



Die Zeitmaschine für Rotorblätter

Das Kompetenzzentrum testet 4 Monate unter realen Offshore-Bedingungen und simuliert 2 Jahrzehnte auf See



Rotorblätter von Windenergieanlagen müssen offshore Extrembelastungen standhalten. Dauerbelastung, Orkane und Stürme stellen Rotorblätter auf die Probe; 20 Jahre sollen sie diesen Turbulenzen trotzen. Im Kompetenzzentrum Rotorblatt in Bremerhaven werden Blätter bis zu 90 m Länge mechanisch getestet. Mit dem weltweit einzigartigen Kippblock lassen sich die gigantischen Flügel beim Kippen einspannen und um bis zu 30 m vertikal biegen. Blätter können so mit rund 180 t statisch belastet werden.

Rotorblätter von Windenergieanlagen (WEA) der Megawatt-Klasse werden immer größer. Im Offshore-Windpark alpha ventus vor der niedersächsischen Nordseeküste verfügen bereits die Hälfte der Anlagen über einen Rotordurchmesser von 126 m. Zum Vergleich: Die Spannweite des A 380, des größten Passagierflugzeugs der Welt, misst gerade 80 m.

Rotorblätter sind großflächige, komplexe und gleichzeitig hochbeanspruchte Bauteile und müssen über Jahrzehnte enormen Belastungen standhalten und funktionstüchtig bleiben. Böen, Orkane und salzhaltige Luft strapazieren alle Bauteile. In der Schadenserkennung ist die visuelle Inspektion bislang gängige Praxis. Im Zwei-Jahres-Turnus werden Blätter unter die Lupe genommen. Dazu seilen sich Rotorblattprüfer an den nach unten gestellten Rotorblättern ab und klopfen diese auf mögliche Schwachstellen ab. Äußerliche Risse können sie so erkennen, innere Blattschäden per Klang ermitteln. Inspektionen sind – witterungsbedingt – auf See jedoch nur an wenigen Tagen im Jahr möglich. Um Dauerbelastungen im Schnelltest zu simulieren, wurde 2007 mit dem Bau des Kompetenzzentrums Rotorblatt des Fraunhofer-Instituts

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert vom:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) begonnen. In rund 4 bis 6 Monaten werden hier Oberflächen, kleinere Materialproben (Coupons) und Balken geprüft. Außerdem werden ganze Rotorblätter geprüft, um ihr Schwingungsverhalten (Biegefestigkeit) sowie die Belastungen zu testen. „Wir entwickeln außerdem Prüf- und Überwachungsmethoden, die dem Hersteller zeigen, wie sich sein Blatt unter realistischen Bedingungen verhält“, erklärt Dr. Arno van Wingerde, Leiter des Kompetenzzentrums Rotorblatt am Fraunhofer IWES. Im Kompetenzzentrum gibt es mehrere Balkenprüfstände, Material-Klimakammern und zwei Rotorblatttesthallen, in denen 70 m und 90 m lange Rotorblätter getestet werden können. Ein weltweit einmaliger, 1.000 t schwerer Einspann-Kippblock steht in der neuen großen Halle.

Im Rahmen des InnoBladeTeC-Projektes wurden die notwendigen Prüfstände für die Material-, Komponenten- und Rotorblattprüfungen entwickelt und aufgebaut. InnoBladeTeC steht für die „Entwicklung neuer Prüfmethoden und Prüfstände für Rotorblätter und deren Komponenten als wesentlicher Bestandteil des Kompetenzzentrums Rotorblatt“. Der 70 m lange Rotorblattprüfstand ist seit 2007 in Betrieb. Der zweite Rotorblattprüfstand, für Blätter bis zu einer Länge von 90 m, ist seit Juni 2011 im Einsatz und bis Ende 2012 ausgebucht.

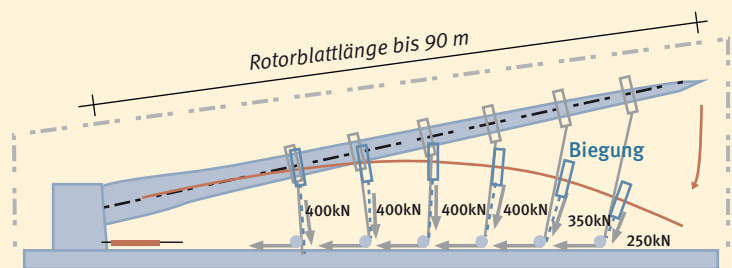
Wenn ein Schwertransporter an der Testhalle vorfährt, ist die Fracht fast immer ein verhülltes Rotorblatt. Nur die Form könnte den Blatt-Hersteller verraten. „Da die Testergebnisse streng geheim sind und das Blatt keine Schutzlackierung hat, wird es verpackt angeliefert“, verrät van Wingerde und ergänzt: „Von den Prüfungsergebnissen kann die Wissenschaft also nicht profitieren, sondern nur der Blathersteller und wir beim Fraunhofer IWES.“

