



Fraunhofer

IWES

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WINDENERGIE UND ENERGIESYSTEMTECHNIK IWES



Adwen
Fraunhofer
IWES

JAHRESBERICHT
ANNUAL REPORT
2016/2017

FRAUNHOFER INSTITUTE FOR WIND ENERGY AND ENERGY SYSTEM TECHNOLOGY IWES

*Titelfoto © Jens Meier, Bremen
Foto © Helmut Gross, Bremerhaven*

INHALT

CONTENT

- | | |
|--|---|
| 04 Vorwort | 05 Foreword |
| 06 Geschäftsjahr 2016 | 07 Financial year 2016 |
| 10 Exzellenzkultur als Innovationsmotor | 11 Culture of Excellence as an Innovation Driver |
| 14 Forschungsturbine | 15 Research Turbine |
| 16 Beschleunigte elektrische Zertifizierung von Antriebsstrangsystemen im Labor | 17 Accelerated Electrical Certification of Drive Train Systems in the Lab |
| 20 Erfolgreiche Akkreditierung der experimentellen Strukturprüfung | 21 Successful Accreditation of full-scale structural Testing |
| 24 Industrialisierung der Rotorblattfertigung – Demozentrum „BladeMaker“ | 25 Industrialization of Rotor Blade Manufacturing – „BladeMaker“ Demo Center |
| 28 Zuverlässige Leistungselektronik für Windenergieanlagen | 29 Reliable Power Electronics for Wind Energy Turbines |
| 30 Grosslager-Prüfstand entsteht in Hamburg | 31 Large Bearing Test Stand to be established in Hamburg |
| 35 LiDAR-Boje | 35 LiDAR Buoy |
| 36 Forschungsprojekt RAVE geht in die nächste Runde | 37 Research at alpha ventus (RAVE) has entered the next Phase |
| 38 Designoptimierung von Gründungsstrukturen für Offshore-WEA | 39 Design Optimization of Foundations for Offshore Turbines |
| 42 Wissenschaftliche Arbeit als Erfolgsfaktor | 43 Scientific Work as a Success Factor |
| 44 Aus- und Aufbau der Prüfinfrastruktur/Förderer | 45 Buildup and Expansion of Testing Infrastructure/ Acknowledgements |
| 46 Impressum | 46 Editorial notes |

VORWORT

Seit Ende April sind die Standorte des Fraunhofer IWES in Bremerhaven noch leichter zu finden: genau zwischen dem DyNaLab und den Rotorblatt-Testhallen ragt weithin sichtbar unsere 8 MW-Forschungsturbine majestätisch in den norddeutschen Himmel. Mit 180 Metern Rotordurchmesser ist sie derzeit die weltweit größte Windenergieanlage und soll zukünftig dem Institut als Forschungsplattform für die Felderprobung neuer Technologien dienen.

Dank der Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) konnten wir unsere Infrastruktur entscheidend erweitern: von der Materialqualifikation über Bauteilversuche und Triebstranganalyse bis zu einem kompletten Windenergieanlagen-System stehen nun auf allen Ebenen erstklassige Versuchseinrichtungen zur Verfügung und positionieren das IWES in der ersten Liga der weltweiten Windforschung.

Weitere Projekte auf Bauteilebene werden zukünftig unser Portfolio ergänzen: In Hamburg entsteht mit deutlichem Rückenwind der Hansestadt ein Testzentrum für die Untersuchung von Pitchlagern, und in Bremerhaven wird im Rahmen eines BMWi-Projektes mithilfe des Landes Bremen ein Neubau zur fortschrittlichen Validierung von Rotorblättern aufgebaut.

Neben all diesen Erweiterungen der Infrastruktur kommt aber auch die inhaltliche Weiterentwicklung nicht zu kurz. „Focus on Validation“ ist das Schlagwort, unter dem die Forschungsaktivitäten des IWES zusammengefasst werden: bessere und schnellere Absicherung der Neuentwicklungen unserer Kunden sind das Ziel. Dicke Bretter müssen gebohrt werden, um die enormen Beanspruchungen eines Turbinenlebens zeitlich zu kondensieren und verlässliche Testergebnisse zu liefern, wobei regelmäßig technisches Neuland betreten wird – von der Windphysik bis zur Netzintegration.

Wichtig hierbei sind auch wissenschaftliche Kooperationen mit anderen Fraunhofer-Instituten oder erstklassigen Einrichtungen unserer Windpartner ForWind und DLR, und natürlich auch anderen internationalen Forschungsinstituten. „Focus on Validation“ funktioniert in der Windenergieforschung nur effektiv und nachhaltig mit „Focus on Cooperation“. Wir sind dabei!



A handwritten signature in black ink, which appears to read 'Jan Wenske'. The signature is fluid and cursive, written on a white background.

Prof. Dr.-Ing. Jan Wenske

FOREWORD



A. R.

Prof. Dr.-Ing. Andreas Reuter

■ Fraunhofer IWES' sites in Bremerhaven have been even easier to find since the end of April: Our 8 MW research turbine now projects majestically into the Northern German sky directly between the DyNaLab and the rotor blade testing halls, visible for miles in every direction. With a rotor diameter of 180 meter, it is currently the world's largest wind turbine and will be used by the institute in future as a research platform for field-testing new technologies.

Support from the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) allowed us to enrich our infrastructure significantly: From material qualification, component testing, and drive train analysis through to a complete wind turbine system, there are now first-class testing facilities available at all levels, which mean IWES is leading the way in international wind research.

In the future, our portfolio will be further expanded by additional projects: Thanks to significant support from the Hanseatic city, a test center for assessing large bearings is being developed in Hamburg, and in Bremerhaven a new center for the advanced validation of rotor blades is being set up within the framework of a BMWi project with assistance from the city state of Bremen.

Despite this significant expansions of the infrastructure portfolio, content-related development has definitely not been neglected. "Focus on Validation" is the guiding principle for all of our research activities: Our goal is better and quicker safeguarding of our customers' new developments. Thicker boards have to be drilled in order to condense the enormous strains over a turbine's lifespan chronologically and provide reliable test results which involve regularly exploring new technological territory – from wind physics to grid integration.

Academic cooperations with other Fraunhofer institutes and the first-class institutions of our wind partners ForWind and DLR, as well as other international research institutes play a central role here. However, this "Focus on Validation" when it comes to wind energy research can only function effectively and sustainably if combined with a "Focus on Cooperation"... and we are more than committed to that!

GESCHÄFTSJAHR 2016

Betriebs- und Investitionshaushalt

Im Geschäftsjahr 2016 konnte das Fraunhofer IWES seinen Wachstumskurs fortführen. Der Betriebshaushalt, der sich aus Personal- und Sachaufwand sowie der internen Leistungsverrechnung zusammensetzt, konnte im Vergleich zum Vorjahr um 13 Prozent gesteigert werden und erreichte somit einen Wert von 16.808.303 €.

Das Investitionsvolumen ist weiterhin hoch; aufgrund abrechnungsbedingter Schwankungen fällt es mit 4,6 Mio € allerdings geringer aus als in den Vorjahren.

Weiterer Ausbau der Prüfinfrastruktur

Für die Ausbauphase 2017 hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 18,5 Mio € für den Aufbau einer 8 MW-Forschungswindenergieanlage am Standort Bremerhaven zugesagt. Darüber hinaus fördert es den Aufbau eines Rotorblattlager-Prüfstandes am Standort Hamburg mit 11,6 Mio €; auch die Stadt Hamburg unterstützt die Ansiedlung mit 8,3 Mio €. Für die beschleunigte und realitätsnahe Validierung von Rotorblättern in Form von Komponenten- und Segmentprüfungen stellen das BMWi und das Land Bremen zusammen noch einmal 10 Mio € zur Verfügung. Die Vorbereitungen für den Bau eines neuen Prüflabors in Bremerhaven in unmittelbarer Nähe zu den bestehenden Rotorblattprüfhallen laufen bereits.

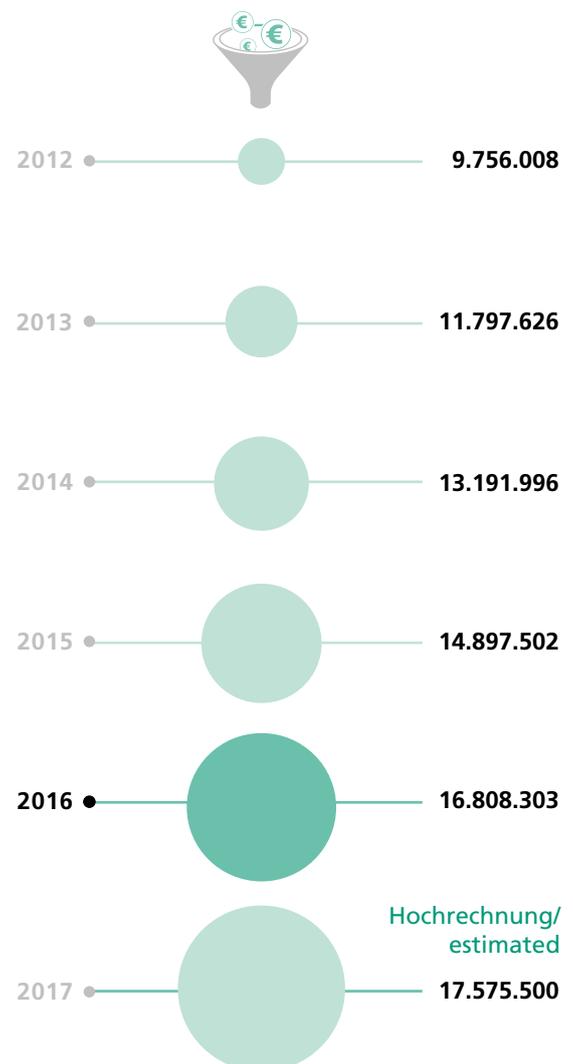
Ebenfalls in Bremerhaven wird 2018 ein Generator-Umrichter-Prüfstand aufgebaut. Dieser nutzt den Netzemulator des DyNaLabs, um die Wirkung verschiedener Netzzustände nachzubilden. Die Funktionalität wird dabei erweitert, um auch den Anforderungen von Windenergieanlagen der nächsten Generation gerecht zu werden. Dadurch wird die bestehende Infrastruktur zur Gondelprüfung weiter aufgewertet (s. Überblick auf S. 44/45).

Durch die Möglichkeit des direkten Vergleichs von Feld- und Labordaten, detaillierten Blattlageruntersuchungen und der weiteren Optimierung von Blattdesigns wird das Fraunhofer IWES seine Fachkenntnisse und Betriebserfahrungen im Bereich der technischen Zuverlässigkeit und Lebensdauerberechnung entscheidend ausbauen können. Damit wird der Bedarf der Industrie an exakterer Dimensionierung von Anlagen, erhöhter Verfügbarkeit und standardisierter Auslegung von Komponenten bedient – und der Ausbau der Windenergie durch die Erschließung von Kostensenkungspotenzialen weiter gefördert.

Deutliche Steigerung der Industrieerträge

Das Fraunhofer-Finanzierungsmodell bildet einen Dreiklang aus Auftragsforschung für Industrieunternehmen, öffentlich geförderten (Verbund-)Forschungsprojekten und grundfinanzierter Vorlauforschung. Der Anwendungsnutzen der Institutsaktivitäten ist daher ein entscheidender Erfolgsindikator und kommt im Anteil akquirierter Direktaufträge zum Ausdruck: 2016 wurde erstmals die 6,5 Mio €-Marke überschritten. Dies entspricht einer Steigerung um 1,4 Mio € im Vergleich zum Vorjahreszeitraum. Die Auslastung der vorhandenen Infrastruktur ist weiterhin hoch. Die Schwankungen bei Investitionen und Industrieerträgen sind teilweise der Größe der jeweiligen Projekte und abrechnungsbedingten Verschiebungen über die Jahre geschuldet.

Betriebshaushalt Operating Budget



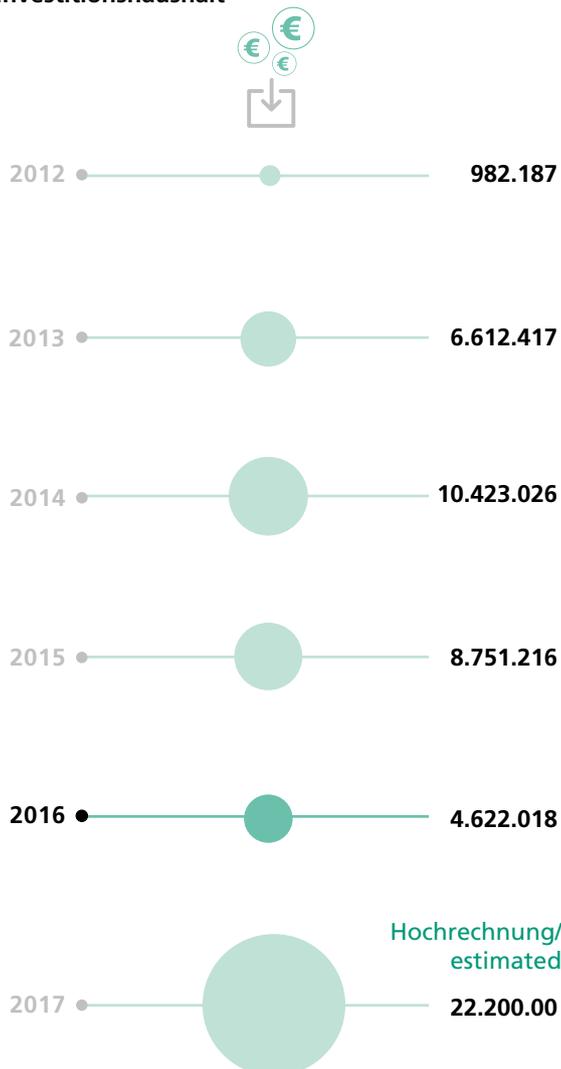
FINANCIAL YEAR 2016

■ Operating and Investment Budget

Fraunhofer IWES continued to grow in the 2016 financial year. The operating budget, which comprises personnel and material costs as well as internal cost allocation, saw an increase of 13 percent compared to the previous year and attained a value of 16,808,303 euros.

