

JAHRESBERICHT
2018 / 2019

VORWORT

Die Windenergiebranche: Dynamik und Veränderung – damals, heute und morgen

Schon seit der ersten Phase der kommerziellen Nutzung der Windenergie in den 80er-Jahren waren die Entwicklungen der entstehenden Branche höchst dynamisch: Zusammen mit den Märkten entstanden neue Player, manche verschwanden sofort wieder bei Auftreten erster Turbulenzen, andere scheiterten an den technologischen Herausforderungen. Trotz dieser ständigen Verwerfungen gab es für die gesamte Branche nur eine Richtung: größer und preiswerter. Heute sind Windenergieanlagen die größten rotierenden Maschinen, die die Menschheit je gebaut hat und der erzeugte Strom ist unschlagbar günstig.

Die Dynamik der Branche ist uns erhalten geblieben – und in den letzten 10 Jahren konnte auch das Fraunhofer IWES erfolgreich die Veränderungen und neuen Ansprüche an die Technologieentwicklungen nutzen, um sich aus dem Stand heraus eine führende Position in der globalen Forschungslandschaft der Windenergie zu erarbeiten.

Drei Aspekte waren hierbei wichtig:

- Wir konnten viele Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter gewinnen, die sich in das Abenteuer „Institutsgründung“ gestürzt und durch viel Kreativität und Fleiß das IWES aufgebaut haben.
- Wir hatten und haben auch weiterhin Förderer auf Landes- und Bundesebene, die die Notwendigkeit eines derartigen Forschungsinstitutes erkannten und uns entsprechend großzügig unterstützen.
- Unsere Kunden vertrauen unserer Kompetenz im Rahmen der gemeinsamen Projekte und sind mit uns weiter gewachsen.

Hierfür möchte ich mich ganz herzlich bedanken.

Nach mehr als 30 Jahren Erfahrung mit und in der Windenergiebranche konnte ich zu jedem Zeitpunkt zwei Dinge feststellen: Es gibt unendlich viel zu tun. Und es wird mit Sicherheit nie langweilig.

Dieser dynamische Ausblick bietet viele Chancen und Möglichkeiten für eine weitere positive und spannende Entwicklung des IWES. Kurzfristig werden wir unsere bestehende Infrastruktur noch deutlich ausbauen und der Industrie innovative Angebote zur Absicherung ihrer Produktentwicklung machen. Aber auch neue interessante Themenfelder, wie die Digitalisierung unserer Validierungsansätze, Projekte für die Sektorkopplung und eine erweiterte europäische Zusammenarbeit mit unseren Forschungspartnern, um die großen technologischen Herausforderungen der Branche gemeinsam zu bewältigen, werden uns in den nächsten Jahren beschäftigen.

Ich wünsche mir – und diesen Wunsch teile ich nicht nur mit unseren hochmotivierten und kompetenten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, sondern mit einer breiten gesellschaftlichen Mehrheit – dass wir die Welt in einem guten Zustand an die nächsten Generationen übergeben. Wir haben nicht mehr viel Zeit.

Los geht's!



A. R.

PROF. ANDREAS REUTER,
Institutsleiter Fraunhofer IWES

INHALT

Vorwort	1
Geschäftsjahr 2018 Zahlen und Fakten	4
 Windenergieforschung 2009–2019	6
Stand und Perspektiven	7
Historie: Grundsteine für eine smarte Zukunft	10
Meilensteine des IWES	12
10 Jahre Windenergie – eine Zeitspanne mit fundamentalen Veränderungen	14
Kompetenz Rotorblatt – Entwicklung und Perspektive	20
 Virtuelle Zukunft	24
Digitalisierung am IWES – nur Follower oder Trendsetter?	25
Das Kuratorium	32
Die Strategie wird an der Branche ausgerichtet	33
TALENTA-Förderprogramm	34
 Windenergie 2035	36
Mechanische und elektrische Trends	37
Impressum und Förderer	44

GESCHÄFTSJAHR 2018

ZAHLEN UND FAKTEN

Die Entwicklung des Haushalts

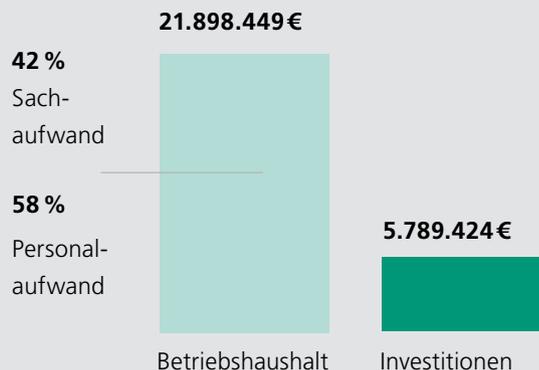
Der Betriebshaushalt des Fraunhofer IWES hat sich seit der Gründung mehr als vervierfacht. In 2018 ergab sich ein Wert in Höhe von knapp 22 Mio. Euro. Hiervon sind 58 % Personalaufwand und 42 % Sachaufwand. Zusätzlich verfügte das Institut im Jahr 2018 über rund 5,8 Mio. Euro Investitionsmittel.

Zusammensetzung der Einnahmen im Betriebshaushalt

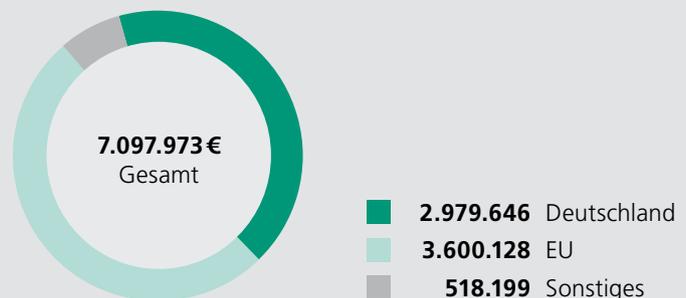
Das Fraunhofer-Finanzierungsmodell setzt sich aus der Auftragsforschung für Industrieunternehmen, den öffentlich geförderten (Verbund-)Forschungsprojekten und der grundfinanzierten Vorlauforschung zusammen. Der Anwendungsnutzen der Institutsaktivitäten für die Windenergiebranche ist dabei ein entscheidender Erfolgsindikator und kommt im relativen Anteil der Wirtschaftserträge bezogen auf den gesamten Betriebshaushalt zum Ausdruck.

