

Trotz Gewichtsreduktion eine hohe Lebensdauer

Im „Silicon Valley“ der Offshore-Windindustrie in Bremerhaven sitzt einer der führenden Windenergieanlagenhersteller der Offshore-Multimegawattklasse: AREVA Wind. Mit der richtungweisenden Kompaktbauweise ist die Windenergieanlage Multibrid M5000 speziell auf die Bedingungen auf hoher See zugeschnitten. Ein besonderes Augenmerk wurde bei der Entwicklung der Anlage auf das Gewicht gerichtet. Mit einer Gondelmasse von 234 Tonnen ist sie das Leichtgewicht unter den Offshore-Anlagen, wobei Betriebsfestigkeitsberechnungen mit ANSYS nCode DesignLife einen wesentlichen Anteil an der Gewichtsreduktion haben.



Bild 1: Multibrid M5000 – Erste Offshore-Windenergieanlage in der deutschen Nordsee

Hauptsächlicher Vorteil einer leichten und kompakten Bauweise sind deutlich vereinfachte Transport- und Hebeprozesse, die für eine schnelle Errichtung der Windenergieanlage auf See essentiell sind. Die komplett ausgestattete Gondel wird in einem Hub auf den Turmkopf gehoben. Darüber hinaus lässt sich mit einem gerin-

geren Gondel- und Rotorgewicht die Gründungsstruktur wirtschaftlicher herstellen. Insbesondere die schweren Gussbauteile Rotornabe, Hohlwelle und Maschinenträger werden mit ANSYS nCode DesignLife optimiert.

Berechnungsteam

Es lohnt sich also, das Gewicht der Anlage zu reduzieren. Eine eigene Lastabteilung ist bei AREVA Wind daher ausschließlich damit beschäftigt, die vielfältigen Einwirkungen auf die Offshore-Windenergieanlage genau zu ermitteln. Die Finite-Elemente-Berechnungsgruppe optimiert die Bauteile und legt sie für eine Lebensdauer von 20 Jahren aus. Aufgrund der komplexen Einwirkungen aus Wind, Eigengewicht und Massenträgheitskräften, die zu Schwingenspielzahlen von bis zu 10^9 führen, wird die Betriebsfestigkeit zum Schlüsselfaktor für die wirtschaftliche Auslegung der Anlagenkomponenten. Nicht umsonst spricht Erich Hau, Autor des Standardwerkes „Windkraftanlagen“, davon, dass Windkraftanlagen die perfekten „Materialermüdungsmaschinen“ sind. Ohne die rasante Entwicklung von leistungsfähiger Software, die mit der steigenden Rechnerleistung einhergeht, wäre eine Auslegung auf Betriebsfestigkeit schwer möglich.

Ebenfalls rasant erfolgte der Aufbau der Berechnungsgruppe bei AREVA Wind. In nur zwei Jahren wurde das nötige Know-how zur Berechnung dieser komplexen Bauteile erworben. Dank der leistungsfähigen Software und der kompetenten Hilfestellung durch den CADFEM-Support ist AREVA Wind gut aufgestellt, zum einen um das Tagesgeschäft zu bewerkstelligen und zum anderen um Neuentwicklungen sicher und kostengünstig durchzuführen.

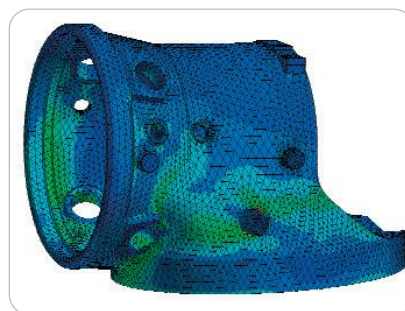


Bild 2: Ergebnisimport eines Einheitslastfalls

Aufwändige Testphase

Bevor die Entscheidung zum Einsatz von ANSYS nCode DesignLife gefällt wurde, sind Vergleichsberechnungen mit verschiedenen Softwarelösungen durchgeführt worden. Dabei ergaben sich für die ermittelten Schädigungen der Bauteile durchaus vergleichbare Ergebnisse. Jedoch hatte die Bearbeitung mit ANSYS nCode DesignLife entscheidende Vorteile gegenüber vergleichbaren Programmen.

Durch die Integration in ANSYS Workbench zählen dazu die intuitive Oberfläche und Programmstruktur, die die Arbeit erleichtern, zum einen durch ihre Übersichtlichkeit und zum anderen durch eine klare Trennung der Berechnungsschritte. Das aus der Literatur bekannte Ablaufschema mittels Flussdiagramm ist nahezu eins zu eins umgesetzt worden. Die Daten können aus ANSYS Workbench in ANSYS nCode DesignLife sehr einfach übertragen werden. Dabei lassen sich aus der ANSYS-Ergebnisdatei der Spannungstensor und die Geometrie problemlos auslesen.

Leistungsstarke Tools

Für die Bauteilauslegung werden mehrere hundert Lastzeitreihen ermittelt, deren Ursache sowohl aus deterministischen, als

auch stochastischen Einwirkungen resultiert. Die Verarbeitung in ANSYS nCode DesignLife erfolgt für die mehrere Hundert Lastzeitreihen mit jeweils einer Dauer von 600 Sekunden bei einer Abtastrate von 20 Hz. Die Zeitreihen werden in das programminterne Lastzeitreihenformat umgewandelt und anschließend lassen sich die Lastzeitreihen – unter Berücksichtigung der Häufigkeit ihres Auftretens – in ein „Lastkollektiv“ zusammenfassen. Hierbei

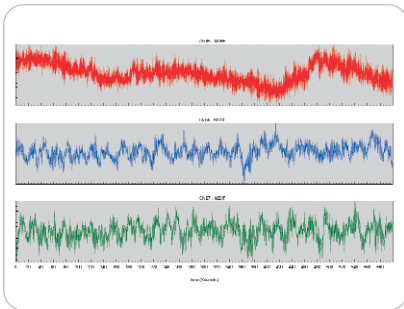


Bild 3: Hunderte Lastzeitreihen werden verarbeitet

tischen Schnittebene durchgeführt. Die mehrachsigen Beanspruchungen resultieren sowohl aus den geometrischen Verhältnissen (Kerben) des Bauteils, als auch durch nichtproportionale Lastzeitreihen. Da davon ausgegangen wird, dass sich ein Riss an der Oberfläche des Bauteils ausbildet, genügt eine FE-Berechnung der Oberflächenknoten.