The investment volume remains high, even though it is 4.6 million euros less than last year due to fluctuations in invoicing.

Investment Budget Investitionshaushalt



Further Development of Testing Infrastructure

For the development phase in 2017, the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) has pledged 18.5 million euros for the development of an 8 MW research wind turbine at the Bremerhaven site. This ministry is also supporting the development of a large bearing test stand in Hamburg with 11.6 million euros, with the city of Hamburg providing a further 8.3 million euros. The BMWi and the state of Bremen are jointly contributing 10 million euros for the accelerated, realistic validation of rotor blades by testing components and segments. The preparation work for the new test infrastructure in direct neighborhood of the rotor blade tests rigs has already started.

Additionally, a generator/converter systems test bench is planned to be established in Bremerhaven in 2018. Since it uses the DyNaLab's grid emulator in order to replicate various grid situations, the functionality will be amplified to meet the demands of next generation turbines. The existing infrastructure will face an increase in value (for an overview, see also p. 44/45).

The option of directly comparing field and laboratory data, detailed blade bearing tests, and further optimization of the blade design, will allow Fraunhofer IWES to enhance its expertise and experience in the field of technical reliability and lifetime calculations considerably. As such, industrial requirements for more precise turbine dimensioning, increased availability, and standardized component design will be met, and the further development of wind energy will be ensured by tapping into potential cost savings.

Major Increase in Industrial Revenues

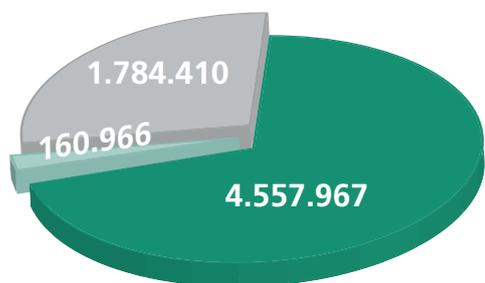
The Fraunhofer financing model forms a triad of contract research for industrial companies, publicly financed (joint) research projects, and basic funding for preparatory research. The applicability of the results is a key indicator of success and is reflected in the volume of acquired direct orders. The 6.5 million euros mark was surpassed for the first time in 2016. An increase of 1.4 million euros compared to the previous year has been achieved. The degree of capacity utilization of the existing infrastructure remains high. The stated fluctuations in investments and industry revenues are partially due to the complexity of projects and accounting treatments over their duration.

Öffentliche Erträge

Die Erträge aus öffentlich geförderten Projekten sind mit 64 Prozent eine tragende Säule des Finanzierungsmodells. Den Hauptanteil davon stellte das BMWi zur Verfügung.

Personalzuwachs

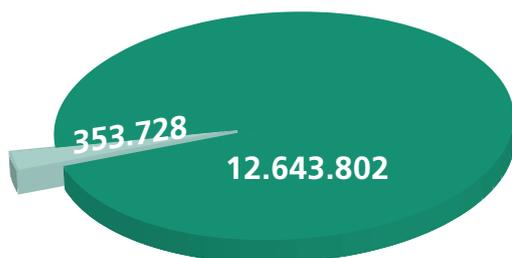
Die verstärkte Anwerbung von Personal mit mehrjähriger Berufserfahrung hat den Kompetenzausbau befördert und der deutlichen Steigerung der Industrieakquise den Weg bereitet. Die Belegschaft wuchs im Geschäftsjahr 2016 um 7 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf 152 (davon 65 Prozent wissenschaftliches Personal) moderat an. Außerdem waren 76 studentische Hilfskräfte im Institut beschäftigt. Auch 2017 ist geplant, gemäß des weiteren Institutsausbaus 15 Positionen zu besetzen.



Gesamt **6.503.343 €**

**Herkunft der Industrieerträge 2016 in €
Sources of industry yields in €**

- Deutschland/Germany
- EU
- Sonstige/ROW



Gesamt **12.997.530 €**

**Herkunft der öffentlichen Erträge 2016 in €
Sources of public funding 2016 in €**

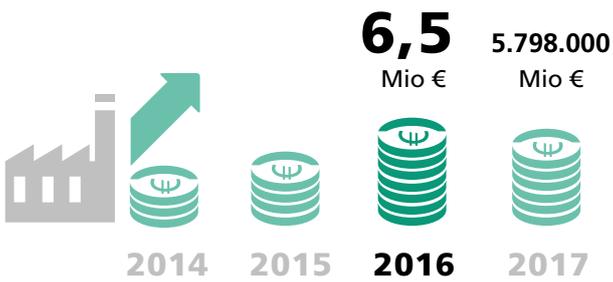
- Deutschland/Germany
- EU

Public funding

■ Revenues from publicly funded projects make up 64 percent and are as such a mainstay of the financial model. Sources are acquired projects and provided basic funding; the majority of these funds come from the BMWi.

Staff Increases

Intensified measures to recruit personnel with sound professional experience have served to expand our expertise and have also paved the way for a significant increase in industrial acquisitions. The workforce grew moderately by 7 employees in 2016 to a total of 152 (65 percent research associates). Besides, 76 students have been working for the institute. In line with the further expansion of the institute, an increase in the headcount is also planned for 2017: in total, 15 posts need to be filled.



Industry yields
Wirtschaftserträge

Tarifliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter/
tariff employees

115 127 138 145 **152** 167

Personal/Personnel



2012 2013 2014 2015 **2016** 2017

Davon Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler/
of which are scientists

74 81 91 92 **98** 112

EXZELLENZKULTUR ALS INNOVATIONSMOTOR

Ein Beitrag von Matthias Schubert, Geschäftsführer wyncon Unternehmensberatung, Sprecher des Kuratoriums Fraunhofer IWES

Die Windenergiebranche ist aktuell einem extrem starken Wettbewerbsdruck ausgesetzt. Trotz mittelfristiger Wachstumsperspektiven sind gerade einige der etablierten Märkte zurzeit stagnierend oder sogar rückläufig. Darüber hinaus werden die meisten Schlüsselmärkte nach und nach auf ein Ausschreibungsverfahren zur Preisfindung für Windstrom umgestellt, wodurch die gesamte Wertschöpfungskette unter zusätzlichen Druck gerät und Kosten drastisch gesenkt werden müssen.

Wird in einem solchen Marktumfeld die Luft für einen Dienstleister wie das Fraunhofer IWES dünner? Werden seine Kunden sich den „Luxus“ intensiver Messkampagnen künftig lieber sparen? Können sie sich Kooperationen im Bereich Forschung und Innovation überhaupt noch leisten?

Starkem Wettbewerb und hohem Kostendruck kann man nur kurzfristig durch Sparen begegnen. Nachhaltig kann man solche Herausforderungen jedoch nur mit klugen Strategien parieren – und die laufen in der Regel darauf hinaus, das Angebotsportfolio zu differenzieren, spezifischer auf Kundenanforderungen zu reagieren, die Performance durch Innovationen signifikant zu steigern und/oder die Kosten mehr als inkrementell zu senken, sowie durch verbesserte Methoden Auslegungsgrenzen immer stärker auszureizen.



CULTURE OF EXCELLENCE AS AN INNOVATION DRIVER

- An article by Matthias Schubert, Managing Director of wyncon consulting, spokesperson for the Fraunhofer IWES advisory board

The wind energy sector is currently facing increasing competitive pressure. Despite medium-term growth opportunities, some of the established markets are currently stagnating or even in decline. Furthermore, most of the key markets are set to convert gradually to an auction process for wind energy pricing. This will place the entire value chain under additional pressure and costs will have to be cut dramatically.

Will this kind of market environment increase the pressure on a service provider such as Fraunhofer IWES? Will customers prefer to forgo the "luxury" of comprehensive measurement campaigns in the future? Will they even be able to afford spendings on research and innovation cooperations?

Austerity only provides a short-term solution to intensified competition and cost pressure. In the long term, such challenges have to be tackled with clever strategies. As a rule, such strategies involve a differentiation of the product portfolio, reacting more specifically to customer requirements, enhancing performance significantly by means of innovation, and/or cutting costs more than incremental as well as pushing design limits further and using improved methods.

Kuratoriums-Mitglieder und IWES-Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (von links nach rechts/ from left to right):

Matthias Schubert (wyncon), Irina Lucke (EWE Offshore Service & Solutions), Jenny Kuball (IWES), Bento Koike (Korecarbon), Hubert Krammer (Fraunhofer-Gesellschaft), John Feng (Titan Technologies Corporation), Mariel Busch (IWES), Karen Heimann-Malz (IWES), Maite Basurto (Adwen), Frank Virenfeldt Nielsen (JSB Plast AIS), Heide Ahrens (Senat für Wissenschaft, Gesundheit und Verbraucherschutz der Freien Hansestadt Bremen), Christian Broer (IWES), Timo Haase (BMW), Prof. Andreas Reuter (IWES), Dr. Bernhard Lange (IWES), Prof. Georg Rosenfeld (Fraunhofer-Gesellschaft), Dr. Antje Wagenknecht (IWES), Dr. Stephan Barth (ForWind), Tony Quinn (ORE Catapult), Prof. Ulrich Wagner (TU München), Prof. Constantinos Sourkounis (Ruhr-Universität Bochum), Britta Rollert (IWES).

Marktanforderungen definieren Anspruch

Aus diesen Strategien der Hersteller von Windenergieanlagen und ihrer Zulieferer lassen sich die zukünftigen Anforderungen an das IWES ableiten. Es muss z. B. neue Test- und Validierungsverfahren entwickeln, mit denen Kunden projektspezifische Auslegungen und ausdifferenzierte Produktvarianten schnell und kostengünstig anbieten können. Solche Verfahren werden in der Lage sein müssen, Typenzertifikate für ganze Baureihen durch flexiblere Einzelnachweise zu ersetzen.

Vor allem aber muss das Fraunhofer IWES internationale Standards für Methoden und Verfahrensweisen etablieren. Dafür setzt der Forschungs- und Entwicklungsdienstleister auf eine konsequente Umsetzung seiner vor zwei Jahren verabschiedeten Strategie, wonach auf Basis einer weltweit führenden Test- und Versuchsinfrastruktur die Methodenkompetenz des Instituts stark ausgebaut werden soll, d. h. es sollen neue Test- und Prüfverfahren entwickelt und vor allem auch mit numerischen Verfahren korreliert werden, um zukünftig im Zusammenspiel mit modellbasierten Simulationen die Kette von Berechnungen, Bauteil-, Komponenten-, Anlagen- sowie Feldtests intelligenter miteinander verzahnen zu können.

Impulsgeber für den Fortschritt

Darüber hinaus will das Fraunhofer IWES Innovationspartner für die Industrie sein; diesen Anspruch beschreibt die dritte Säule der Institutsstrategie. Die notwendige Voraussetzung dafür ist, mittelfristig eine gute Forschungs- und Innovationskultur zu etablieren. Dann ließe sich auch Herstellern, die heute eher an kurzfristigen Optimierungen interessiert sind, der Mehrwert umfassenderer Entwicklungskonzepte besser vermitteln.

Das IWES will und muss für diese Entwicklung im Rahmen der Exzellenzkultur der Fraunhofer-Gesellschaft ein Motor sein und aus seinen Kernaktivitäten heraus Innovationen treiben, die der Windenergie in den nächsten Jahren zu Innovationssprüngen verhelfen.

Das Kuratorium besteht aus Vertretern der Hauptfördermittelgeber des Fraunhofer IWES, Kooperationspartnern aus dem Forschungsbereich sowie sechs Industrievertretern. Diese Gruppe kommt jährlich zusammen, um die Institutsleitung zu beraten. Die Zusammensetzung des Kuratoriums spiegelt die Hauptzielgruppen – Anlagenhersteller, Zulieferer und Betreiber – wider.

■ Demands Defined by the Market

The future requirements on IWES are derived from the strategies of the wind turbine manufacturers and their suppliers. For example, new test and validation procedures have to be developed so as to be able to offer customers project-specific designs and differentiated product options in a rapid and cost-effective manner. Such procedures must be able to replace type certificates for entire series with more flexible individual verifications.

First and foremost, however, Fraunhofer IWES has to set international standards with regard to the defining of methods and procedures. To this end, the research and development service provider is committed to implementing the strategy it adopted two years ago, according to which the institute's methodology expertise is to be greatly enhanced on the foundation of an internationally leading testing infrastructure. For example, new test and validation procedures are to be developed that facilitate a strong correlation to numerical procedures. Dovetailing model-based simulation with calculations and experimental tests of parts, components and turbines as well as carrying out field measurements in an intelligent manner, one huge step forward on the targeted course will be made.

The Driver Behind Progress

Furthermore, Fraunhofer IWES aims to be an innovative partner for the industry, as described by the third column of the institute's strategy. The sine qua non for this claim is the mid-term establishment of an inspiring research and innovation culture. Acting on this basis, it would be more promising to convince even manufacturers focused on short-term optimizations, of the added value of a comprehensive approach.

The IWES wishes and, indeed, needs to be a driver for these developments within the framework of Fraunhofer's culture of excellence in order to advance innovation based on its core competencies and accelerate innovation in the wind energy sector in the coming years.

The advisory board is made up of representatives from Fraunhofer IWES' main funding authorities, research cooperation partners, and six industry representatives. This group meets up annually to advise the institute's management. The board's composition reflects the main target groups: turbine manufacturers, suppliers, and operators from the wind energy industry.