Diese Wirtschaftserträge konnten seit der Gründung stetig gesteigert werden. In 2018 wurde bei den Wirtschaftserträgen ein neuer Rekordwert in Höhe von gut 7 Mio. Euro erreicht. Dies entspricht 32 % der gesamten Erträge im Betriebshaushalt. In 2019 ist ein weiteres Wachstum der Einnahmen aus Industrieprojekten geplant.

Die restlichen 68 % des Betriebshaushaltes setzen sich aus den öffentlichen Erträgen aus Projektförderungen, EU-Erträgen und sonstigen Erträgen zusammen. Die öffentlichen Erträge stellen den größten Wert in Höhe von 11,5 Mio. Euro dar, dabei ist das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) der Hauptauftraggeber der zugehörigen Forschungsprojekte. Die EU-Erträge in Höhe von knapp 800.000 Euro tragen nur in einem geringen Umfang zum Betriebshaushalt bei. Dieser Anteil ist aber in absoluten Zahlen ebenfalls in den letzten Jahren kontinuierlich gewachsen.



Herkunft der Wirtschaftserträge 2018 in Euro



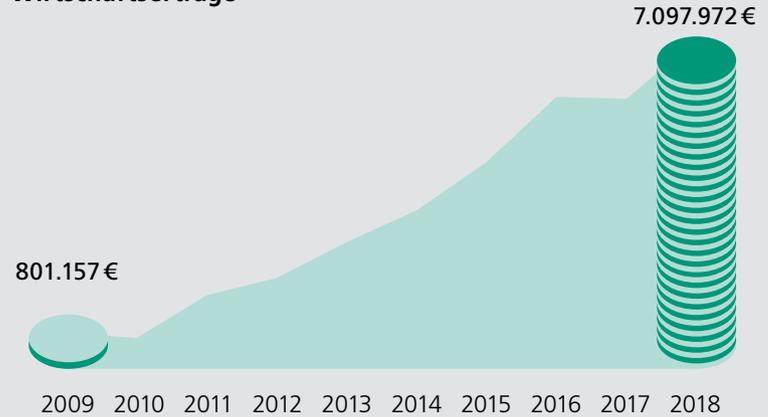
Herkunft der öffentlichen Erträge 2018 in Euro



Verteilung der Wirtschaftserträge im Betriebshaushalt

Im Jahr 2018 wurden die meisten Wirtschaftserträge mit Unternehmen der Windindustrie aus der Europäischen Union erzielt. Mit deutschen Unternehmen wurden Projekte im Wert von 3 Mio. Euro bearbeitet. Die Hersteller von Windenergieanlagen sind dabei der umsatzstärkste Kundenkreis.

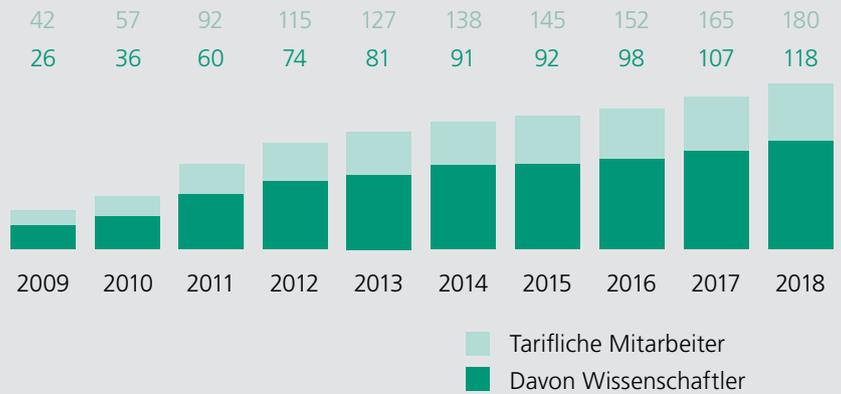
Wirtschaftserträge



Personalzuwachs

Seit der Gründung des IWES und der stetig steigenden Projektanzahl ist auch das Team des IWES kontinuierlich gewachsen. Schon im ersten Jahr nach der Gründung hatte das Institut 42 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, heute arbeiten über 190 Kolleginnen und Kollegen an 5 Standorten in Norddeutschland. Der Anteil der Mitarbeiterinnen im Jahr 2018 konnte beim IWES gesteigert werden. Bei Neueinstellungen wurde ein Drittel der Stellen mit Frauen besetzt.