Bruchtest für maximale Biegung

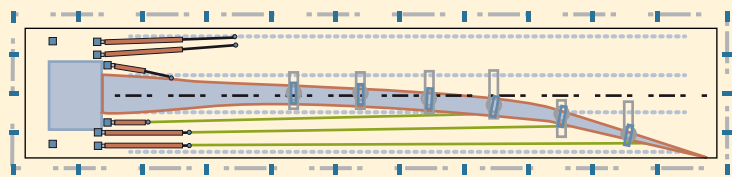
Im Wesentlichen werden beim Fraunhofer IWES zwei verschiedene Prüfungen an den Rotorblättern durchgeführt. Beim ersten Test werden Extremlasten aufgebracht, wie sie bei extremen Windböen oder Notstopp-Vorgängen auftreten. Da diese Belastungen nur für wenige Sekunden wirken, muss das Blatt dieser Last auch nur für 10 Sekunden standhalten. Dieser Test wird als „statischer Test“ oder „Bruchtest“ bezeichnet. In den seltensten Fällen bricht ein Blatt aber wirklich durch. Kleinere Schäden – wie Risse – kommen hingegen häufiger vor. Üblicherweise wird das Blatt in 4 Richtungen belastet: in beide Richtungen senkrecht zur Rotorebene der WEA – auch „Schlagrichtung“ genannt – und in beide Richtungen der Rotorebene, in „Schwenkrichtung“. Vorbereitend für die Tests wird der Flansch des Rotorblattes (bis maximal 6 m Durchmesser) in den Stahlbetonblock eingespannt. Das Blatt ragt dann frei horizontal, nahezu parallel zum Prüffundament, einige Meter in die Luft. Für den statischen Test wird das Rotorblatt mit 4 bis 8 sogenannten Lastscheren (Abb. 3) umklammert, an denen Stahlseile andocken. Am Boden sind Autokräne, Hydraulikzylinder oder Winden befestigt, die die Stahlseile samt Blatt nach unten ziehen. Beschleunigungsaufnehmer und Dehnungsmessstreifen zwischen Rotorblatt und Stahlseilen messen die Kraftaufbringung. Die maximale Biegebeanspruchung des Rotorblattes wird so ermittelt.

Auch 90 m lange Rotorblätter, wie sie gerade in der Entwicklung sind, könnten über die Länge mit insgesamt 1800 kN belastet und um 30 m gebogen werden. Das

Statischer Test



Blick von der Seite



Blick von oben

Dynamischer Belastungstest

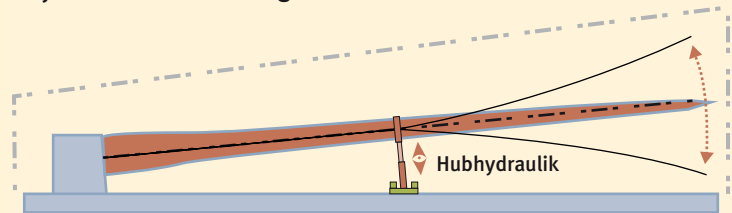


Abb. 1 Statische und dynamische Belastungstests werden an bis zu 90 m langen Rotorblättern im Prüfstand durchgeführt.

Quelle: Fraunhofer IWES

entspricht einem Gewicht von rund 180 t, oder 180 Klein-Pkw, die an dem Blatt zerren (Abb. 1). Sogar 110 m lange Blätter könnten in der 90-m-Halle belastet werden: Dazu würde die Flügelspitze abgetrennt, damit das Blatt in die Halle passt. Auswirkungen auf den Test hat die fehlende Blattspitze in diesem Fall nicht.