FORSCHUNGSTURBINE



Derzeitige Forschungsschwerpunkte

- Analyse des Windfeldes vor dem Rotor und Überprüfung der Windmodelle
- Verifikation der Lastannahmen und der Untersuchungen im DyNaLab durch Feldvermessung gemäß IEC 01400-13
- LVRT-Tests am virtuellen Netz im DyNaLab
- 8 MW Nennleistung
- 180 m Rotordurchmesser
- 115 m Nabenhöhe
- Modularer Triebstrang
- Vollumrichter

RESEARCH TURBINE

- 8 MW nominal power
- 180 m rotor diameter
- 115 m hub height
- Modular drive train
- Full power converter

Current focal points for research

- Analysis of wind field in front of the rotor and examination of wind models
- Verification of load cases and correlation of tests results from the DyNaLab with field data according to IEC 01400-13
- LVRT tests on the DyNaLab's virtual grid

BESCHLEUNIGTE ELEKTRISCHE ZERTIFIZIERUNG VON ANTRIEBSSTRANGSYSTEMEN IM LABOR

Seit Herbst 2015 ist der Gondelprüfstand des Fraunhofer IWES in Bremerhaven in Betrieb. Der Antriebsstrang der größten Windenergieanlage der Welt, der AD 8-180, wurde im Dynamic Nacelle Testing Laboratory (DyNaLab) intensiv getestet, um die Neuentwicklung abzusichern und den Zertifizierungsprozess und damit letztlich die Markteinführung zu beschleunigen.

Zertifizierungstestreihen für neuentwickelte Windenergieanlagen im Feld nehmen häufig viel Zeit in Anspruch, da Prüfungen bei bestimmten Windverhältnissen durchgeführt werden müssen, diese jedoch nicht auf Bestellung zu bekommen sind. Dies macht die Dauer einer Messkampagne und damit die Terminierung des Zertifizierungsprozesses schwer abschätzbar. Auf der anderen Seite muss die Produktion nach erfolgreicher Zertifizierung sofort starten. Auf dem Prüfstand lassen sich hingegen unterschiedliche Windbedingungen jederzeit exakt einstellen, beliebig oft wiederholen und zeitlich genau planen.

Mit der Nachbildung realer Betriebsbedingungen – z. B. von Umweltbedingungen auf hoher See – und der Netzzustände für Extrem- und Ermüdungslasten (Dauerbetrieb) wurden bei der Prüfung von Getrieben, Lagern, Kupplungen, Wellen, Generatoren und Umrichtern bedeutende Fortschritte erzielt.

Verschiedene Belastungsszenarien konnten erprobt und das Verhalten der Anlage bei Notstopps untersucht werden. Mit Hilfe eines virtuellen 36.000 V-Mittelspannungsnetzes können Kurzschlüsse und andere kurzzeitige Ereignisse im Netz mit hoher Wiederholfrequenz getestet und somit die Prüfdauer verkürzt werden. Dies stößt auf immenses Interesse in der Industrie, für die die Lancierung eines neuen Anlagenkonzeptes als Pionier einen deutlichen Wettbewerbsvorteil verspricht. Die hohe Auslastung des DyNaLabs belegt, dass die Absicherung neuer Entwicklungen durch umfassende Validierung im Prüfstand von Herstellern zunehmend als notwendige Investition in die Zukunft wahrgenommen wird.

Abgleich von Labor- und Felddaten zur Methodenvalidierung

Der nächste Meilenstein für das Fraunhofer IWES war die Einrichtung eines Testfeldes, dessen Kernstück der Prototyp der Anlage ist, deren Triebstrang bereits vorab intensiv geprüft wurde. Durch Zugriff auf Betriebsdaten der Forschungsturbine besteht die Möglichkeit, Daten aus dem Anlagenbetrieb mit Daten aus dem DyNaLab zu vergleichen und damit Testmethoden zu validieren und weiter zu verbessern. Die erste Messkampagne zu diesem Zweck startet Ende 2017.



Antriebsstrang-Test im DyNaLab.

■ *Drive train test at the DyNaLab.*

ACCELERATED ELECTRICAL CERTIFICATION OF DRIVE TRAIN SYSTEMS IN THE LAB

■ Fraunhofer IWES' Dynamic Nacelle Testing Laboratory (DyNaLab) in Bremerhaven has been in operation since the fall of 2015. The drive train of the largest wind turbine in the world, the AD 8-180, underwent intensive testing there to safeguard the new development and the certification process, and, in doing so, to ultimately speed up its market launch.

Certification tests for newly developed wind turbines in the field often require a considerable period of time, as tests need to be performed in certain wind conditions, which, however, are not available on demand. This makes it difficult to estimate the actual duration of a measuring campaign and, consequently, the conclusion date of the certification process. On the other hand, production needs to be initiated as soon as successful certification is completed. On the test bench, different wind conditions can be set exactly at any time, repeated as often as required, and scheduled precisely.

Significant advances have been achieved in the testing of gears, bearings, couplings, main shafts, generators, and converters through the replication of real operating conditions with special grid scenarios such as extreme and fatigue (continuous operation) loads. It was also possible to test out different load scenarios and investigate the behavior of the system in case of emergency stops, for example. A 36,000 V medium-voltage grid emulator was used to test short circuits and other events in the grid with a high repetition rate, thus shortening the duration of the test. This was met with great interest by the industry, for which the launch of a pioneering new turbine concept promises a considerable competitive advantage. DyNaLab's high rate of utilization confirms that the safeguarding of new developments with comprehensive validation on the test bench is increasingly being viewed as a necessary investment in the future by manufacturers.

Comparison of Lab and Field Data for Method Validation

The next milestone for Fraunhofer IWES was the setting up of a test field, comprising of the prototype of the turbine whose drive train had been intensively tested in advance. Access to operating data from the research turbine offers the opportunity of comparing field data with data from the DyNaLab for validating and optimizing test methods further. The first measuring campaign for this purpose will be launched at the end of 2017.



© Jens Meier, Bremen

■ The test field in Bremerhaven is just a stone's throw away from DyNaLab.

Das Testfeld in Bremerhaven befindet sich in unmittelbarer Nähe zum DyNaLab.



Zertifizierungsrelevanz und Industrie-Akzeptanz

Um auch in Zukunft den Anforderungen der Netzintegration von Windenergieanlagen entsprechen zu können und breite Akzeptanz in der Windenergiebranche zu erzielen, werden neuartige Prüfverfahren in Normungsgremien aktiv diskutiert und Untersuchungen durchgeführt. Im Rahmen des nächsten Ausbaus schritt werden die Funktionalitäten des vorhandenen Netzemulators im DyNaLab deutlich erweitert: Extrem schwache Netze werden dann ebenso nachbildbar wie spezielle harmonische Störspektren. Die bestehende Infrastruktur wird dadurch signifikant aufgewertet, sodass das Institut eine weltweit führende Rolle bei neuartigen Prüfverfahren im Bereich der Netzintegration einnimmt.

Es eröffnen sich neue Möglichkeiten, um Netzrückwirkungen, -schwingungen und Interferenzen vor der Inbetriebnahme einer Prototypanlage im Feld wirtschaftlich und umfassend zu testen. Um reale Lasten und Wechselwirkungen zwischen Gondel und Rotor im Prüfstand abzubilden, kommen Echtzeitmodelle und Hardware-in-the-Loop (HiL)-Regelalgorithmen zum Einsatz. Diese werden in dem neuen Verbundprojekt „CertBench“ zur Regelung einer 10 MW-Antriebseinheit des Gondelprüfstandes weiterentwickelt, um normgerechte und branchenweit akzeptierte Prüfergebnisse erzielen zu können. Hauptverbundpartner dabei sind Enercon und die RWTH Aachen.

Automatisierte elektrische Zertifizierung

Das Fraunhofer IWES verzeichnet eine anhaltende Nachfrage zu Dienstleistungen in den Bereichen elektrische Zertifizierungsprüfung und realitätsnahe Entwicklungstests für bestehende und zukünftige Generator- und Umrichtersysteme von Windenergieanlagen mit klassischen zwei- bis dreistufigen Getrieben. Um dem Bedarf gerecht zu werden, startete Mitte 2017 das BMWi-geförderte Projekt „HiL-GridCop“ mit dem Ziel, die elektrische Zertifizierung von Windenergieanlagen im Labor automatisiert durchzuführen. Dazu sind die Errichtung einer entsprechenden Prüfinfrastruktur sowie die Entwicklung einer korrelierenden Prüfmethodik geplant. Im Gegensatz zur

Prüfung kompletter Gondeln im DyNaLab werden auf diesem deutlich kleineren Prüfstand nur die Minimalsysteme – bestehend aus schnelllaufendem Generator und Umrichtersystem (die zu testenden Teile sind in der oberen Grafik farblich hervorgehoben) – getestet.

Der Prüfstand wird eine 9 MW-Antriebseinheit (bis 13 MW Überlast) zur Nachbildung realistischer Generatormomente mittels HiL-Verfahren haben und den Netzemulator des DyNaLabs zur Nachbildung von Netzzuständen nutzen. Anlagenhersteller und Zulieferer werden in dieser Einrichtung realitätsnahe und wirtschaftliche elektrische Systemtests und vollständige elektrische Zertifizierungen von Anlagen bis zu einer Leistung von ca. 6 MW im Labor durchführen können.

Der stark reduzierte Aufwand für Logistik und automatisierte Testdurchführung verspricht deutliche Kosteneinsparungen sowie eine schnellere und zuverlässig terminierbare Markteinführung neuer Windenergieanlagen. Die Hersteller Senvion, Nordex und Vestas werden als Verbundpartner die ersten sein, die ihre Minimalsysteme 2018/2019 auf dem neuen Prüfstand testen lassen.

Die Projektpartner haben außerdem eingewilligt, Betriebsdaten aus dem Feld für den Abgleich mit Ergebnissen aus dem DyNaLab und dem Generatorprüfstand für anschließende Untersuchungen bereitzustellen. Dies bietet dem Fraunhofer IWES die Möglichkeit zur weiteren Validierung und ggf. Optimierung seiner Mess- und Prüfmethoden. Die Ergebnisse werden darüber hinaus in die Diskussion mit Zertifizierungsgesellschaften eingebracht, um einer branchenweiten Akzeptanz der neuartigen Prüfmethodik den Weg zu ebnet.

■ Certification Relevance and Industry Acceptance

With the aim of being able to satisfy the requirements for grid integration of wind turbines in the future, too, and earn widespread acceptance in the wind energy industry, innovative testing procedures are currently being actively discussed in standardization committees and investigations undertaken. The next development step will involve considerable expansion of the functionalities of the existing grid emulator in the DyNaLab: As a result, it will be possible to replicate both extremely weak grids and special harmonic interference spectra. This will increase the value of the existing infrastructure significantly: the institute will adopt a leading global role when it comes to innovative testing procedures for grid integration as a result.

It will also open up new possibilities for testing system perturbations, oscillations, and interferences cost-effectively and comprehensively prior to commissioning of the prototype turbine in the field. Real-time models and hardware-in-the-loop (HiL) control algorithms replicate real loads and interactions between the nacelle and rotor on the test bench. These are being further developed in the new joint research project "CertBench" for the control of a 10 MW drive unit for the nacelle test bench. The aim is to achieve testing results which comply with the pertinent standards and are accepted across the board in the sector. The main partners in this project are Enercon and the RWTH Aachen University.

Automated Electrical Certification

Fraunhofer IWES has been witnessing a constant demand for services in the fields of electrical certification testing and realistic development tests for existing and future generator/converter systems for wind turbines with classic two- to three-stage gears. In order to do justice to this requirement, the "HiL-GridCop" project, funded by the BMWi, and with the goal of performing automated certification of wind turbines in the laboratory, was launched in mid-2017. The setting up of a corresponding testing infrastructure and the development of a correlating testing method are also planned. In contrast to the testing of complete

nacelles in the DyNaLab, this considerably smaller test bench will only be used to test minimal systems comprising a high-speed generator and converter system (fig. on top of p. 18 shows the parts that will be tested).

The test bench will have a 9 MW (13 MW overload) drive unit for replication of realistic generator torques using HiL processes and it will use the DyNaLab's grid emulator to reproduce grid scenarios. System manufacturers and suppliers will be able to perform realistic and cost-effective electrical system tests and complete electrical certifications of turbines up to a nominal power of approx. 6 MW in the laboratory.

The considerably reduced efforts in terms of associated logistics and automated performance of test proceedings promise considerable savings and rapider and more reliably schedulable market launches of new wind turbines. As partners in the project, the manufacturers Senvion, Nordex, and Vestas will be the first to have their minimal systems tested on the new test bench in 2018/2019.

The project partners have also agreed to provide field data for comparison with results from the DyNaLab as well as from the "HiL-GridCop" test bench for subsequent investigations. This enables Fraunhofer IWES to carry out further validation and, if necessary, optimization of its measuring and testing methods. The results will also be discussed with certification authorities, to pave the way for acceptance of the innovative new testing methodology across the sector.

ERFOLGREICHE AKKREDITIERUNG DER EXPERIMENTELLEN STRUKTURPRÜFUNG

Die Anforderungen an Rotorblattprüfungen haben sich in den letzten Jahren gewandelt. Zur Anfangszeit der Windenergie garantierte schon die Verfügbarkeit eines Prüfstandes die Auslastung. Entsprechend wuchsen die Teststände mit den steigenden Rotordurchmessern. In einer weiteren Entwicklungsstufe stiegen die Anforderungen an die Prüfmethodik, insbesondere an die Handhabung des Rotorblattes, aber auch an die Art der Lastaufbringung.

Die heutige Zulassungspraxis für Rotorblätter beinhaltet die Überprüfung lastseitiger, auslegungsspezifischer, materialbedingter und auf Fertigungsverfahren bezogener Sicherheitsfaktoren. Für die Validierung der Annahmen sind bisher Materialprüfungen zur Bestimmung der Designkennwerte und eine Ganzblattprüfung nach IEC 61400-23:2014 vorgeschrieben.

Materialprüfung und Ganzblatt-Test auditiert

Nach der Etablierung einer State-of-the-Art-Infrastruktur mit einmaligen Prüfmethoden, die u. a. hochgenaue Deformationsmessungen und Kalibrierverfahren bieten, wurden schon im März 2016 die Aktivitäten in der Materialprüfungen in Fraunhofer IWES gemäß ISO 17025 akkreditiert. Im Februar 2017 hat auch der Bereich Rotorblatt für das Verfahren „Experimentelle Strukturprüfung“ (IEC 61400-23:2014) das Akkreditierungsaudit durchlaufen und mit der Urkunde der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkKS) im Juli eine offizielle Bestätigung seiner technischen Kompetenz erlangt.