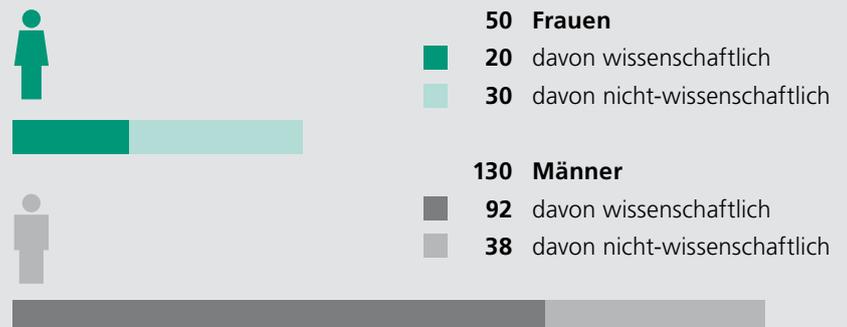
Personal



Neueinstellungen 2018



Anzahl Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter





WINDENERGIE- FORSCHUNG 2009 – 2019

Stand und Perspektiven

Von DR. NORBERT ALLNOCH

Als vor 10 Jahren das Fraunhofer Institut für Windenergiesysteme IWES gegründet wurde, war dies das sichtbare Ergebnis eines längeren Entwicklungsprozesses. Vorausgegangen war eine bereits im Jahr 2007 mit Beteiligung des Internationalen Wirtschaftsforums Regenerative Energien (IWR) durchgeführte Evaluierung des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) erfolgten vierten Energieforschungsprogramms für den Bereich Erneuerbare Energien. Diese Untersuchung ermöglichte zu dieser Zeit einzigartige Einblicke in die thematischen Schwerpunkte der zahlreichen geförderten BMU-Forschungsprojekte. Das sich bietende heterogene Bild führte zu dem vom IWR entwickelten systematischen Ansatz, die durchgeführten Fördervorhaben im Windenergiesektor mit Hilfe eines Analyse-rasters ganzheitlich und entlang der wichtigsten Komponenten und Bauteile einer Windkraftanlage zu strukturieren. So wurde im Lichte der vielen Projektvorhaben erstmals eine inhaltliche Forschungsstruktur erkennbar. Im Vordergrund der BMU-Fördervorhaben standen zu jener Zeit vor allem einzelne aerodynamische und windphysikalische Fragestellungen sowie zahlreiche umweltbiologische Studien im Vorfeld der Nutzung der Offshore-Windenergie. Forschungsfragen etwa aus

dem Maschinenbau sind fast gar nicht behandelt worden. Gleichzeitig wurde im Ergebnis sichtbar, dass sich die deutsche Forschungslandschaft im Bereich Windenergie sehr heterogen, fachlich zersplittert, kleinteilig und ohne schergewichtiges Ankerinstitut präsentierte.

Letztendlich führten die Ergebnisse aus der Evaluation der BMU-Förderprojekte zu der zentralen Frage- und Aufgabenstellung: Wie können die Strukturen der Forschungslandschaft in Deutschland so gestaltet werden, dass sich eine zukunftsfähige Windforschung in Deutschland mit internationaler Strahlkraft entwickeln kann? Allein die Ankündigung der IWR-Folgestudie „Zur Struktur der Windenergieforschung in Deutschland“ hat bei den Forschungsakteuren eine bis dahin nicht gekannte Gesprächsdynamik ausgelöst. Eine entscheidende Grundlage der Studie bildete wiederum das IWR-Analyseraster. Es ist diesem Systemansatz geschuldet, dass die Stärken und Schwächen der Windenergieforschung in Deutschland zunächst inhaltlich und dann regional sichtbar wurden. Ein weiterer wichtiger Schritt bildete die Klassifikation von Forschungseinrichtungen und -strukturen anhand definierter Modelltypen in Abhängigkeit vom Zentralisierungsgrad. Mit den Forschungseinrichtungen des Struktur-Modelltyp I (dezentral, reine Projektförderung) bis zum Modelltyp IV (zentral, ein großes Zentralinstitut) konnte das gesamte Spektrum vorhandener Forschungsstrukturen auch länderübergreifend abgebildet werden. Vor diesem Hintergrund wurden anschließend die Wind-Forschungsstrukturen in acht europäischen Staaten sowie den USA nach Stärken und Schwächen untersucht und klassifiziert. Im Anschluss daran wurden die Handlungsempfehlungen für den Standort Deutschland abgeleitet.

Im Ergebnis war die IWR-Empfehlung eine Bündelung und Weiterentwicklung der Windforschung ohne Sogwirkung zu Lasten der dezentralen Forschungslandschaft. Das Fraunhofer IWES hat mit dem Aufbau des aktuellen Forschungsportfolios in Verbindung mit den Prüf- und Testzentren in den vergangenen Jahren genau jene Lücke erfolgreich gefüllt und damit Deutschland als Forschungsstandort für die Windenergie erheblich gestärkt. Notwendig war auch die internationale Ausrichtung, weil sich bereits 2008 in Deutschland ein Auseinander-



DR. NORBERT ALLNOCH

Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR)



17 MIKROMETER. SO DÜNN SIND DIE IN UNSERER ROTORBLATTFERTIGUNG GENUTZTEN GLASFASERN. *Ein menschliches Haar ist mehr als 5-mal so dick.*

driften von Forschungsmarkt und industriellem Herstellungs- und Absatzmarkt von Windkraftanlagen abzeichnen.

Blickt man heute auf die Windforschung und auf die gesamte Windbranche in Deutschland, dann wird schnell klar, dass die Weiterentwicklung mit Blick auf die zukünftigen Herausforderungen ein dynamischer Prozess bleibt. Veränderungen auf den nationalen und internationalen Märkten erfordern flexible Anpassung auf der Ebene der (Forschungs-)Inhalte und Strukturen. Notwendig sind aber auch neue Analyseinstrumente.

Mit dem vom IWR weiter entwickelten SLAM-Ansatz (Standard Location Asset Model) ist es jetzt beispielsweise möglich, die Stärken und Schwächen von ganzen Branchen in einer Region bzw. in Ländern ganzheitlich sichtbar zu machen. Gemäß dem

SLAM-Konzept sind die vier Haupt-Leitparameter Ausbau, Wirtschaft, Forschung sowie Bildung und deren Wechselwirkungen entscheidend für die jeweilige Branchenbewertung eines Landes oder Standortes. Diese Länderbewertungen in Bezug zum Standort Deutschland können die substantielle Basis für zukunftsorientierte Handlungsoptionen, sowohl für den Bereich Windforschung als auch darüber hinaus, bilden.

Die Zukunft der Windbranche in Deutschland hängt vom nationalen Markt, aber vor allem von einer erfolgreichen Gestaltung der Wechselbeziehungen zwischen Industrie, Forschung und Bildung sowie von den international ausgerichteten Kompetenzen der Akteure ab. Die Politik in Deutschland konzentriert sich derzeit auf die staatliche Regulierung und Steuerung des nationalen Ausbaus.

Ein ganzheitlich-systematischer Branchenansatz ist nicht erkennbar. Eine solche Betrachtung im Kontext der nationalen, europäischen und globalen Ebene erscheint erforderlicher denn je. Es kann allerdings auch nicht allein Aufgabe der Politik sein, diesen Prozess zu steuern. Zwar ist ohne politische Willensbekundung ein struktureller Wandel kaum umsetzbar, jedoch auch nicht ohne richtungsweisende Impulse aus der Windbranche selbst, die derzeit kaum über die bekannten Forderungen nach Ausbauzielen und Klimaschutz hinausreichen.

Das regenerative Zeitalter hat längst begonnen. Immer mehr Länder nutzen die Windenergie und setzen auf regionale Wertschöpfung. Der globale Windenergie-Markt hat dadurch in der Breite bereits einen beachtlichen Reifegrad erreicht, was insgesamt zu einer höheren Marktstabilität führt. Trotzdem zeichnen sich Veränderungen ab. Für Windkraftanlagen weit jenseits der 10 MW-Klasse müssen Prüf- und Teststände sowie neue Testfelder konzipiert werden, die sich auch im globalen Standort-Wettbewerb behaupten können. Der Einsatz und die Entwicklung neuer Simulationsmodelle und -software zur Risikominderung neuer Produkte und Projekte gewinnt an Bedeutung. Das gewaltige globale Potenzial der Offshore-Windenergie vor allem in tiefen Gewässern dürfte in Zukunft zudem den Fokus auf schwimmende Offshore-Windparks noch verstärken. Aber auch auf der Seite der Akteure sind mit zunehmender Projektgröße zukünftig neue Marktplayer zu erwarten. So wie die Automobilindustrie den Wandel vom fossilen Verbrenner hin zu Elektroautos bewältigen muss, wird die milliardenschwere Offshore Öl- und Gasindustrie das Zukunftsfeld Offshore-Windenergie mitgestalten wollen. Welche Rolle der Standort Deutschland zukünftig spielt, haben die Akteure der Windbranche und der Politik auf Grund der bisherigen Vorreiterrolle noch selbst in der Hand. Ein starker Forschungsstandort kann dazu beitragen, die Windindustrie zu binden. Bleibt zu hoffen, dass mit einer weitsichtigen und klugen Strukturpolitik die richtigen Weichen für eine erfolgreiche Zukunft der Windbranche gestellt werden.

VON DR. NORBERT ALLNOCH

— Immer mehr Länder nutzen die Windenergie und setzen auf regionale Wertschöpfung. —

Dr. Norbert Allnoch
IWR

DIE VORDERKANTE EINES ROTORBLATT-PROFILS DREHT SICH IM REGENERATIONS-PRÜFSTAND MIT EINER GESCHWINDIGKEIT VON 550 KM/H – und ist damit fast so schnell wie ein TGV, der mit 574 km/h den Geschwindigkeitsrekord für Schienenfahrzeuge hält.



Historie: Grundsteine für eine smarte Zukunft

Von BRITTA ROLLERT und PROF. ANDREAS REUTER



BRITTA ROLLERT

Leitung Marketing und Kommunikation



PROF. ANDREAS REUTER

*Institutsleiter
Fraunhofer IWES*

Das Internationale Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR) führte 2008 eine Studie im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) durch, um die Struktur der Windenergieforschung in Deutschland zu ermitteln. Ein wesentliches Ergebnis war die Feststellung, dass diverse Akteure sich mit der Windenergie beschäftigten, aber eine – auch im internationalen Wettbewerb notwendige – Bündelung und Koordination fehlte. In Nachbarländern bestanden teilweise schon seit Jahrzehnten Großforschungseinrichtungen, die in bestimmten Bereichen sehr industrienah arbeiteten.

Das Fraunhofer IWES wurde 2009 daher als zentrale Forschungseinrichtung gegründet und erhielt den Auftrag, Aktivitäten in der Schwerpunktregion Nordwest zusammenzuführen und weiterzuentwickeln. Das Institut sollte darüber hinaus den Aufbau und Betrieb von Großprüfständen für industrie-relevante Prüfungen leisten und entsprechende Methodenkompetenz entwickeln.

Als Keimzelle diente das Fraunhofer-Center für Windenergie und Meerestechnik (CWMT) – eine gemeinsame Einrichtung des Fraunhofer IFAM und des Fraunhofer LBF. Dieses Vorgänger-Institut wurde zu einem eigenständigen Fraunhofer-Insti-

tut ausgebaut. Unter seinem Dach wurden dann die Nordwest-Standorte mit einem Maschinenbau-Schwerpunkt und der Standort Kassel mit den Schwerpunkten Netzintegration und Speicherung vereint.

Eine institutionelle Verknüpfung mit den Aktivitäten des Forschungszentrums ForWind – und damit mit den Universitäten Hannover, Oldenburg und Bremen – stärkte die Präsenz in den Bundesländern Bremen und Niedersachsen. In einem Kooperationsvertrag wurden Aktivitäten zur gemeinsamen Weiterentwicklung der Windenergieforschung in der Region vereinbart. Die Zusammenarbeit wird bis heute im Rahmen des Forschungsverbundes Windenergie fortgeführt, zu dem als dritter Partner im Jahr 2012 das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) hinzukam.

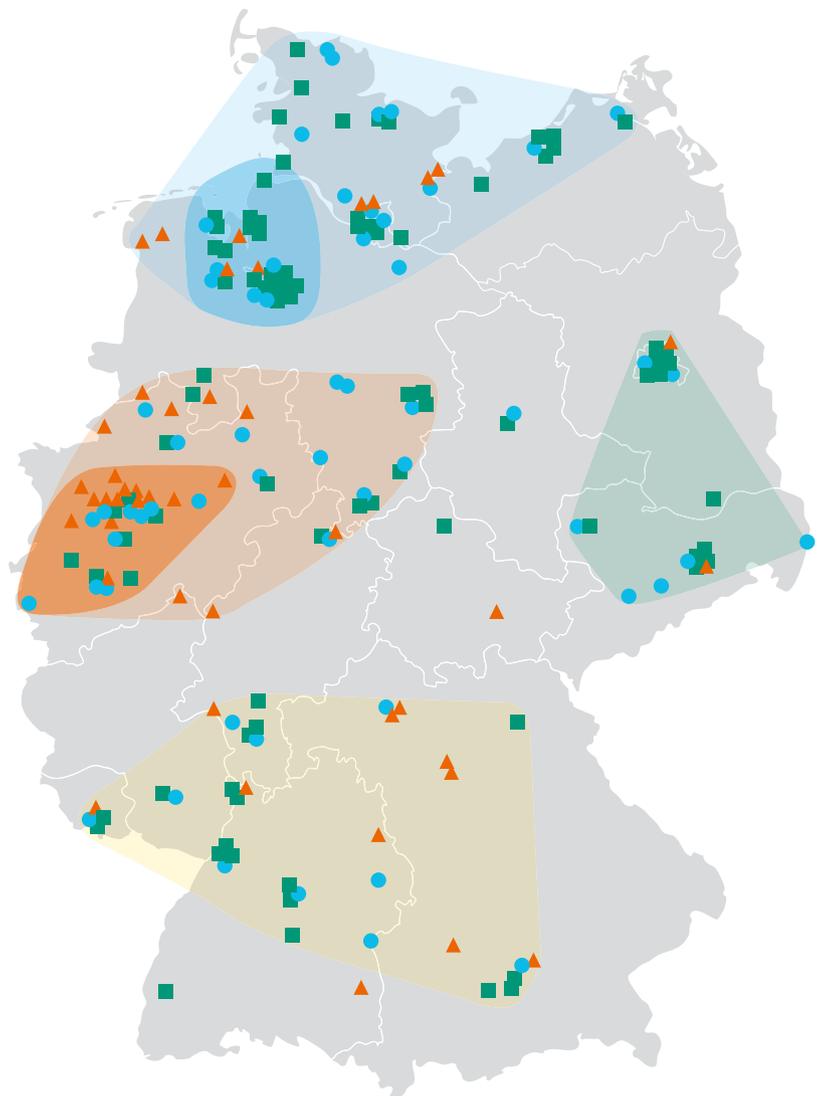
Zur Finanzierung des Institutsaufbaus wurden vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) Finanzmittel auf Projektbasis in Höhe von 25 Millionen Euro bis zum Jahr 2013 zugesagt. Weitere Mittel für den Ausbau der Infrastruktur und kleinerer Aufbauprojekte kamen von den Ländern Bremen und Niedersachsen und von der Fraunhofer-Gesellschaft.

Heute arbeitet das Fraunhofer IWES mit 190 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an fünf Standorten im Nordwesten Deutschlands. Sein Markenzeichen ist eine weltweit einmalige Prüfinfrastruktur, die großmaßstäbliche Tests zur Modellvalidierung neuer Rotorblatt-, Gondel-, Tragstruktur- und Lagerdesigns ermöglicht. Die konsequente Ausrichtung auf industrierelevante Themen und der Aufbau fundierter Kompetenzschwerpunkte haben dazu geführt, dass das Institut heute anerkannter Forschungspartner der Marktführer der Windindustrie ist.

Der Aufbau wissenschaftlicher Exzellenz und Anwendungskompetenz wird durch die enge Zusammenarbeit mit den Universitäten im Nordwesten, aber auch mit international renommierten Einrichtungen systematisch fortgeführt. Synergien aus diesem Netzwerk zeigen sich bei der Bearbeitung von Großforschungsprojekten, bei denen zahlreiche fachliche Disziplinen ihren Beitrag liefern. Das komplementäre Prüfinfrastruktur-Portfolio stellt sicher, dass aktuelle Fragestellungen aus der Industrie fundiert bearbeitet und gemeinsam neue Lösungsansätze gefunden werden.

Themen wie die Digitalisierung, virtuelle Prüfstände und Projekte im Bereich der Sektorkopplung weisen den Weg in eine smarte Zukunft, für die wir uns heute schon rüsten.

— Von BRITTA ROLLERT und PROF. ANDREAS REUTER



**GEBÜNDELTE WINDKOM-
PETENZ.** Ein Grundstein war
eine Studie des IWR.

MEILENSTEINE DES IWES

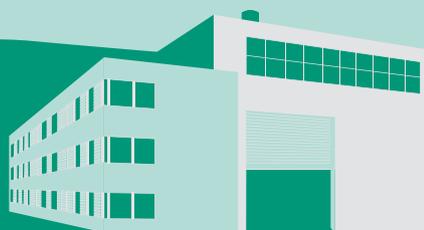



Oldenburg

Bremerhaven



2013
1. LiDAR-Messboje



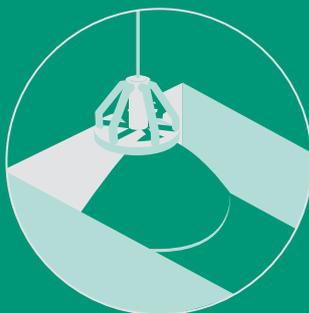
Hamburg



2019
Großlagerprüfstand



2017
Einrichtung
Testfeld



2014
Testzentrum
Tragstrukturen

Hannover

10 Jahre Windenergie – eine Zeitspanne mit fundamentalen Veränderungen

Von MATTHIAS SCHUBERT



MATTHIAS SCHUBERT

Geschäftsführer
wyncon GmbH

Die Gründung des IWES 2009 fiel in den unmittelbaren Nachlauf der weltweiten Finanzkrise. Dies brachte zahlreiche Projektfinanzierungen in Schwierigkeiten und die Windbranche erlebte einen heftigen Absatzrückgang. Zunächst im Auftragseingang und dann, ab 2010, auch in den tatsächlichen Aufstellzahlen.

Nach drei kräftigen Wachstumsjahren in den westlichen Märkten mit jährlichen Zuwachsraten von fast 30 % folgte 2010 ein Einbruch um 25 %, gefolgt von einer Seitwärtsbewegung in den Folgejahren. Die Unternehmen gingen auf Sparkurs. Häufig betraf das zuallererst das Innovationsbudget: keine guten Startbedingungen für das branchenfokussierte Geschäftsmodell des IWES mit wirtschaftsnaher Forschung!

In Asien, insbesondere in China, repräsentieren die Jahre 2008 bis 2010 dagegen den Aufbruch in die Windenergie mit gigantischen Wachstumsraten – bis 2010 der Netzausbau nicht mehr mithalten konnte. 2009 führte China erstmalig die weltweite Statistik der jährlichen Aufstellungszahlen an und war 2010 bereits mit ca. 50 % Marktanteil vertreten. Getrieben durch den Ehrgeiz lokaler Provinzregierungen entstanden in Chinas überhitzter

Wachstumsphase über 70 neue Hersteller, von denen sich 2009 mit Sinovel, Goldwind und Dongfang bereits drei Firmen unter die vorderen Ränge der globalen Top-10 mischten.

Die goldenen Jahre mit zweistelligem Wachstum war für die Windenergiebranche damit Vergangenheit: Insgesamt behielt der Weltmarkt 2009 bis 2013 ein gleichbleibendes Niveau von ca. 40 GW, wodurch die Branche nach hektischen Investitionen in neue Kapazitäten während der Boomjahre vor der Finanzkrise nun mit kräftigen Überkapazitäten zu kämpfen hatte. Durch die zahllosen neuen Hersteller und Lieferanten in Asien wurde die Krise noch zusätzlich befeuert. Das wirkte sich auf die Preise aus: von 2008 bis 2013 reduzierten sich die Kosten pro installierter Leistung um mehr als 30 %.

Die schwierigen Marktbedingungen setzten viele Hersteller unter Druck und führten in den Folgejahren zu Marktberichtigungen oder schweren Krisen, wie z. B. beim Marktführer Vestas in den Jahren 2011 bis 2013. Im Nachlauf dieser Krise suchte sich Vestas einen Joint Venture-Partner für das Offshore-Geschäft und war damit 2014 zusammen mit MHI erfolgreich. Alstom, 2007 durch die Übernahme von Ecotecnia gerade erst in das Windgeschäft eingestiegen, gab 2015 die Windsparte wiederum an GE ab. Nordex fusionierte ebenfalls 2015 mit Acciona; Gamesa dann 2017 mit dem Windgeschäft von Siemens.

Vor allem aber hatte sich die gigantische Herstellervielfalt in China durch eine harte „Darwinistische Auslese“ in der ersten Hälfte der 2010er Jahre drastisch reduziert. Erst in den letzten Jahren kristallisierte sich eine gewisse Stabilisierung unter den Top-5 der Hersteller auf dem seit nun zehn Jahren größten Einzelmarkt heraus.

Auch wenn der 2009 massiv einsetzende Preisverfall zumindest zum Teil nur eine Korrektur der überhitzten Preise aus den vorangegangenen Boomjahren war, mussten die Hersteller und deren Entwicklungsabteilungen kräftig an einer Reduktion der Kosten arbeiten. Die meisten europäischen Hersteller folgten dem Gedanken der modularen Plattformen und rüsteten Anlagen je nach Windbedingungen mit unterschiedlichen Rotordurchmessern aus.

Die Anfang der 2000er Jahre mit ca. 80 m Rotordurchmesser eingeführten 2MW-Plattformen wurden



GENAU HINSCHAUEN auch bei großen Komponenten.

ab 2009 auf 100m Durchmesser für windschwache Standorte aufgerüstet (z. B. Vestas V100). In den folgenden zehn Jahren wurden diese Plattformen evolutionär immer weiterentwickelt und erreichen heute mit bis zu 120m Durchmesser ein sehr gutes Verhältnis von Anlagenkosten bezogen auf die Jahresstromproduktion.

Die 2MW-Plattformen haben in der Branche inzwischen zwanzig Jahre überdauert. Die Entwicklung von 80m zu heute 120m Rotordurchmesser (was mehr als eine Verdopplung der Rotorfläche ausmacht) bedeutete eine enorme Ertragssteigerung auf einer Architektur, die zwar immer wieder für bestimmte Belastungsregimes nachgebessert werden musste (z. B. Antriebsdrehmoment), die aber letztendlich mit dem Entwicklungsfortschritt und Erkenntnisgewinn aus den letzten zwei Jahrzehnten für eine fortwährende Ertragssteigerung komplett „ausgeknautscht“ wurde.

Betrachtet man die Entwicklung der durchschnittlichen Anlagenleistung bei den jährlichen Neuinstallationen im deutschen Markt, der immer ein zuverlässiger Indikator für die neueste Anlagengeneration gewesen ist, dann kann man klar erkennen, dass sich der Markt im Jahr 2010 geradezu asymptotisch auf die 2MW-Klasse einpendelte, um ab 2011 mit Vehemenz in die nächste Leistungsgröße zu starten. Bereits 2008 hatte Senvion (damals noch REpower) mit der 3.4M104 (3,4 MW bei 104m Rotordurchmesser) die neue Anlagenklasse eingeführt.

Nach einem eher langsamen Entwicklungstempo in den Jahren 2009 bis 2014 dominierten die 3MW-Plattformen die zuletzt rasant beschleunigten Zykluszeiten bei Produktneuheiten. Im Wechsel wurden Generatorleistung und dann wieder Rotordurchmesser hochgezogen, wobei letzteres häufig mit einem Sprung in der Typenklasse einherging:



DER ROTORDURCHMESSER DER VON UNS VERMESSENEN WINDENERGIEANLAGEN BETRÄGT SCHON HEUTE BIS ZU 180 METER. Zum Vergleich: Zwei A380-Flugzeuge, die im Formationsflug nebeneinander durch den Rotorkreis der Anlage fliegen, hätten dieselbe Abmessung.

— Im Offshore-Bereich überboten sich Hersteller mit neuen Größenrekorden. —

Matthias Schubert
wyncon GmbH

Der bisher größte Rotordurchmesser wurde für noch höhere Windgeschwindigkeiten weiter ausgelegt, während für Schwachwindstandorte die nächstgrößere Rotorgeneration eingeführt wurde.

Vestas hat so z. B. in mehreren Evolutionschritten seine 2010 mit der V112-3.0 eingeführte 3MW-Plattform zur V136-3.45 (2016) und schließlich zur V150-4.2 (2018) weiterentwickelt.

Das IWES-Gründungsjahr war noch in einem weiteren Punkt eine Zäsur: Der Offshore-Markt hatte 2009 die 2GW-Marke an installierter Gesamtleistung weltweit überschritten und wurde damit ein relevanter „Einzelmarkt“ mit einer bis heute eindrucksvollen Wachstumsentwicklung von ca. 22 GW installierter Gesamtleistung.

Die größere Pluralität von Märkten bei gleichzeitigem Druck, Marktanteil durch Verdrängung des Wettbewerbs zu gewinnen, hatte viele Hersteller zu einer Diversifizierung ihres Produktportfolios

bewegt. Statt globaler One-fits-all-Designs wurden nun verschiedene Marktsegmente bedient: hohe Kapazitätsfaktoren in den USA, maximierter Jahresertrag im standortbegrenzten Westeuropa, niedrige Kosten pro installierte Kilowatt in China, Capex-Optimierung im Hochzinsland Indien, usw.

Bei Offshore zählte dagegen allein Größe: Bis zur Inbetriebnahme des Offshore-Prototypen der GE Haliade 150-6.0 Anfang 2014 hatte Senvion mit der bereits 2007 im Offshore-Demonstrator „Beatrice“ ans Netz gegangenen 5M126 den Größenrekord von Windkraftanlagen im Wasser gehalten. Der Serieneinsatz von Anlagen mit mehr als 126 m Durchmesser begann offshore sogar erst im Mai 2015 mit Inbetriebnahme der neuen Generation von Siemens' Direktantriebsturbinen SWT-6.0-154 im Offshore-Windpark Westernmost Rough.

In den letzten Jahren war die Entwicklung jedoch rasant und insbesondere die beiden größten

Rivalen im Offshore-Bereich, SGRE und MVOW, überboten sich im schnellen Wechsel mit neuen Rekordmeldungen. Aktuell führt Siemens-Gamesa mit der angekündigten SG 10.0-193 vor MHI Vestas (V164-10.0 bzw. V174-9.5).

Im Onshore-Markt haben sich dagegen im letzten Jahrzehnt zwei parallele Stoßrichtungen entwickelt: In den USA haben sich insbesondere im weiträumigen, ländlichen Mittleren Westen Windenergieanlagen mit hohem Kapazitätsfaktor durchgesetzt. Auch heute dominieren noch Anlagen der 2MW-Klasse mit leichten Leistungssteigerungen zu 2,3–2,7 MW Generatorleistung. Dagegen sind Rotordurchmesser massiv gestiegen und bewegen sich heute in Bereichen um 130 m.

Noch extremer ist dieser Trend in bestimmten windschwächeren Regionen von Indien oder China. Wurden Anlagen für Schwachwindstandorte vor zehn Jahren noch mit einer spezifischen Rotorleistung von 250 W/m² spezifiziert, erreichen extrem ausgelegte Anlagen wie z. B. die Envision EN141-2.5 heute gerade mal 160 W/m².

Vor allem in Westeuropa setzte sich ein anderer Trend durch, der mit Einführung der 3MW-Klasse zu einem eigenständigen Entwicklungspfad führte: Hier geht es um die absolute Ertragsoptimierung in einem Windparkobjekt. Das hat nicht nur mit den in diesen Märkten nur begrenzt verfügbaren Standorten zu tun, sondern auch mit dem dort typischen Geschäftsmodell, in dem (durchaus auch kleinere) Projektentwickler die Standorte sichern und damit treibende Kraft sind – und die Marge der Projektentwickler hängt proportional am realisierten Jahresenergieertrag.

Windenergieanlagen jenseits von 3 MW Nennleistung haben in den letzten Jahren einen weiteren Trend ausgelöst: einen deutlichen Anstieg der Nabenhöhe. Bei den höheren Erträgen aus der einzelnen Anlage beginnen sich die spezifisch höheren Kosten für sehr hohe Türme zu rechnen, mit denen sich die Rotoren auch an mäßig guten Standorten in Höhen mit ordentlichen Windbedingungen hieven lassen.

Technisch sind die hohen Türme eine Herausforderung, weil sich die üblicherweise eingesetzten Stahlrohrtürme aufgrund von Transporteinschränkungen auf maximal 4,3 m Fußdurchmesser

beschränken müssen. Solche Geometrien führen zu sehr „weichen“ Türmen mit entsprechenden Herausforderungen im dynamischen Betrieb und Regelung der Anlagen (soft-soft-design). Diese Technologie wird heute bis zu ca. 130 m Nabenhöhe eingesetzt.

Frühe Türme mit hohen Nabenhöhen sowie solche, die heute mit mehr als 160 m noch höhere Nabenhöhen erreichen sollen, setzen auf Technologien, die Transporteinschränkungen bei großen Fußdurchmessern vermeiden. Vorreiter waren sogenannte Hybridtürme, bei denen die Turmbasis aus ringförmigen Betonsegmenten aufgestapelt werden, auf die dann die vertrauten Stahlrohrturmsegmente gesetzt werden. Andere Lösungen arbeiten mit längsgeteilten Rohrsegmenten oder mit abgespannten Rohrtürmen.

Besonders in den letzten fünf Jahren haben sich die Hersteller für das Marktsegment mit knappen Standorten ein investitionsintensives Rennen um immer größere, höhere und stärkere Anlagen geliefert. Vestas z. B. hat bereits 2018 seine neue, um gut 10 % ertragsgesteigerte V150-4.2 als Prototyp errichtet, obwohl die erst 2016 als Prototyp installierte V136-3.45 gerade erst mit relevanten Volumina in die Fertigung gegangen ist. Nur wenige Monate später wurde als nächster Schritt die V164-5.6 auf einer völlig neuen Plattform angekündigt.