Dynamische Schwingungen bis zur Ermüdung

Der zweite Test ist der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit der Struktur, der sogenannte „zyklische“ bzw. „dynamische“ Belastungstest. Allgemein gilt: Wechselnde Belastung erträgt das Blatt weniger gut als statische; sie ermüden das Material. Blätter von WEA drehen sich relativ langsam, die auftretenden Zentrifugalkräfte können daher vernachlässigt werden. Die Belastung ergibt sich ausschließlich aus den Biegemomenten, welche durch Windlasten erzeugt werden. Die Rotorblätter werden im Prüfstand mittels eines auf dem Blatt montierten Elektromotors, auf dessen Welle sich ein exzentrisch angebrachtes Gewicht befindet, in Schwingung versetzt (nahe ihrer Eigenfrequenz). Über die Längskante sind Rotorblätter steifer und haben daher in dieser Ebene eine höhere Eigenfrequenz. Langzeittests werden meistens in Eigenfrequenz durchgeführt, weil sich der Energiebedarf – neben Zeit und Kosten – bei diesen zyklischen Tests erheblich reduziert.



Abb. 2 Die 70 m und 90 m langen Testhallen wurden in der Nähe des Hafenbeckens errichtet, um die Anlieferung per Schiff zu vereinfachen. Quelle: Fraunhofer IWES



Abb. 3 Lastscheren umklammern ein 56 m langes Rotorblatt beim statischen Test; Stahlseile docken daran an. Hydraulikzylinder am Hallenboden übertragen die Last. Quelle: Fraunhofer IWES

Bei einachsigen – uniaxialen – Ermüdungstests wird das Rotorblatt dabei sowohl in vertikaler als auch horizontaler Richtung separat belastet; also in Schlagrichtung oder in Schwenkrichtung. Bei zweiachsigen – biaxialen – Ermüdungstests wird das Blatt gleichzeitig in Schlag- und Schwenkfrequenz angeregt. Beginnende Schäden zeigen sich oft schon durch die Veränderung des Schwingungsverhaltens. Über die Breitseite des Blattprofils wird es 5 Millionen Mal zyklisch gebogen. Ein solcher Volltest dauert 3 Monate.

Dritter Prüfstand in Vorbereitung

„Im Schnitt bezahlen Kunden 300.000 bis 400.000 Euro für einen 4- bis 6-monatigen Volltest“, erklärt van Wingerde. „Zunächst klingt es nach viel Geld, aber verglichen mit einem Ausfall der Anlage ist es ein Schnäppchen.“ Ein Ausfall könnte den Betreiber einer MW-Anlage schnell Millionen kosten und einen Imageschaden nach sich ziehen.

Wegen der großen Nachfrage der Hersteller soll bis Frühjahr 2012 ein weiterer Einspannblock im Rahmen des Projektes „Better Blade“ in Betrieb gehen. Dieser ist nicht kippbar und für kleinere Flügel bis 50 m Länge geeignet. Der neue Prüfstand dient vor allem wissenschaftlichen Blatttests, da diese durch den extrem hohen Zeitdruck immer schwerer zu realisieren sind. Derzeit wird an einer Stahl-Beton-Lösung für den neuen Einspann-

Der Einspannblock kippt um 20°

Das Herzstück des Prüfstandes in der neuen großen Halle für 90 m lange Rotorblätter ist ein kippbarer 1.000 t schwerer Einspannblock. Der 14 m x 12 m x 12,5 m große Block steht auf einem Spezialfundament (8.700 t Stahlbetonkonstruktion auf 100 Pfählen) und fixiert Rotorblätter für die Prüfungsdauer am Flansch. Das Fundament ist ausgelegt für Lasten von 115.000 kNm statisch und +/- 30.000 kNm zyklisch, die während Blatttests auftreten. Um auch bei 90 m langen Blättern eine starke Durchbiegung der Blattspitze zu erzielen, wird der Zugweg bis zum Boden durch eine Schrägstellung des Einspannblockes verlängert. Über einen im Boden verankerten Hydraulikzylinder lässt sich der Stahlblock um 20° kippen. Dies ermöglicht, lange Rotorblätter an der Blattspitze um bis zu 30 m durchzubiegen und vereinfacht das Einspannen des Blattes. Während der statischen Tests wird der Block kontinuierlich hydraulisch geneigt, gleichzeitig werden auf das Blatt Lasten über Stahlseile aufgetragen. Durch den am Block verankerten Hydraulikzylinder können die immer größer werdenden Lasten kontrolliert auf das Blatt übertragen werden.

Bei der vertikalen Prüfung wird die Belastung ausschließlich in eine Richtung übertragen. Zuglast und Eigengewicht zeigen vertikal also in dieselbe Richtung; die Seillasten werden so reduziert. Würde das Blatt horizontal ausgelenkt, wären immer 2 Lastanteile vorhanden: die vertikale Eigengewichtslast und die horizontale Zuglast.