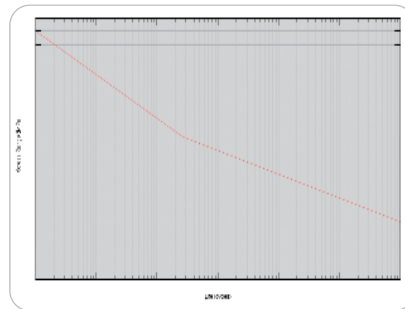


Bild 4: Darstellung der Wöhlerlinie

Nach einem Jahr mit positiven Erfahrungen bezüglich ANSYS nCode DesignLife zieht das Berechnungsteam folgendes Fazit: Die Software amortisiert sich schnell, da potenzielle Anrisstellen korrekt vorhergesagt werden, denn das Betriebsverhalten an Prototypanlagen bestätigen die Rechenergebnisse. Außerdem konnte die Entwicklungskette CAD – FEM – Betriebsfestigkeit durch die Integration der Betriebsfestigkeit in die ANSYS Workbench ge-

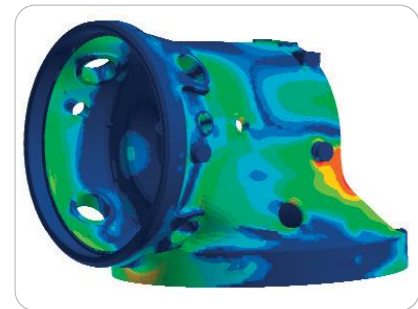


Bild 5: Berechnete Lebensdauer des Maschinengehäuses

sind mehrkanalig synchron aufgezeichnete nichtproportionale Lastabläufe verarbeitbar. Zur Verkürzung der Rechenzeit können in einem ersten Berechnungsschritt die Lastzeitreihen eingekürzt werden, wobei kleine Schwingungen und Zeitabschnitte, die kaum zur Schädigung beitragen, herausgefiltert werden. Mit diesen eingekürzten Lastzeitreihen werden die Hot-Spots ermittelt. Eine Aussage über die Schädigung erfolgt danach über einen zweiten Berechnungsschritt, in dem die ungekürzten Lastzeitreihen verwendet werden. Dieses Verfahren lässt sich auch für mehrkanalige, nicht synchron berechnete Lastzeitreihen verwenden.

Ferner erlaubt das Programm die Mittelspannungskorrektur nach der FKM-Richtlinie und die Anpassung der Mittelspannungsempfindlichkeit.

Über den Proportionalitätsfaktor wird abgeschätzt, ob eine mehrachsige Beanspruchung vorliegt. Für den Fall der einachsigen Beanspruchung erfolgt die Berechnung der Vergleichsspannung mit dem Vorzeichen der absolut größten Hauptspannung. Die Berechnung der Vergleichsspannung von multiaxialen Spannungszuständen wird mit dem Verfahren der kri-

Über Rainflow-Zählung zur Lebensdauer

Zur Schadensakkumulation werden die Spannungszeitreihen zuvor per Rainflow-Zählung klassiert. Die Klasseneinteilung der Zählung erfolgt mit den in der Praxis üblichen Matrizen mit 64x64 Elementen. Für die Schädigungsberechnung wird die lineare Schadensakkumulation nach Palmgren und Miner genutzt. Der Grundgedanke dieser Methode ist, dass jede Schwingung eine Schädigung im Bauteil bewirkt. Aufsummiert ergibt sich für eine Lebensdauer von 20 Jahren ein Gesamtschädigung D , die nicht größer als eins werden darf.

Fazit

Bedingt durch ihre große elastische Nachgiebigkeit sind Windenergieanlagen durch den böigen Wind und die rotierenden Massen großen dynamischen Einwirkungen ausgesetzt. Aufgrund der Größe der Bauteile können aber keine Versuche am kompletten Bauteil durchgeführt werden. Maßgebend für die Dimensionierung der Bauteile ist häufig die Auslegung auf Betriebsfestigkeit. Folglich wird eine Abschätzung der Betriebsfestigkeit auf Basis von Simulationen durchgeführt und bei AREVA Wind hierzu ANSYS nCode DesignLife eingesetzt.

schlossen werden. Aufwändige Datenübergaben von Programm zu Programm gehören damit der Vergangenheit an.

Zukunftsweisende Projekte, beispielsweise schwimmende Windenergieanlagen, können somit in kürzerer Zeit entwickelt und bewertet werden.

➡ | Autor und Ansprechpartner

Autor

Peer Hasbach, AREVA Wind GmbH,
Maschinenbau
E-Mail peer.hasbach@areva.com

Ansprechpartner Betriebsfestigkeit

Rainer Rauch, CADFEM GmbH, Stuttgart
Tel. +49 (0) 711-99 07 45 22
E-Mail rrauch@cadfem.de

! | Veranstaltungshinweis

■ Kompakttraining
**Betriebsfestigkeitsanalyse
mit ANSYS nCode DesignLife**

Inhalte, Termine, Anmeldung
www.cadfem.de/kompakttraining