Die erfolgreiche Akkreditierung der Ganzblattprüfung ist ein wichtiger Schritt im Zuge der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Prüfaktivitäten im Blattbereich des Fraunhofer IWES. Kunden können damit zukünftig unsere Erfahrung von über 20 Ganzblatttests noch effizienter nutzen. Gleichzeitig wird sichergestellt, dass die Prozesse und Prüfverfahren kontinuierlich weiterentwickelt werden.

Austausch fördert Wissensaufbau

Die langfristig geplante Entwicklung der Prüfmethodik wird in den kommenden Jahren weiter intensiviert. Dabei wird die technische Leistungsfähigkeit bestehender Verfahren erhöht und die Effizienz verbessert. Aufgrund der Bauteilgröße und der begrenzten Prüflingsverfügbarkeit ist die Durchführung von Vergleichstests für Prüfinstitute kaum umsetzbar. Das Fraunhofer IWES beteiligt sich intensiv an Programmen, die den Austausch zwischen solchen Institutionen fördern und somit den Kompetenzauf- und -ausbau unterstützen.

Komponentenprüfungen

Zum heutigen Zeitpunkt sind in vielen Bereichen der Rotorblattprüfmethode keine statistischen Aussagen möglich. Das Fraunhofer IWES erweitert derzeit sein Prüfspektrum um Komponentenprüfungen, um hier Abhilfe zu schaffen. Es hat auch dazu beigetragen, dass sie in der kommenden IEC-Richtlinie 61400-5 und in der überarbeiteten DNV-GL-Richtlinie berücksichtigt werden. Diese Richtlinien eröffnen die Möglichkeit, dass Zertifizierer einen zusätzlichen numerischen und/oder experimentellen Aufwand durch die Verringerung kalkulatorischer Sicherheitsfaktoren honorieren. Aus dieser möglichen Reduzierung der Sicherheitsfaktoren kann sich für Hersteller ein Wettbewerbsvorteil ergeben.



© Helmut Gross, Bremerhaven

SUCCESSFUL ACCREDITATION OF FULL-SCALE STRUCTURAL TESTING

- The requirements placed on full-scale blade tests have evolved dynamically during the recent years. Whilst wind energy was in its infancy, the mere availability of a test stand guaranteed its utilization. Accordingly, the test stands grew along with the rotor diameters. In a subsequent developmental stage, greater demands were placed on the testing methodology, especially with regard to blade handling and the nature of load application.

Modern approval practices for rotor blades comprise the evaluation of load-related, design-specific, material-induced, and production method-related safety factors. To date, in order to validate the assumptions, material tests to determine the design parameters and a complete blade test as per IEC 61400-23:2014 are mandatory.

Material testing and full-scale blade testing audited

Following the establishment of a modern infrastructure with unique testing methods, which, amongst other things, enable highly accurate deformation measurements and calibration procedures, the material testing activities were accredited according to ISO 17025 in March 2016. In February 2017, the rotor blade department was also subjected to the accreditation audit for “full-scale structural testing” (IEC 61400-23:2014). As a result, the certificate of DakKS, the German national accreditation body, was handed over as official confirmation of technical expertise.

Successful accreditation of full-scale structural testing represents an important milestone for the ongoing development of rotor blade testing activities at Fraunhofer IWES. It means that customers will be able to make even more effective use of our experience, gained from more than 20 full-scale blade tests. At the same time, it is ensured that the processes and testing procedures will be continuously improved.



Belastungen möglichst realistisch nachbilden

Ein Schwerpunkt sind darüber hinaus Entwicklungen für biaxiale Blattprüfungen. Diese gewinnen immer mehr an Bedeutung, da sie die Blattprüfung verkürzen können und gegenüber der uniaxialen Prüfung zusätzliche Blattbereiche prüfen. Dies ist möglich, da beide Ermüdungsversuche (in Schwenk- und Schlagrichtung) nicht hintereinander, sondern gleichzeitig erfolgen können. Der Prüfbereich des Blattes wird dadurch erweitert, dass einerseits die eingebrachten Schädigungen in den Hauptrichtungen denen der uniaxialen Versuche entsprechen, aber darüber hinaus auch die Bereiche außerhalb der Hauptachsen belastet werden, und so z. B. die eingebrachte Schädigung im Panelbereich erhöht wird. Dies führt zu einer besseren Abbildung der Blattlasten und erhöht die Realitätsnähe der Blattprüfung.

Das Fraunhofer IWES beschäftigt sich insbesondere mit der Entwicklung von Verfahren, die eine gezielte Beeinflussung der Blatteigenfrequenzen für die Prüfung ermöglichen. Hierbei werden unterschiedliche Verfahren betrachtet, um einachsige wirkende Belastungen aufzubringen. Ein wichtiger Schritt dabei ist die numerische Vorauslegung der geplanten Blattprüfung. Dabei werden alle prüfstands- und blattrelevanten Parameter abgebildet und der Ermüdungsversuch vorab simuliert. Dies wird bereits für die uniaxialen Versuche umgesetzt und weiterentwickelt, um die geforderten Zielbiegemomente so genau wie möglich zu treffen. Für die biaxiale Prüfung wird dieser Aspekt weiter in den Vordergrund rücken, um die Durchführung überhaupt zu ermöglichen und effektiv zu gestalten.

Langfristig ist eine Ergänzung der Validierungsprüfung um virtuelle Prüfungen zu erwarten. Werkstoff-, Fertigungs- und Designdetails werden von der zu prüfenden Komponente oder Gesamtstruktur ermittelt und die heutigen Designmodelle werden entsprechend ergänzt. Die numerische Abbildung des Prüflings und des Prüfaufbaus wird anhand kritischer Versagensmodi experimentell validiert, sodass die Modellzuverlässigkeit und die Gültigkeit für das Blatt bewertet werden können.

■ Boosting know-how through exchange

Fraunhofer IWES continues to pursue its planned, sustainable development of testing methods and will further intensify its efforts in this field in the coming years. The existing procedures will be enhanced, their technical capability increased, and their efficiency improved. Given the size of components and the limited availability of test objects, the performance of benchmark tests is problematic for all testing institutes. IWES is actively involved in programs which serve to promote lessons learnt between operators of test rigs, and thus consolidates and enriches its know-how.

Component Tests

At present, it is not possible to offer statistical statements in many areas of rotor blade testing methodology. Therefore, Fraunhofer IWES is currently expanding its testing spectrum to also include component tests. IWES has also played a role in ensuring that it is taken into account in the pending IEC Directive 61400-5 and in the revised DNV GL Directive. These directives allow certifiers to reward additional numerical and/or experimental efforts through the reduction of arithmetical safety factors. The potential reduction of safety factors can result in a competitive advantage for manufacturers.

Technische Daten / technical data

- 70 m- und 90 m-Ganzblattprüfstände
- Flexibler Komponentenprüfstand
- 400 m² Materiallabor
- Regenerationsprüfstand

- 70 m/90 m full-scale blade test stands
- Flexible component test stand
- 400 m² material laboratory
- Rain erosion test stand
- 3,500 kg capacity for additional material and equipment

Highly realistic load simulation

A further focal point are developments for biaxial blade testing. It becomes increasingly important because it can reduce the duration of full-scale blade testing and, compared to the uniaxial test, consider additional blade areas. This is possible since both fatigue tests (in flapwise and edgewise direction) can be performed concurrently, not consecutively. The tested part of a blade is expanded by the fact that the damage induced in the main directions corresponds to that of the uniaxial tests. Furthermore, the areas apart from the main axes are subjected to loading, too. As such, the damage induced in the shell area is increased. This results in an improved reproduction of the loads and makes the blade test more realistic.

Fraunhofer IWES is focused in particular on the development of procedures which influence the blade's natural frequencies for testing. To this end, various procedures are taken into consideration in order to apply uniaxial loads. One important step here is the numerical design of the planned blade test. All test stand- and blade-relevant parameters are emulated and the fatigue test is simulated in advance. This is already done for the uniaxial tests, and efforts have been further refined to achieve the specified target bending moments as accurately as possible. This aspect is also set to become more important for biaxial testing in order to make it possible and effective.

In the long term, a replenishment of validation testing to include virtual tests is anticipated. Details of the material, manufacturing and design of the component or complete structure will be determined, and today's design models will be completed accordingly. The numerical representation of the test object and the test set-up is validated experimentally, using critical failure modes, in order to evaluate the blade model's reliability and validity.

INDUSTRIALISIERUNG DER ROTORBLATT-FERTIGUNG – DEMOZENTRUM BLADEMAKER

Rotorblätter machen rund ein Fünftel der Gesamtkosten einer Windenergieanlage aus. Ihre Herstellung erfordert auch heute noch einen hohen Anteil manueller Fertigungsarbeit: Es werden große Bauformen nach Vorgabe der Blattkontur hergestellt. In diesen Formen werden für das sogenannte Vakuum-Infusionsverfahren Glasfaserbahnen und weitere Strukturwerkstoffe gemäß Vorgabe der Blattkonstruktion abgelegt. Danach wird mittels Vakuum das Harz injiziert, das die Bahnen und den Strukturaufbau verbindet. Nach der Aushärtung werden die Blatthälften zu einem Blatt zusammengefügt und lackiert.

Mehr Qualität und Tempo bei weniger Kosten

Die manuelle Arbeitsweise stößt angesichts steigender Stückzahlen, kürzerer Fertigungszeiten und des Drucks zur Kostenreduktion deutlich an ihre Grenzen. Im Rahmen des Projektes „BladeMaker“ entwickelt das Fraunhofer IWES zusammen mit 15 Partnern Methoden und Technologien, um in einem ersten Schritt die Kosten sowie die Durchlaufzeit für ein gefertigtes Rotorblatt um 10 Prozent zu senken. Außerdem ermöglicht eine Fertigung mit einem deutlich höheren Industrialisierungsgrad, die Qualität auf einem konstant hohen Niveau zu halten. Dazu wurde ein 40 Meter langes Rotorblatt entworfen, das für die automatisierte Fertigung optimiert ausgelegt wurde. Es kann als Benchmark für neue Technologien gelten.

Integriertes Maschinenkonzept und neue Materialien

Im Mittelpunkt des Projektes „BladeMaker“ steht die Entwicklung von neuen Prozessen, die eine weitreichende Industrialisierung ermöglichen. Zum Beispiel übernehmen spezielle Legeköpfe das genaue, automatische Legen der Glasfaserlagen ins Formwerkzeug. Neben Prozessabläufen geht es aber auch um neue Materialien: innovative Epoxidharze, Polyurethan-Kernwerkstoffe und polyurethanbasierte Klebstoffe werden eingesetzt. Zur Weiterentwicklung und Validierung der Technologien im 1:1-Maßstab hat das Demozentrum „BladeMaker“ im April 2016 am Standort Bremerhaven den Betrieb aufgenommen. Kernstück ist ein innovatives Maschinenkonzept, das multifunktional für verschiedene Prozesse zum Einsatz kommt und gemeinsam mit dem Lieferanten entwickelt wurde.

Zentrales Element ist eine CNC-Steuerung, die zwei Portalsysteme wie eine Kranbrücke über das Werkstück fährt und Arbeiten erledigen lässt. Die verschiedenen Produktionsschritte, die sonst an unterschiedlichen Maschinenplätzen bewältigt werden, können daher an einem Platz erfolgen, in dem einfach der Prozesskopf ausgetauscht wird.



Letzte Kontrolle des Stegs für den 18 m-Blattabschnitt des 40 m-IWES-Blatts, hergestellt mit Direktinfusionstechnik.

■ *Last check of the shear web for an 18 meter long segment of the 40 m long IWES blade, produced with direct infusion technique.*



© Jan Meier, Bremen

■ The first half of the form tool manufactured at the “BladeMaker” center is ready for the next production step.

Das erste Hälfte des Formwerkzeugs, die im „BladeMaker“ Zentrum hergestellt wurde, ist bereit für den nächsten Produktionsschritt.

INDUSTRIALIZATION OF BLADE MANUFACTURING – BLADEMAKER DEMO CENTER

■ Rotor blades account for about one fifth of the total cost of a wind energy turbine, a fact which results from the high proportion of manual labor involved: large molds are produced based on the blade contour. Fiber glass blanks and additional structural materials are placed in these molds as per the specifications of the blade construction for the so-called vacuum infusion process. The resin, which joins the individual materials, such as glass fibers and core materials, is brought into the textile structure via vacuum infusion process and cured. After hardening, the two separate manufactured blade shells are bonded and subsequently grinded and coated.

Increased quality and speed at less expense

In light of increasing production batches, shorter production times, and cost reduction pressures, the manual approach is fast reaching its limits. Within the scope of the “BladeMaker” project, Fraunhofer IWES, together with 15 partners, is developing methods and technologies in order, in an initial stage, to reduce the costs and flow time for manufacturing a rotor blade by 10 percent. At the same time, production procedures with a significantly increased degree of industrialization make it possible to maintain constantly high quality levels. A 40 meter long rotor blade – optimized for automated production – has been designed, and can be referred to as a benchmark for new technologies.

Vierzig Meter langes Gesellenstück

Im Vergleich zu Robotern oder Werkzeugmaschinen überzeugt diese Konstruktion mit hoher Präzision, flexiblen Einsatzmöglichkeiten und geringerem Investitionsbedarf. Vervollständigt wird das Demozentrum durch eine Haupt- und eine Stegform im 1:1-Maßstab für das 40 Meter-Blatt. Ein automatisches Cutter-System sowie Anlagen zum Auftragen, Dosieren, Fügen und Bearbeiten der Materialien sind einsatzbereit. Zum Abschluss des Projektes Ende 2017 wird ein 18 Meter langes Rotorblattsegment hergestellt und durchläuft alle Stufen des Prozesses.

Technische Daten/technical data

Arbeitsraum

- 25 m (Länge), 4,35 m (Breite) und 2,3 m (Höhe)
- Passend für Abschnitte bis max. zur Hälfte der 50 m Rotorblatt-Klasse

Portalroboter

- 2 unabhängige Portalroboter, mit je 6 DOF
- Tragfähigkeit: je 400 kg
- Geschwindigkeit: max. 2,5 m/sec bei 4,5m/s² Beschleunigung

Schwerlastplattform

- Kapazität von 3500 kg für Materialien/ zusätzl. Produktionseinrichtungen

Working space

- 25 m (L), 4.35 m (W) and 2.3 m (H)
- Fits the root half of a 50 m blade

Gantry robot

- 2 independent working gantry robots, moveable in 6 DOF
- Load-bearing capacity: 400 kg
- Speed: max. 2.5 m/s by accelerating with 4.5 m/s²

Heavy load platform

- 3,500 kg capacity for additional material and equipment

Partner für Prozess- und Materialfragen

Das „BladeMaker“-Demoszentrum soll als dauerhaftes Schau- fenster interessierten Industrievertretern die Möglichkeit bieten, neue Materialien und alternative Fertigungskonzepte zu erproben. Welchen Einfluss Prozessführung und Umgebungsbedingungen letztlich auf die Struktureigenschaften des Rotorblattes haben, sollen verbesserte Analysemöglichkeiten künftig noch deutlicher aufzeigen. Das Fraunhofer IWES übernimmt auch in anderen Verbundprojekten die Rolle des Fertigungspartners, um die Validierung von Technologien für die Rotorblattproduktion zu fördern. Dabei untersuchen und bewerten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auch alternative Produktionsansätze für Blattkomponenten wie das Wickeln oder den 3D-Druck.



Greifer für automatisierten pick-and-place-Prozesse, im Bild der Einzellagengreifer, für gestapelte und größere Zuschnitte sowie konsolidierte Preforms.

■ Automated pick-and-place process for stacked cuttings, large textile & sandwich preforms.

■ Integrated machinery concept and new materials

The development of new processes which will enable comprehensive industrialization are at the heart of the "BladeMaker" project. For example, special process heads are responsible for the precise and automatic placement of glass fiber layers in the mold. In addition to processes, the focus is also on new materials: innovative epoxy resins, polyurethane core materials, and polyurethane-based adhesives are applied.

In order to further develop and validate the technologies on a scale of 1:1, the "BladeMaker" demonstration center based in Bremerhaven began operating back in April 2016. The centerpiece is an innovative machine concept which is used for various processes and was developed together with suppliers. The concept is based on a CNC controller, which let two gantry robots move over the workpiece like a crane bridge to complete work. The various production steps which would otherwise be realized at different machine stations can thus be handled at one work station by simply changing the process head.

40 meter long masterpiece

Compared to robots and tooling machines, this construction convinces thanks to its excellent precision, flexible applications, and minimal investment needs. The demonstration center is completed with a main and web mold in a scale of 1:1 for the 40 meter blade. An automated cutter system as well as machines for applying, dosing, joining, and processing materials are ready for use. On conclusion of the project at the end of 2017, an 18 meter long rotor blade segment will be produced and pass through all process stages.

Partner for process and material questions

As a permanent showcase, the "BladeMaker" demonstration center offers interested parties the opportunity to try out new materials and alternative production concepts. In the future, improved analysis methods are supposed to trace back which impact process conduct and environmental conditions ultimately have on the structural properties of the rotor blade more clearly. Fraunhofer IWES has also assumed the role of a production partner in further joint projects in order to promote the validation of technologies for rotor blade manufacturing. In these projects, scientists are examining and evaluating alternative production approaches for blade components, for example filament winding technique and 3D printing.



■ *A precise cutter ensures a consistent level of quality when tailoring fiber mats.*

Beim Zuschnitt von Fasermatten garantiert ein präzises Schnittsystem eine durchgängig hohe Qualität.

ZUVERLÄSSIGE LEISTUNGSELEKTRONIK FÜR WINDENERGIEANLAGEN

Leistungselektronische Komponenten verursachen hohe Kosten in der Betriebsphase von Windenergieanlagen, da sie häufig ausfallen, Reparaturen benötigen oder sogar zu Anlagenstillständen führen. Die Definition von Maßnahmen, die die Zuverlässigkeit steigern können, setzt das Verständnis der häufigsten Ausfallursachen und -mechanismen voraus; allerdings wurden diese bisher noch nicht eingehend untersucht und geklärt. Um diese Schadensfälle und ihr Zustandekommen besser zu verstehen und ihnen effektiv vorzubeugen, wurde 2014 das „Fraunhofer-Innovationscluster Leistungselektronik für regenerative Energieversorgung“ gestartet. Das übergeordnete Ziel dabei ist, die Betriebskosten für Windenergieanlagen zu senken und die Wettbewerbsfähigkeit von Windenergie damit zu steigern.

Zwei Leitprojekte unter Regie von Fraunhofer

Das Leitprojekt A, „Neue Umrichterkonzepte zur Netzeinspeisung elektrischer Energie bis 1700 V, 1000 A“ wurde vom Fraunhofer ISIT geleitet. Das Leitprojektes B „Zuverlässige Leistungselektronik für Windenergieanlagen“ koordinierte das Fraunhofer IWES. Darin arbeiteten 16 Unternehmen, das Fraunhofer ISIT und das Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik der Leibniz Universität Hannover zusammen. Die beteiligten Unternehmen aus den Bereichen Komponenten- und Anlagenherstellung, Betriebsführung und Instandhaltung, Versicherung sowie Messtechnik und Zustandsüberwachung steuern dabei die Hälfte des Budgets von 4 Mio € bei.

Breiter Querschnitt marktüblicher Anlagen

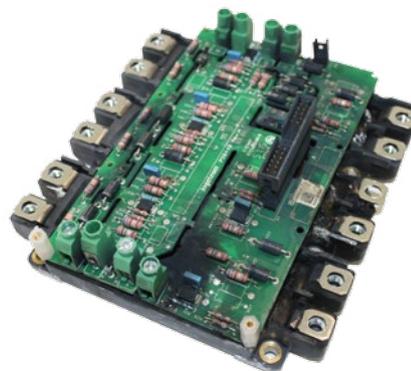
Ein inhaltlicher Schwerpunkt der Forschung liegt beim Leitprojekt B in der Ausfallursachenanalyse, welche neben Ausfall- und Betriebsdatenanalysen die Durchführung von Feldmesskampagnen und Post-mortem-Untersuchungen umfasst. Dazu wurde eine Datenbasis mit Betriebs- und Instandhaltungsdaten aus insgesamt 7300 Betriebsjahren von Windenergieanlagen zusammengestellt; sie stammen von mehr als 2800 Anlagen verschiedener Typen, Hersteller und Baujahre an Onshore- und Offshore-Standorten.

Insgesamt wurde eine durchschnittliche Ausfallrate von 0,5 Ausfällen je Windenergieanlage und Jahr ermittelt. In der Abbildung auf S. 29, die aus einer vergleichenden Studie¹ stammt, werden die Ausfallraten des Hauptumrichters und der Komponente „Phasenmodul“ für verschiedene Umrichter-Generator-Konzepte detailliert aufgeführt.

Weitere Themen des Innovationsclusters sind die Entwicklung von Systemen der Fehlerfrüherkennung, die Modellierung dynamischer Wechselwirkungen sowie die Betrachtung fehler-toleranter Systemkonzepte.

Folgevorhaben mit Partnern

Die Untersuchungen lieferten u. a. konkrete Anhaltspunkte für einen signifikanten Einfluss von Feuchtigkeit auf Umrichterausfälle, die genauere Untersuchungen erfordern. An das Innovationscluster anschließende Folgevorhaben werden u. a. dieses Thema aufgreifen und interessierte Unternehmen umfassend einbinden. So soll etwa im Rahmen des „HiPE-Wind“-Projektes die Hochleistungselektronik für Windenergieanlagen unter realen, multimodalen Umwelt- und Lastbedingungen gemeinsam mit der Universität Bremen untersucht werden. Zu diesem Zweck ist der Aufbau eines herstellernerutralen 10 MW-“High Power Electronics Laboratory“ geplant.



Leistungshalbleiter mit Treiberboard (1200 V/150A) eines Umrichters für eine 1,5 – 3 MW-Windenergieanlage.

■ IGBT module with driver board (1200 V/150A) of a DFIG converter for a WTG 1,5 -3 MW.

RELIABLE POWER ELECTRONICS FOR WIND ENERGY TURBINES

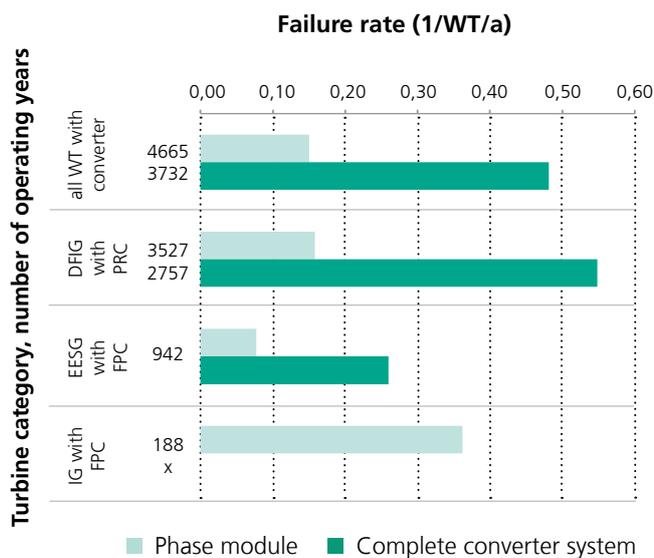
■ Power-electronic components cause significant costs during the operational phase of wind turbines since they frequently fail, require repair, or, indeed, lead to turbine downtimes. In order to define measures which could increase reliability, one needs to understand the most common causes and mechanisms of failure. However, up to now, these have not been examined or sufficiently explained. In order to understand these cases of damage and the occurrence thereof better and to prevent them more effectively, the “Fraunhofer Innovation Cluster Power Electronics for Renewable Energy Supplies” was launched in 2014. Its superordinate goal is to reduce the operating costs of wind turbines and thus increase their competitiveness.

Two Lead Projects under the Direction of Fraunhofer

The lead project A “New converter concepts for feeding electrical energy into the grid up to 1,700 V, 1,000 A” was managed by Fraunhofer ISIT. The lead project B “Reliable power electronics for wind plants” was coordinated by Fraunhofer IWES. This project represents a cooperation between 16 companies, Fraunhofer ISIT, and the Institute for Drive Systems and Power Electronics at Leibniz University of Hanover. The companies involved are active in component and turbine production, operational management and maintenance, insurance, measurement technology, as well as condition monitoring and have contributed half of the project budget of 4 million euros.

Broad average of current Turbine Types

One of the main focuses of research in lead project B is the root cause analysis, in addition to operating and failure data analysis, field measurement campaigns and post-mortem examinations. To this end, a database of O&M data from a total of 7,300 wind turbine operating years has been compiled. It comprises more than 2,800 turbines of different types, manufacturers, and construction years, located both on- and offshore. In total, an average failure rate of 0.5 failures per turbine and year was calculated. The figures from a comparative study¹ show the failure rates of the main converters and phase module components for various converter generator concepts in detail.



Further topics covered by this innovation cluster are the development of systems for early error detection, the modeling of dynamic interactions, and the assessment of error-tolerant system concepts.

Follow-up Projects with Partners

Amongst other things, the tests provided specific reference points for the significant influence of moisture on converter failure which need to be investigated in greater detail. The follow-up projects resulting from this innovation cluster will pick up on this issue and also integrate interested companies. For example, within the scope of the “HiPE Wind” project, the high-performance electronics used in wind turbines shall be tested under real, multi-modal environmental and load conditions together with the University of Bremen. To this end, the set-up of a non-proprietary 10 MW “High Power Electronics Laboratory” and test facility is planned.

¹ Fischer, K., Bartschat, A., Tegtmeier, B., Coronado, D., Broer, C., & Wenske, J. (2016). Reliability of power converters in wind turbines: Results of a comprehensive field study. Poster presented at Wind Europe Summit 2016.

GROSSLAGER-PRÜFSTAND ENTSTEHT IN HAMBURG

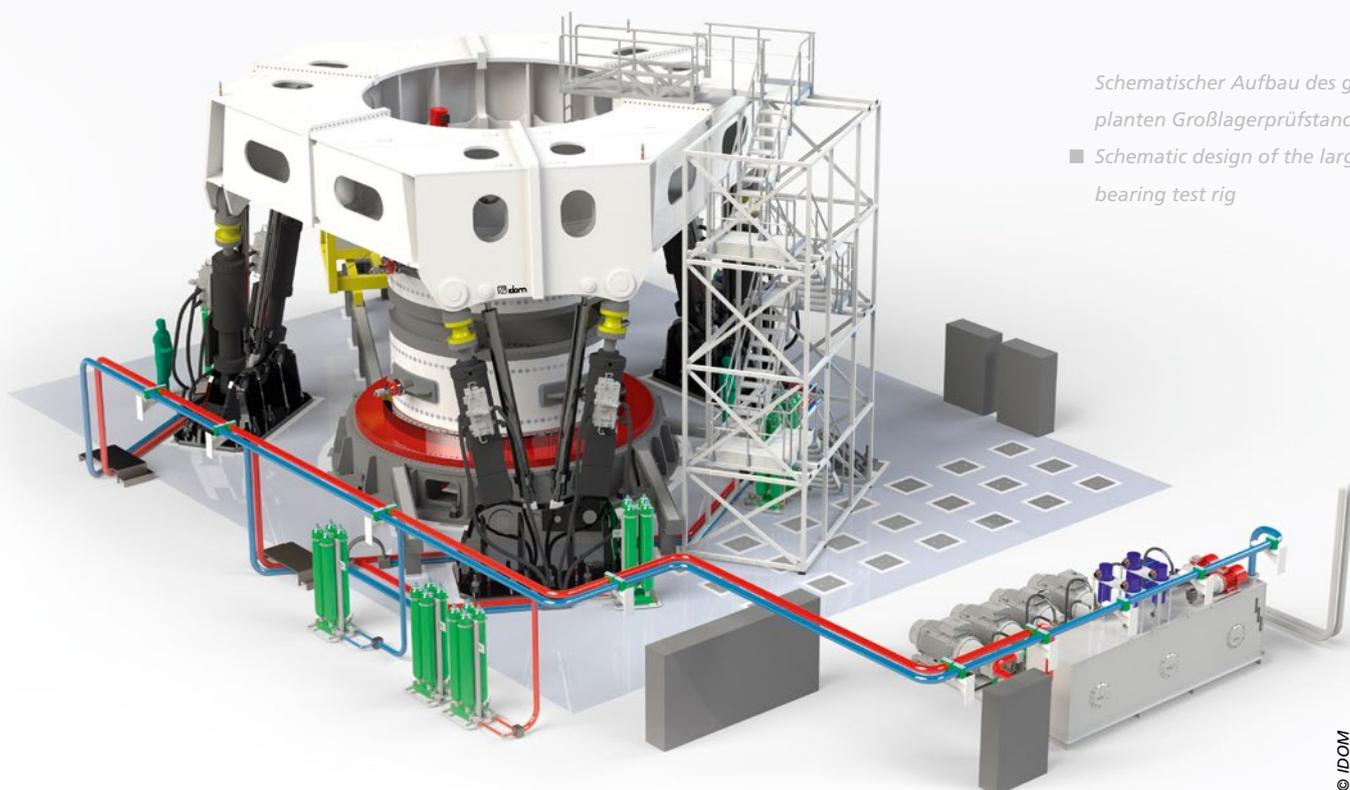
Anfang 2018 wird in Hamburg-Bergedorf ein neuer Standort erschlossen – in direkter Nachbarschaft zum Energie-Campus des „Competence Center für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz“ (CC4E) der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg. Dort wird ein Prüfstand für Blattlager mit einem Durchmesser von bis zu 5 Metern gebaut, wie sie für 10 MW-Windenergieanlagen der nächsten Generation zum Einsatz kommen werden.

Wesentliches Merkmal wird die realitätsgetreue Anbindung der Blattlager sein. Hierzu werden die erforderlichen Eigenschaften von Blatt und Nabe emuliert. Mithilfe von Methoden zur

beschleunigten Prüfung sollen dann 20 Jahre Betriebsdauer in einer sechsmonatigen Testdauer nachgebildet werden. Die Testmethode und der Prüfstandsbaus werden im Projekt „HAPT“ zusammen mit dem Institut für Maschinenkonstruktion und Tribologie (IMKT) der Leibniz Universität Hannover und dem Industriepartner IMO entwickelt. Für die Industrie werden somit Voraussetzungen für die Validierung der rechnerischen Auslegung von Blattlagern geschaffen, die eine exaktere Dimensionierung ermöglichen. Dabei wird auch der Einsatz von Einzelblattregelung zur Lastreduktion an Rotorblättern zuverlässig ermöglicht, was letztlich einer verlängerten Betriebsphase und reduzierten Stromgestehungskosten den Weg ebnet.

Schematischer Aufbau des geplanten Großlagerprüfstandes.

■ *Schematic design of the large bearing test rig*



LARGE BEARING TEST STAND TO BE ESTABLISHED IN HAMBURG



■ IWES' new site in Hamburg comprises a testing hall right next to an office building.

Der neue IWES-Standort in Hamburg umfasst eine Prüfhalle mit angrenzendem Bürogebäude.

■ A new site is to be developed at the start of 2018 in Hamburg-Bergedorf, in the direct vicinity of the energy campus of the "Competence Center for Renewable Energy and Energy Efficiency" (CC4E) which is part of Hamburg University of Applied Sciences. A test stand is to be built here for blade bearings with a diameter of up to 5 meters as will be used in the 10 MW wind turbines of the future.

A key feature of this development is the highly realistic connection of the blade bearings. For this, the necessary properties of the blade and hub are emulated. With the help of a method for accelerated test processes, it will be possible to reduce 20 years of completed service life to a test period of just 6 months. The test methodology and the construction of the test bench within the research project HAPT (Highly Accelerated Pitch Bearing Test) will be developed together with the Institute for Machine Design and Tribology (IMKT) of Leibniz Universität Hannover and industry partner IMO.

Der Neubau wird aktuell auf einem 2200 Quadratmeter großen Grundstück von der Sprinkenhof GmbH realisiert. Er wird Platz für 15 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bieten und eine 450 Quadratmeter große Prüfhalle mit Schwerlastfundament umfassen. Das Richtfest ist für November 2017 geplant. Der Prüfstandsbetrieb soll im Herbst 2018 aufgenommen werden. Die Freie und Hansestadt Hamburg bekräftigte ihr besonderes Interesse am weiteren Ausbau des Windenergie-Hubs durch die unkomplizierte Förderung des Neubaus mit ca. 8,3 Mio €. Insgesamt werden am Standort rund 20 Mio € in Innovationen investiert.

Die Windenergieunternehmen der Metropolregion Hamburg erhalten durch die Ansiedlung des Fraunhofer IWES, das Mitglied im Forschungsverbund Windenergie ist, direkten Zugang

zu einer weltweit einmaligen Forschungs- und Testinfrastruktur und dem Know-how von 600 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern. Gemeinsam mit dem CC4E und dem Cluster „Renewable Energy Hamburg“ sollen die Vernetzung der Windenergieforschung in Norddeutschland weiter ausgebaut und neue Forschungsfelder erschlossen werden.

Technische Daten

- Statisches Biegemoment: 50 MNm
- Dynamisches Biegemoment: 25 MNm bei 0,5 Hz
- Prüflinge mit Durchmessern bis 5 m
- Automatisierung: 24/7
- Blattverstellung: elektrisch und hydraulisch möglich
- GFK-Blattadapter

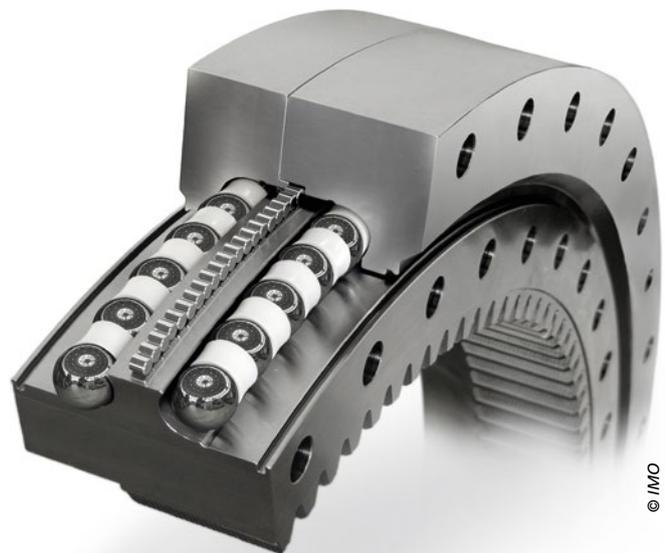


■ For industry, this establishes the prerequisites for validating the calculated design of large bearings, which will enable more precise dimensioning. This also allows the reliable use of individual pitch control (IPC) to reduce loads on rotor blades, which ultimately paves the way for an extended operation and reduced levelized cost of energy. The new building is being constructed on a 2,200 m² site by Sprinkenhof GmbH. It will house 15 scientists and include a 450 m² test hall with heavy-duty foundations. The topping-out ceremony is scheduled for November 2017. Operation of the test stand is due to commence in fall 2018. The Free and Hanseatic City of Hamburg reinforced its commitment to the further expansion of its wind energy hub by funding the project with approx. 8.3 million euros. In total, 20 million euros are dedicated for investments in innovation at this site.

As a result of Fraunhofer IWES's settlement, wind energy companies in the Hamburg metropolitan region will gain direct access to the „Research Alliance Wind Energy“ and its unique research and testing infrastructure, as well as to the know-how of 600 scientists. Together with the CC4E and the “Renewable Energy Hamburg” cluster, the networking of wind energy research in Northern Germany is to be expanded and additional research issues are to be developed.

Technical data

- Static bending moment: 50 MNm
- Dynamic bending moment: 25 MNm at 0.5 Hz
- Test objects with diameters up to 5 m
- Automation: 24/7
- Pitch adjustment: electrical and/or hydraulic
- GFRP blade adapter



© I/MO

■ *Roller bearing for reduced structural loads on rotor blades using IPC.*

Rollenlager zur strukturlast-senkenden individuellen Verstellung von Rotorblättern

■ *T-Solid pitch bearing for durable operation in wind turbines under harsh conditions.*

T-Solid-Rotorblattlager für langlebigen Betrieb unter höchsten Belastungen.



© Image Source on Fotolia

STO
CHE
COR

LiDAR-BOJE

Meteorologische Daten sind entscheidend für die erfolgreiche Planung eines Offshore-Windparks. Für die Erstellung von Energieertragsprognosen und die Spezifizierung von Umweltparametern setzt das Fraunhofer IWES LiDAR-Bojen ein, die Windgeschwindigkeiten in verschiedenen Höhen mittels Laser-Fernerkundung bis in 200 Meter messen. Ein spezieller Korrekturalgorithmus eliminiert die Eigenbewegungen der Bojen aus den Messdaten und ermöglicht eine Messgenauigkeit, die mit Offshore-Mastmessungen vergleichbar ist. Die Möglichkeit, die Position der Boje, falls notwendig, mit geringem Kostenaufwand zu verändern, macht den Einsatz flexibel. Bojenmessungen erfordern darüber hinaus weit weniger aufwendige Genehmigungsverfahren als der Aufbau eines Messmastes.

Im Rahmen des „Offshore Wind Accelerator“ (OWA)-Programms von Carbon Trust wurde der Boje Ende 2016 in einem unabhängigen Review der „pre-commercial status“ bescheinigt. Die Anforderungen an Genauigkeit und Verfügbarkeit wurden dabei sogar übertroffen. Dem Ergebnis war eine sechsmonatige Validierungskampagne neben dem Windmessmast Fino1 in der Nordsee vorausgegangen.

Die LiDAR-Boje wurde bereits mehrfach für Offshore-Messkampagnen eingesetzt. Aktuell misst sie in der schottischen See für geplante Windparks der Firma Seagreen im Gebiet „Firth of Forth“. In China ist der Einsatz der Boje in zwei designierten Windparkgebieten der China Three Gorges Corporation (CTG) vor der chinesischen Provinz Fujian geplant.

LiDAR BUOY

■ Meteorological data is of key importance for the successful planning of an offshore wind park. Fraunhofer IWES uses LiDAR buoys for energy yield assessment and to specify environmental parameters. The buoys are able to measure wind speed at different heights by means of laser remote sensing at an altitude up to 200 meters. A special correction algorithm eliminates the buoy's own motion from the measurement data to achieve a measurement accuracy which is comparable to met mast data. Changing the position of the buoy is possible at minimal expense thanks to its flexibility. Furthermore, the deployment of this buoy requires a far less complex approval procedure compared with the set-up of a met mast.

Within the scope of the Carbon Trust's "Offshore Wind Accelerator" (OWA) program, the buoy was granted "pre-commercial status" in an independent review at the end of 2016. This status was awarded following a six-month validation campaign next to the wind met mast "Fino1" in the North Sea which also showed that the requirements as regards accuracy and availability were far exceeded.

The Fraunhofer IWES LiDAR buoy has already been used for several offshore measurement campaigns; it is currently in deployment off the Scottish coast performing measurements for the planned wind park "Firth of Forth" to be constructed by the Seagreen Corp. There are also plans on the part of the China Three Gorges Corp. (CTG) to use the buoy in two designated wind park areas off the province of Fujian.

FORSCHUNGSPROJEKT RAVE GEHT IN DIE NÄCHSTE RUNDE

Als 2009 der Startschuss für den Bau des ersten deutschen Forschungs-Windparks „alpha ventus“ 45 km nördlich der Insel Borkum fiel, standen die Frage der Umsetzbarkeit in großer Küstenentfernung und Tiefwasser sowie die Validierung der damals neuen 5 MW-Anlagenklasse im Vordergrund. Die Forschungsinitiative „Research at alpha ventus“ (RAVE) begleitete von Anfang an das Testfeld und verknüpfte dabei die Projekte, die sich um die insgesamt 12 Windenergieanlagen von Adwen und Senvion drehten. Dank großer Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie wurden bislang rund 40 Forschungsvorhaben gefördert.

Kostenreduktion rückt in den Fokus

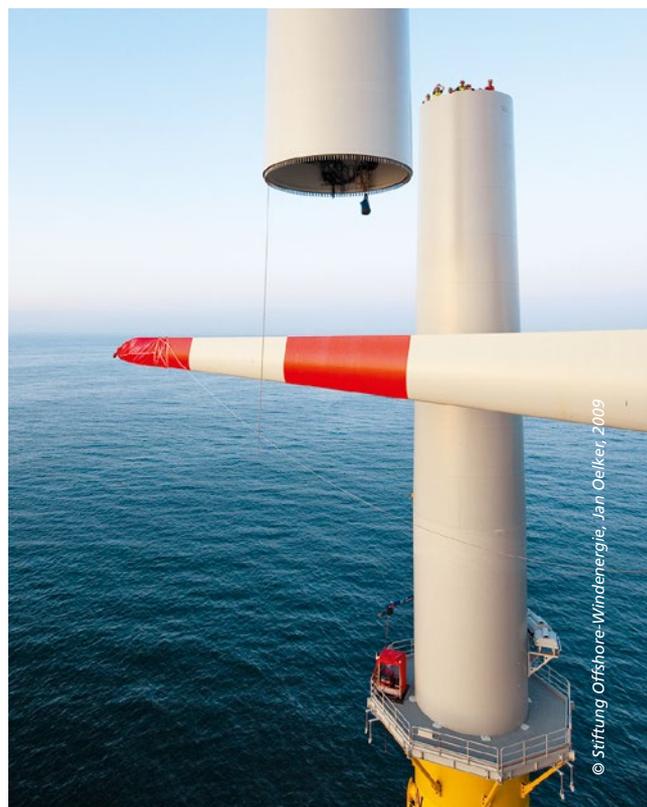
Heute drehen sich etwa 700 Offshore-Windenergieanlagen vor deutschen Küsten, rund 3100 in Europa. Die Realisierbarkeit von Offshore-Windparks ist längst bewiesen; daher stellt das im Februar gestartete Folgeprojekt Fragen zu Betrieb und Zuverlässigkeit der Anlagen in den Vordergrund. Die Forschung zielt in erster Linie auf die Reduktion der Gestehungskosten von Offshore-Windstrom und die Risikominimierung ab.

„Alpha ventus“ ist nicht nur der Windpark mit der längsten Betriebserfahrung in deutschen Gewässern, er ist zudem auch üppig mit Messtechnik bestückt: Seit 2010 wurden über 22 Terabyte Daten aufgezeichnet und archiviert, die hochrelevant für die aktuellen Fragestellungen sind.

Die RAVE-Partner sind dabei, unter dem bewährten Schirm neue Forschungsprojekte zu starten und dabei das Testfeld und seinen reichen Datenschatz zu nutzen. Die Projekte werden von einem Konsortium aus Industrie und Forschung unterstützt, das das Fraunhofer IWES koordiniert.

Netzwerk und Wissenstransfer

Für die Qualität der Offshore-Forschung ist die Vernetzung innerhalb von RAVE, aber auch mit anderen Forschungsprojekten in Deutschland und der internationalen Forschungsgemeinschaft essenziell. Die Potenziale zur Kostenreduktion und Risikoreduzierung lassen sich nur international sinnvoll



Aufbau der ersten M5000 im Offshore-Windpark „alpha ventus“.

■ *Construction of the first M5000 turbine at offshore wind park „alpha ventus“.*

erschließen. Daher sind Kommunikation und Erfahrungsaustausch wichtige Aspekte des Projektes. Im Juni 2017 wurde im Rahmen der „Offshore Wind Messe und Konferenz“ in London ein internationaler Workshop zum Thema „Offshore Wind Test Sites“ mit Beiträgen aus sieben Ländern durchgeführt. Derzeit laufen im IWES die Vorbereitungen für die nächste internationale Konferenz zur Offshore-Windenergieforschung, die im November 2018 zum dritten Mal in Bremerhaven ausgerichtet wird.

RESEARCH AT ALPHA VENTUS (RAVE) HAS ENTERED THE NEXT PHASE

■ When, in 2009, the go-ahead was given for the construction of the first German offshore wind park for research purpose, "alpha ventus", 45 km north of the island of Borkum, questions pertaining to the feasibility of offshore wind energy generation far from the coastline and in deep waters, as well as the validation of the then new 5 MW turbine class were in the fore. The RAVE research initiative has accompanied the test field right from the start and linked up the projects associated with the 12 offshore turbines of Adwen and Senvion. Thanks to the great support from the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, nearly 40 research projects have been able to contribute to the allocation of know-how.

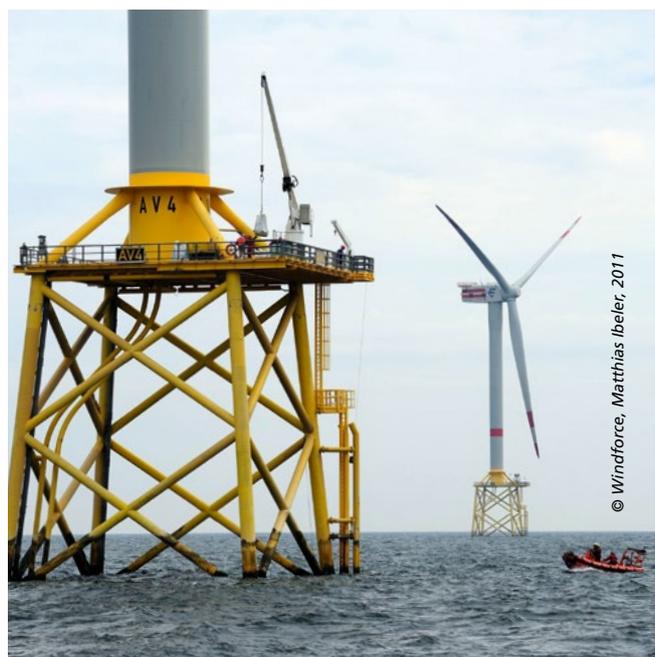
Focus has switched to cost reduction

Today, some 700 offshore wind turbines are in operation in German waters and 3,100 across Europe; their feasibility has long been confirmed. For this reason, the follow-up project which started in February 2017 is primarily focusing on the operation and reliability of the turbines. The main goals are reduction of the levelized cost of energy and riskassessment. Alpha ventus is not only the wind park with the longest operational history in German waters, it also boosts an abundance of measurement equipment: Since 2010, more than 22 terabytes of data have been collected and recorded, which are of great relevance to current questions.

The RAVE partners, in the proven configuration, are in the process of starting new research projects and making use of the test field and its great wealth of data. The projects are supported by a consortium of industrial and research partners coordinated by Fraunhofer IWES.

Network and knowledge transfer

In order to encourage research on offshore wind, networking within the RAVE project, but also with other research projects in Germany and with the international research community is pivotal. Cost and risk reduction potential can only be fully exploited on the international stage. As such, communication and the exchange of experiences is an important aspect of this project. In June 2017, within the scope of the "Offshore Wind Energy 2017" event in London, an international workshop was held focusing on "Offshore Wind Test Sites", bringing together contributions from seven countries. At present, IWES is preparing for the next international offshore wind energy research conference, which will take place for the third time in Bremerhaven in November 2018.



© Windforce, Matthias Ibeler, 2011

■ Maintenance work to be committed at a jacket structure at offshore wind park "alpha ventus".

Wartung einer Jacket-Struktur im Windpark „alpha ventus“.

DESIGNOPTIMIERUNG VON GRÜNDUNGS-STRUKTUREN FÜR OFFSHORE-WEA

Größere Windenergieanlagen und zunehmende Wassertiefen stellen die Industrie bei der Realisierung von wirtschaftlichen Gründungssystemen vor neue Herausforderungen. Die dabei auftretenden Fragestellungen sind mannigfaltig und beinhalten nicht nur die Optimierung und Validierung von Strukturen oder Boden-Struktur-Interaktions-Modellen, sondern z. B. auch die Entwicklung von wirtschaftlichen schallreduzierten Installationsverfahren. Großmaßstäbliche geotechnische Tests sind grundlegend für die Bewertung verschiedener Designansätze und die Modellvalidierung auf unterschiedlichen Komplexitätsstufen; darüber hinaus liefern sie wertvolle Anhaltspunkte für ein kosteneffizientes Design von Tragstrukturen. Für die Untersuchung von Neuentwicklungen wie „Suction Buckets“ und „Helical Piles“ (Schraubpfähle) gibt es bisher kaum klein- und mittelmaßstäbliche Versuche. Hier können großmaßstäbliche Tests belastbare Ansatzpunkte liefern und das Verhalten der Struktur verständlich machen.

Das Testzentrum Tragstrukturen Hannover (TTH) wurde 2014 als Einrichtung der Leibniz Universität Hannover (LUH) in Betrieb genommen und wird seitdem durch das Fraunhofer IWES genutzt. Die dort vorhandene Infrastruktur bietet die Möglichkeit, empirische, analytische und numerische Modelle von Tragstruktur-, Substruktur- und Gründungselementen zu validieren und zu optimieren, sowie neue Ansätze zu entwickeln und in Bemessungsmodelle für Offshore-Gründungsstrukturen zu überführen.

Monopiles mit größerem Durchmesser

Monopile-Gründungen sind die vorherrschende Gründungsvariante für Offshore-Windenergieanlagen. Hierbei handelt es sich um eine Einzelpfahlgründung, die über Biegung Wind- und Wellenlasten in den Meeresboden abträgt.

Im Designprozess wird üblicherweise das p-y-Verfahren verwendet, um die Pfahl-Boden-Interaktion über eine nicht-lineare Federbettung zu beschreiben.

Windenergieanlagen der nächsten Generation mit Nennleistungen über 7,5 MW und standortbedingt zunehmender Wassertiefe (> 30 m) erfordern eine Modifikation des geometrischen Designs. Hierbei handelt es sich um eher starre Pfähle mit Durchmessern von über 8 Metern. Für solche Abmessungen ist die aktuell genutzte p-y-Methode nicht ohne Weiteres anwendbar, da diese an langen, schlanken Pfählen entwickelt und kalibriert wurde. Die sich hieraus ergebenden Unsicherheiten im Designprozess werden häufig durch eine konservative Auslegung kompensiert, was einen erhöhten Ressourceneinsatz in der Fertigung sowie mehr Logistik- und Installationsaufwand nach sich zieht.

Großmaßstäbliche Versuche unter offshore-ähnlichen Bedingungen im Modellmaßstab 1:13 bis 1:7 können hier Abhilfe schaffen. Im TTH wurde dazu eine Monopile-Gründung für eine 7,5 MW-Windenergieanlage ausgelegt, die in der deutschen Nordsee zum Einsatz kommen soll. Die Modellpfähle wurden in der Grundbauversuchsgrube durch schlagende Rammung installiert und lateral belastet. Eine Analyse und der Vergleich der Pfahlbiegelinien und Lastverschiebungskurven sollen die Basis für die Überprüfung und die potenzielle Weiterentwicklung der p-y-Methode zur Beschreibung des Pfahltragverhaltens für Monopiles mit großen Durchmessern liefern.

Untersuchung des strukturellen dynamischen Verhaltens von Monopiles.

■ *Investigation of the structural dynamic behavior of monopiles.*

DESIGN OPTIMIZATION OF FOUNDATIONS FOR OFFSHORE TURBINES



Pfähle für Jacket-Strukturen

Jacket-Strukturen werden üblicherweise bei Offshore-Plattformen eingesetzt, kommen heutzutage jedoch auch für Offshore-Windenergieanlagen bei Wassertiefen über 30 m zum Einsatz. Hierbei handelt es sich um aufgelöste Fachwerk-Trag- und Substrukturen, bei denen Wind- und Wellenlasten überwiegend durch axial beanspruchte Druck- und Zugpfähle in den Meeresboden abgeleitet werden. Die aus Wind und Wellen resultierenden Lasten sind höher als die Lasten aus dem Eigengewicht der Offshore-Windenergieanlagen. Der Nachweis der ausreichenden Pfahlzugtragfähigkeit ist daher bei diesen Strukturen ein entscheidender Designparameter.

Im Testzentrum Tragstrukturen Hannover wurden dazu experimentelle Prüfungen durchgeführt. Die Homogenität des eingebauten Modellsandes ermöglichte einen Vergleich der Tragfähigkeiten von geramten, vibrierten und eingedrückten Pfählen mit unterschiedlichen Durchmessern und Längen-/Durchmesser-Verhältnissen. Anhand der gewonnenen Messergebnisse konnten so unterschiedliche Bemessungsmodelle validiert und erweitert werden.

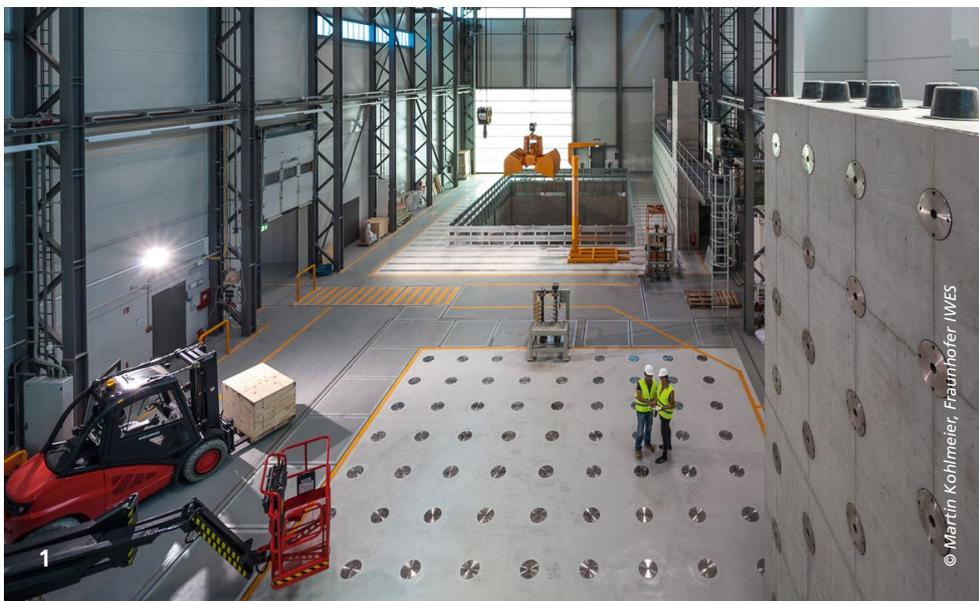
Technische Daten / technical data

Grundbauversuchsgrube

- Abmessungen: 14 m Länge, 9 m Breite, 10 m Tiefe
Abtrennung von Bereichen möglich
- Lastenabtragung: bis 2 MN vertikal, horizontal, Zugkraft und Kompressionsdruck
- Testfrequenz: bis 5 Hz
- Füllmaterial: ca. 1250 m³ Erdreich (z. B. Sand)

Foundation test pit

- Dimensions: 14 m (L), 9 m (W), 10 m (H)
zoning possible
- Loads up to 2 MN vertically, horizontally, tension & compression
- Test frequency: up to 5 Hz
- Pit filling material: ca. 1250 m³ soil (e.g. sand)



Im Vordergrund das Spannungsfeld, im Hintergrund die Grundbauversuchsgrube des Testzentrums für Tragstrukturen Hannover.

- In the foreground, the horizontal clamping field and in the background the foundation test pit of the Test Center for Support Structures in Hannover.

■ Larger wind turbines and increasing water depths are presenting industry with new challenges for the realization of economical foundation systems. The issues confronting industry here are manifold and include not only the optimization and validation of structures or soil-structure interaction models, but also the development of economical installation methods with mitigated noise levels. Large-scale geotechnical tests are essential to examine different design approaches and validate models at different levels of complexity. Besides, the provided key information for a cost-effective design of offshore wind foundations. This is also of great interest for the issues of the future, in particular, with respect to novel developments such as suction bucket foundations and offshore helical piles. So far, hardly any small and medium-scale tests have been carried out. Large-scale tests can contribute to a better understanding of the structure's behaviour.

The Test Center for Support Structures (TTH) was inaugurated in 2014 as an institution of the Leibniz Universität Hannover, operated by Fraunhofer IWES. The infrastructure available here enable validating empirical, analytical, and numerical models of support structures, sub-structures and foundation elements, as well as developing new approaches, and transferring them into design models for offshore foundation structures.

Large diameter monopiles

The monopile foundation is currently the most common type of foundation for offshore wind turbines. Offshore monopiles are single pile foundations which, by means of deflection, derive loads of wind and waves into the soil. This type of foundation is usually designed using the well-established p-y method. This is a design model which describes the pile-soil interaction with the aid of nonlinear springs.

Wind turbines of the future with rated powers above 7.5 MW and site-related increasing water depths (> 30 m) require a modification of the geometric design. Pile diameters of more than eight meters become necessary for these rigid piles. The p-y method, which is currently used, cannot be adopted

for these dimensions, because it was developed and calibrated for long, thin piles. It is not possible simply to transfer this method to larger diameters without a proper validation – this would result in large uncertainties for the design process. These would then have to be compensated by a conservative design, which would require more resources for manufacturing, logistics, and installation.

To obviate the need for this, large-scale tests under conditions similar to those found offshore are conducted on the model scale of 1:13 to 1:7. This was done at TTH by designing a monopile foundation for a 7.5 MW wind turbine designated for installation in the German sector of the North Sea. The model piles were installed in the test pit by impact driving, and static lateral load tests were performed. The aim in analysing and comparing pile deflection curves is to provide the basis for the evaluation of the p-y method and for its potential further development to describe the structural behavior of large-diameter monopiles.

Piles for jacket structures

Jacket structures are usually used for offshore platforms, but they are also used nowadays for offshore wind turbines in water depths of more than 30 meters. They are lattice support structures whereby wind and wave loads are derived into the seabed by compression and tension piles with predominantly axial loading. Since the dead weight of offshore wind turbines is relatively small compared to the loads resulting from wind and waves, the tensile load capacity of the pile is the crucial design parameter for these structures.

To this end, investigations were conducted with different pile length to pile diameter ratios and employing various installation methods like impact driving, vibratory driving, pile jacking at TTH. The homogeneity of the model sand used here facilitated a comparison of the respective load-bearing capacities of the structures with different diameters and diameter-length-ratio. The measurements obtained could then be used to validate an improve design scale models.

WISSENSCHAFTLICHE ARBEIT ALS ERFOLGSFAKTOR

Um den Kundenerwartungen an die Nutzung der Prüfinfrastruktur gerecht zu werden, müssen Ergebnisse eine hohe Aussagekraft haben – nur dann ist der Gegenwert für die eingesetzten Kosten vermittelbar. Daher ist die Anforderung an das IWES, Prüfverfahren zu entwickeln, die die komplexen Betriebsbedingungen einer Windenergieanlage über ihre Lebensdauer realistisch und im Sinne der untersuchten Fragestellung valide darstellen. Hierfür müssen die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des IWES in vielen Bereichen wissenschaftlich „dicke Bretter“ bohren und völlig neue Ansätze entwickeln.

Somit verschiebt sich am Institut der Fokus zunehmend von der Konzipierung und dem Aufbau von Prüfständen hin zur Entwicklung wissenschaftlich exzellenter Verfahren zur Validierung von Innovationen der Industrie.

Aufbau wissenschaftlicher Exzellenz

Eine grundlegende Voraussetzung dafür ist eine aktiv gestaltete, exzellenzorientierte Kultur der Wissenschaftlichkeit am Institut. Dazu zählen die Qualitätssicherung in der wissenschaftlichen Arbeit, die Verwertung und vertiefende Auswertung von Projektergebnissen, sowie die Kooperationen mit Universitäten und anderen Forschungsinstituten. Diese Aktivitäten obliegen am Institut insbesondere den „Senior Scientists“: fünf Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit internationaler Erfahrung im akademischen Bereich und einer weitreichenden Vernetzung.

Austausch fördern und Synergien erschließen

Neben eigenen Forschungsprojekten unterstützen sie Kolleginnen und Kollegen bei der Präsentation von Ergebnissen auf Konferenzen, sowie beim Veröffentlichen in renommierten wissenschaftlichen Zeitschriften zur nationalen und internationalen Positionierung des Instituts. Darüber hinaus organisieren sie Workshops mit anderer Institutionen, um den Austausch zu fördern und mögliche Ansatzpunkte für zukünftige Zusammenarbeit zu finden. Ein Beispiel dafür war ein im September 2016 in Bremerhaven ausgerichtetes Symposium mit dem Themenschwerpunkt „Technische Zuverlässigkeit“: Interne

und externe Expertinnen und Experten diskutierten dabei umfassend die verschiedenen Aspekte und Implikationen für verschiedene Fachdisziplinen. Darüber hinaus unterstützen die Senior Scientists die Doktoranden des Instituts durch eine systematische Betreuung.

Absicherung der strategischen Ziele

Die Senior Scientists tragen durch ihre Arbeit wesentlich zum Ausbau der wissenschaftlichen Expertise des Fraunhofer IWES bei. Hierbei darf nicht vergessen werden, dass das IWES als Brancheninstitut von der Windphysik über diverse maschinenbauliche Disziplinen bis zur Netzintegration verschiedenste Forschungsbereiche abdeckt und daher die wissenschaftliche Exzellenz und die notwendige fachliche Breite sinnvoll in Einklang gebracht werden müssen.

Um ihre Aufgaben erfüllen zu können, stehen ihnen ein eigenes Stundenkontingent und Sachmittel zur Durchführung von Veranstaltungen, für den Besuch von Konferenzen etc. zur Verfügung. Mit der Einführung von Senior Scientists hat das Fraunhofer IWES ein Instrument geschaffen, das die große Bedeutung wissenschaftlicher Arbeit als Schlüssel zum nachhaltigen Ausbau der Methodenkompetenz unterstreicht. Damit nimmt das Institut innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft eine Vorreiterrolle ein.

Somit steht die Wissenschaftlichkeit auch nicht im Widerspruch zur konsequenten Wirtschaftsorientierung des Institutes, sondern entwickelt systematisch die Grundlagen für neue Verfahren und Konzepte, die die Wettbewerbsfähigkeit des Instituts langfristig auch unabhängig von seiner Infrastruktur erhalten.

SCIENTIFIC WORK AS A SUCCESS FACTOR

■ In order to satisfy the expectations of our clients concerning the use of test infrastructure, the results provided must have a high information value – this is the only way to justify the costs incurred. The demand being placed on IWES is therefore to develop testing methods which reproduce the complex operating conditions of a wind turbine over its service life in a way which is realistic and valid in terms of the issues investigated. To this end, the staff at IWES are required to put a lot of scientific effort into many areas and to develop completely new approaches.

The focus at the institute is thus increasingly shifting from designing and setting up test stands towards the development of scientifically excellent methods to validate industry's innovations.

Gaining scientific excellence

A basic prerequisite for being an innovation pioneer and taking current technological developments to the next level is an active, excellence-oriented academic culture within the institute. This includes safeguarding the quality of scientific work, the use and in-depth analysis of project results as well as cooperation with universities and other research institutes. These activities are promoted in particular at the institute by "senior scientists": Five scientists with international experience and networks.

Promoting exchange and using synergies

Alongside their own research projects, they support colleagues in presenting results at conferences and with publications in renowned scientific journals to boost the institute's national and international reputation. They also hold workshops with researchers from other institutes to promote exchange and identify potential starting points for future cooperation. One such example has been a symposium focusing on "technical reliability" in 2016: Internal and external experts used this opportunity to discuss the different aspects and implications for various disciplines. Furthermore, the senior scientists at the institute provide PhD students with systematic support.

Securing strategic goals

Through their work, the senior scientists make a key contribution to the development of scientific expertise at Fraunhofer IWES. In this context, it is important to mention that IWES, is focused entirely on wind energy, and therefore covers a broad range of research fields from wind physics and various mechanical engineering disciplines through to grid integration. Hence, a reasonable balance between scientific excellence and the necessary breadth of technical know-how has to be found.

To allow them to fulfill this role, the scientists have an allocated number of hours and resources to organize events, attend conferences, etc. By setting up the role of the senior scientists, Fraunhofer IWES highlights the major significance of scientific work as a key to the sustainable development of methodical expertise. Within Fraunhofer-Gesellschaft, it claims a pioneering role due to the implementation of this model.

Accordingly, this commitment to science is not at odds with the institute's clear industry orientation, but rather serves to develop the fundament for new procedures and concepts systematically. In turn, this will ensure that IWES's competitiveness is not just rooted in its infrastructure, but more broadly based.

AUS- UND AUFBAU DER PRÜFINFRASTRUKTUR/FÖRDERER



2009

*Inbetriebnahme Rotorblatt-Prüfstand
commissioning rotor blade test stand
70 m (BHV)*



2011

90 m (BHV)



2012

*Bezug Engineering-Gebäude
moving in new engineering building
(BHV)*



2014

*Inbetriebnahme Testzentrum Tragstrukturen
commissioning of TTH
(H)*



© Fraunhofer IWS

BUILDUP AND EXPANSION OF TESTING INFRASTRUCTURE/ACKNOWLEDGEMENTS



*Inbetriebnahme DyNaLab
commissioning DyNaLab (BHV)*



2016

*Inbetriebnahme "BladeMaker"-Halle
commissioning "BladeMaker" hall
(BHV)*



2017

*Einrichtung Testfeld
commissioning test field
(BHV)*

*Inbetriebnahme Großlager-Prüfstand
und Generator-Umrichter-Prüfstand
commissioning large bearing test rig (HH)
and generator/converter test rig (BHV)*

2018

*Vorbereitung Prüfstand
für Rotorblattvalidierung
preparation of test rig for blade
validation (BHV)*

Durch umfangreiche Investitionen haben das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, das Bundesministerium für Bildung und Forschung, die Länder Bremen, Niedersachsen und Hamburg sowie die Europäische Union durch Mittel aus dem EFRE-Fond dem Fraunhofer IWES den Aufbau einer einzigartigen Forschungsinfrastruktur ermöglicht. Seit Gründung des Instituts im Jahr 2009 haben die Institutionen mit ihrer substanziellen Unterstützung ein klares Bekenntnis für den weiteren Ausbau der Windenergie und die Stärkung des Innovationsstandortes Deutschland abgegeben.

Thanks to considerable investments of the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, the Federal Ministry of Education and Research, as well as the city states of Bremen and Hamburg and the federal state of Lower Saxony, and also the European Union via its European Regional Development Fund (ERDF), Fraunhofer IWES has been enabled to establish a unique testing infrastructure. Since 2009 when IWES was founded, the institutions showed a strong commitment and substantial support regarding the further expansion of wind energy and strengthening Germany's capacity as an innovation hub.





IMPRESSUM/EDITORIAL NOTES

Herausgeber/publisher

Fraunhofer-Institut für Windenergie und
Energiesystemtechnik IWES Nordwest
Am Seedeich 45
27572 Bremerhaven, Germany
www.windenergie.iwes.fraunhofer.de

The Fraunhofer Institute for Wind Energy and
Energy System Technology IWES is a constituent
entity of the Fraunhofer-Gesellschaft and as such
has no separate legal status.

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e.V.
Hansastraße 27 c
80686 München, Germany
www.fraunhofer.de

Redaktion/editorial team

Christian Broer
Christian Dörsch
Katharina Fischer
Aligi Foglia
Adrian Gambier
Julia Gottschall
Torben Jersch
Jenny Kuball
Bernhard Lange
Andreas Reuter
Britta Rollert (Koordination)
Florian Sayer
Alexander Schenk
Severin Spill
Jan Wenske
Arno van Wingerde

Gestaltung/layout

designagl, Bettina Nagl-Wutschke

Druck/print

müllerditzen^{AG}, Druckmanufaktur am Meer



Bildnachweis/photo acknowledgements

Titel: Jens Meier, Bremen

Inhaltsverzeichnis: Helmut Gross, Bremerhaven

Seite 10: Martina Buchholz, Bremerhaven

Seiten 14/15: Jens Meier, Bremen

Seite 16: Adwen

Seite 17: Jens Meier, Bremen

Seite 21: Helmut Gross, Bremerhaven

Seite 22: Martina Buchholz, Bremerhaven

Seiten 24/25/26/27: Jan Meier, Bremen

Seiten 30/31: IDOM

Seite 32: Rolf Nachbar, IMO

Seite 33: IMO

Seite 34: Image Source on Fotolia

Seite 36: Stiftung Offshore-Windenergie, Jan Oelker, 2009

Seite 37: Windforce, Matthias Ibeler, 2011

Seite 39: Martin Kohlmeier, Fraunhofer IWES

Seite 40: Hermann Kolbeck, Hannover

Seite 44: Fraunhofer IWES

Seiten 44/45 (Zeitstrahl von links nach rechts):

Fraunhofer IWES, Dieter Hergeth, Jens Meier,

Mathias Schumacher, Martina Buchholz,

Martina Buchholz, Harry Zier, Jens Meier

Seiten 46/47: Jens Meier, Bremen