Abb. 4 Größenvergleich: Der kippbare Einspannblock ist 14 m hoch und wiegt 1.000 t. Quelle: Fraunhofer IWES

block gearbeitet. Better Blade dient zur Entwicklung eines optimierten, innovativen Prüfverfahrens zur Zertifizierung von Rotorblättern heutiger und zukünftiger WEA. Dabei sollen mechanische Prüfungen verbessert werden; das Blatt wird dann nicht nur einzeln in eine Richtung belastet, sondern simultan in beide Richtungen. Dadurch verkürzt sich die Prüfzeit und die Betriebslasten lassen sich realistischer abbilden.



Komponenten unter ständiger Beobachtung

In Deutschland, Dänemark und in den USA werden bereits umfangreich und unter realen Bedingungen Rotorblätter auf deren Langlebigkeit getestet. Doch nicht nur für die Zulassung von Rotorblättern existieren nationale und internationale Vorschriften, sondern auch für Gondeln von Windenergieanlagen (WEA). Zum Teil werden sehr aufwendige Versuche am gesamten Triebstrang verlangt. Neben Rotorblättern ist dies eine häufige Fehlerquelle. Die technische Zuverlässigkeit der bis zu 400 t schweren Gondeln bestimmt in hohem Maße die Gesamtverfügbarkeit am Netz. Zurzeit ist es für die Hersteller noch notwendig, für jede neue Entwicklung eine Prototypenanlage zu errichten; ein sehr zeit- und kostenintensives Verfahren. Aussagefähige Prüffeldtests sollen Herstellern die Möglichkeit eröffnen, schon im Labor Triebstrang, Generator, Umrichter und Regelkonzepte zu optimieren und weiterzuentwickeln. Der Prüfstand DyNaLab (Dynamic Nacelle Laboratory) am Fraunhofer IWES soll daher Gondeln bis 10 MW „am Stück“ testen. 2014 soll dieser in Deutschland einmalige Prüfstand erstmals in Betrieb gehen. Ist die Anlage in Betrieb, lassen sich durch Fehlerfrüherkennungssysteme Sekundärschäden vermeiden und Reparaturen schneller planen. Die Ausfallzeiten können verkürzt, die Sicherheit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit verbessert und die Lebensdauer der Anlagen erhöht werden. Das Konzept des Condition-Monitoring (Zustandsüberwachung) z. B. basiert auf einer regelmäßigen oder permanenten Erfassung des Maschinenzustandes durch Messung und Analyse der Schwingungen, Temperaturen, Lage etc. Die Sicherheit und die Maschineneffizienz sind stets überwacht. Serielle Schäden an Bauteilen lassen sich so frühzeitig erkennen. Am weitesten verbreitet ist die Überwachung des Triebstrangs. Das System umfasst meist 6 bis 8 Sensoren (z. B. am Hauptlager, Getriebe und Generator). Schon minimale Erschütterungen nimmt das Condition-Monitoring-System wahr und erfasst beispielsweise, wenn der Zahnradsatz kurzzeitig zu wenig Öl bekommt. Die Daten werden an Überwachungszentren gesendet. Dort entscheidet sich, ob und was zu welcher Zeit unternommen wird.

Projektorganisation

Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
11055 Berlin

Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Klaus Korfhage
52428 Jülich

Förderkennzeichen
0327622
0325169

Impressum

ISSN
0937 - 8367

Herausgeber
FIZ Karlsruhe GmbH · Leibniz-Institut
für Informationsinfrastruktur
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autorin
Anna Durst

Titelbild
Wolfhard Scheer/Fraunhofer IWES

Urheberrecht
Eine Verwendung von Text und
Abbildungen aus dieser Publikation ist
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion
gestattet. Sprechen Sie uns an.

Projektbeteiligte

» **Kompetenzzentrum Rotorblatt:** Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Bremerhaven, Dr. Arno van Wingerde, arno.van.wingerde@iwes.fraunhofer.de

Links und Literatur

» www.iwes.fraunhofer.de | www.forschungsjahrbuch.de (-> Windenergie)
» Heier, S.: Nutzung der Windenergie. FIZ Karlsruhe. BINE Informationsdienst, Bonn (Hrsg.).
Stuttgart : Fraunhofer IRB Verl., 2007. 160 S., 5., erw. u. vollst. überarb. Aufl.,
ISBN 978-3-8167-8320-6, 17,80 Euro

Mehr vom BINE Informationsdienst

» Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter www.bine.info im Bereich Publikationen/Projektinfos. In der Rubrik „Service“ finden Sie ergänzende Informationen wie weitere Projektdressen und Links.
» BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44

BINE Informationsdienst
Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197
53113 Bonn
Tel. 0228 92379-0
Fax 0228 92379-29
kontakt@bine.info
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages