung des Flanschbereiches am Rotorblatt
Querschnittsvermessung am Rotorblatt**

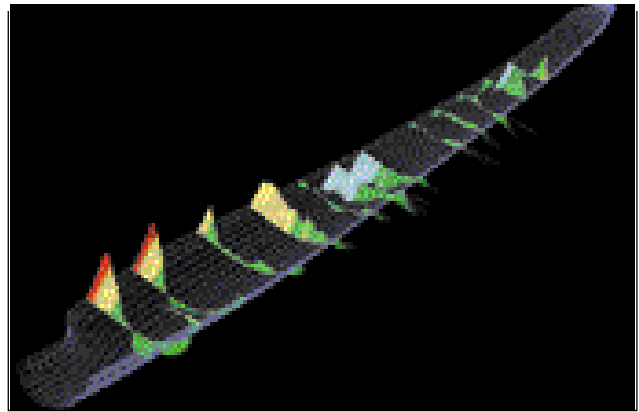


Messsituation an der Fertigungsvorrichtung



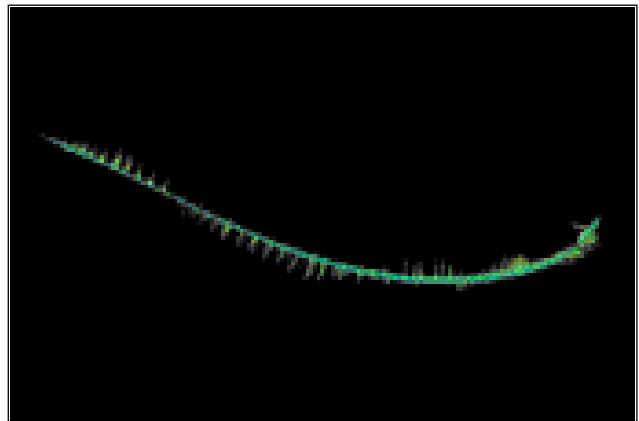
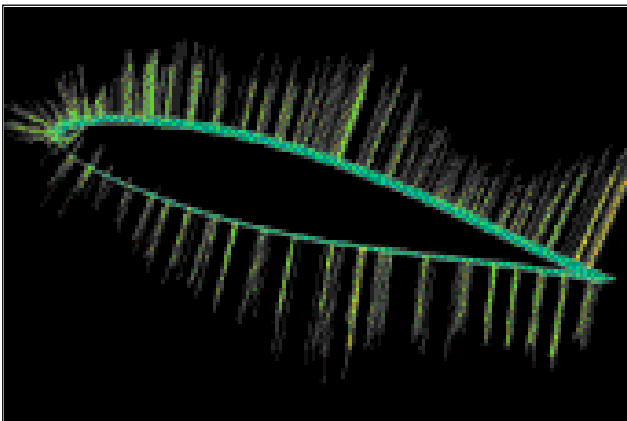


CAD-Modell des Rotorblattes



Grafische Darstellung globaler Formabweichungen

Bilder unten : Grafische Darstellungen der lokalen Abweichungen



von Vorrichtung und Bauteil messtechnisch nachgewiesen und Durchbiegungen und Verdrehungen an den Messobjekten quantifiziert werden. Dies eröffnet die Möglichkeit, eine Feinjustage auf der Grundlage der Messergebnisse vorzunehmen.

In einem zweiten Schritt wurden dann die lokalen Formabweichungen ausgewertet. Dazu erfolgte separat und nacheinander an allen Messquerschnitten die Ausrichtung **aller** Messpunkte des **einzelnen** Messquerschnittes zum CAD-Modell. Der jeweils nachfolgende Soll-Ist-Vergleich konnte demnach auch nur für den behandelten Messquerschnitt durchgeführt werden. Somit war es möglich, die langwelligen Durchbiegungen und Verdrehungen des Rotorblattes herauszufiltern und konkrete Aussagen z.B. über Beulen, Riefen und die Qualität der Anströmkanäle zu erhalten.

Die ermittelten tatsächlichen Geometrien der Messobjekte und damit auch die Aussagen bezüglich ihrer Abweichungen zum konstruktiven CAD-Modell sind mit einer sehr hohen Zuverlässigkeit versehen. Dies begründet sich mit der Tatsache, dass trotz des enormen Messvolumens eine

Messunsicherheit von ca. $\pm 0,3$ mm erreicht wurde.

Zusammenfassung und Ausblick

Die dreidimensionale Vermessung und Analyse eines Rotorblattes und seiner Fertigungsvorrichtung ist eine höchst komplexe und anspruchsvolle messtechnische Aufgabe, die in ihrer Art und ihrem Umfang eine völlig neue Dimension in dieser Branche darstellt.

Der Einsatz des Lasertrackers als einem der modernsten optischen Messsysteme bedeutet dabei einen Quantensprung in den Bemühungen, das Produkt Rotorblatt in seiner Geometrie sowohl qualitativ, als auch quantitativ mit einer hohen und zuverlässigen Aussagekraft zu beschreiben. Durch die erzielten Messergebnisse war es möglich, Rückschlüsse für die Fertigung zu ziehen, die zu einer Qualitätssteigerung führen sollte.

Die zukünftig weiter steigenden Abmessungen der Windkraftanlagen bei gleichzeitiger Genauigkeitssteigerung der Einzelbaugruppen erfordern den verstärkten Einsatz modernster Messtechnik.

Der Lasertracker hat gezeigt, dass er den gestellten Anforderungen ge-

recht wird und sein Einsatz auf Grund der hohen Genauigkeit und Mobilität auch an anderer Stelle sinnvoll erscheint.

Autoren:

Steffen Schenk
Wolfgang Steindorf
Ingenieurbüro Schenk & Steindorf GbR
Sagarder Weg 5
01109 Dresden
Tel. 0351 – 8 90 35 01
Fax. 0351 – 8 90 35 02
E-Mail info@schenk-steindorf.de

**Verkaufe Windmessmast
 und
 Wetterstation
 AMMONIT
 Höhe 53,5 m
 3 Anemometer
 und Windrichtungsgeber
 Preis VHB**

Tel. 038203/91260
Fax 038203/75315