Der schnelle Innovationsrhythmus wird von einer Entwicklung befeuert, die in den letzten Jahren in mehreren Märkten parallel eingesetzt hat: die Einführung von Ausschreibungen für die Förderung von Windenergieprojekten. Vergütungstarife für den eingespeisten Strom wurden dadurch in kürzester Frist halbiert, die sogenannten „levelized costs of energy“ wurden damit zur absolut führenden Kenngröße für die Bewertung von Windenergieanlagen.

Der Wettbewerbsdruck wird dabei zusätzlich durch einen enormen Preisverfall bei Photovoltaik-Modulen über die letzten Jahre verstärkt. Bei technologieoffenen Ausschreibungen für erneuerbare Energien droht deswegen auch aus dieser Richtung Ungemach für die Windenergie.

Über Jahrzehnte war der Wettlauf um immer größere Anlagen die sichere Lösung für bessere Wirtschaftlichkeit. Abgesehen davon, dass heute

— Diese Innovationen lassen sich sogar für alte Anlagen nutzen. —

Matthias Schubert
wyncon GmbH

bereits absehbar ist, dass diese Entwicklungsstrategie zumindest Onshore endlich ist, reicht größer – höher – stärker allein nicht mehr aus, um eine führende Wettbewerbsposition einzunehmen. Gleichzeitig müssen die spezifischen Kosten drastisch gesenkt werden.

Im Rückblick auf die letzten zehn Jahre sind einige Entwicklungen zu beobachten, die größere Anlagen bei geringeren spezifischen Kosten überhaupt erst möglich gemacht haben. Besonders effizient ist das bei denjenigen Komponenten, bei denen die physikalischen Dimensionsgesetze ausgehebelt werden – d. h. die Kosten überproportional zur Größe steigen, wodurch mühsam erarbeitete Verbesserungen mit der nächsten Generation verloren zu gehen drohen.

Davon ist z. B. der langsam drehende, mechanische Triebstrang betroffen, insbesondere das Getriebe. Weil die Blattspitzengeschwindigkeit der Rotorblätter aus Gründen des Schallschutzes nicht weiter erhöht werden kann, drehen größere Rotoren langsamer und erzeugen deshalb nicht nur wegen der höheren Leistung zusätzlich Drehmoment, sondern auch, weil diese bei niedriger Drehzahl über den Triebstrang geht. Getriebedrehmoment gehört also zu den mit der Größe überproportional steigenden Kenndaten.

Den Getriebeherstellern ist es über die Jahre jedoch gelungen, die Leistungsdichte dieser Komponente (übertragbares Drehmoment bezogen auf das Gesamtgewicht) deutlich zu erhöhen. Die modernsten Getriebe übertragen mit ca. 180 kNm/t etwa 50 % mehr als noch vor zehn Jahren. Anders ausgedrückt: das Getriebe einer Multimegawattanlage würde mit der Technologie aus 2009 gut 15 t mehr wiegen und entsprechend mehrere 10 T€ mehr kosten. Diesem Szenario wurde mit zahlreichen innovativen Schlüsseltechnologien entgegengesteuert, wie z. B. mit dem Einsatz von Gleitlagern statt Lagern mit Wälzkörpern.

2009 hätten viele Marktbeobachter darauf gewettet, dass Getriebe gänzlich aus Windenergieanlagen verschwinden. Mehrere Hersteller fingen an, ihr Portfolio auf Direktantriebsmaschinen umzustellen, bei denen der Rotor unmittelbar einen langsam laufenden Generator antreibt. Bei solchen Generatoren ist es allerdings sehr viel schwerer, den höheren Kosten aufgrund überproportional steigenden Drehmoments mit innovativen Konzepten entgegenzuwirken. Diese Konfiguration hat sich daher nicht allgemein behauptet.

Klarer erkennbar ist dagegen bei größeren Anlagen ein Trend zur Verwendung von Kohlefaser für die tragende Struktur von Rotorblättern, obwohl die spezifischen Kosten für diese Struktur selbst im Vergleich zu solchen mit Glasfasern sogar steigen. Die Masse der Rotorblätter hat jedoch eine sehr große Wirkung auf alle Belastungen, denen der Rest der Anlage ausgesetzt ist – insbesondere auch, weil der Rotor mit seinen zigmillionen Umdrehungen im Laufe der Betriebszeit hohe Ermüdungen auf alle Materialien bewirkt. Leichtere Blätter sparen also Kosten an allen weiteren Bauteilen der Windenergieanlage.

Ein drittes Feld mit großem Entwicklungsschritt im letzten Jahrzehnt ist die Betriebsführung und Regelung der Anlagen. Natürlich ist es am effizientesten, Belastungen in den Anlagen gar nicht

erst entstehen zu lassen. Durch smarte Algorithmen oder durch innovative Regelarchitekturen mit Feedback-Signalen oder modellbasierten Vorgaben können diese deutlich reduziert werden.

Diese Innovationen lassen sich sogar für alte Anlagen nutzen, die mit Software- und Regler-Upgrades nachgerüstet werden. Viele Hersteller haben in den letzten Jahren begonnen, solche Verbesserungen als Service-Produkte in ihr Portfolio aufzunehmen. Auf diese Weise können Innovationen der jüngsten Vergangenheit genutzt werden, um die Wirtschaftlichkeit von Anlagen zu verbessern, die schon mehr als zehn Jahre in Betrieb sind.

Die Unterstützung des IWES bei Entwicklung und Validierung von innovativen Lösungen seiner Kunden verbindet somit vergangene und gegenwärtige Herausforderungen.

■ Von MATTHIAS SCHUBERT



**1.260.000 LITER
FASST DIE VER-
SUCHSGRUBE FÜR
OFFSHORE-TRAG-
STRUKTUREN.
Das entspricht in
etwa 90 LKW-
Ladungen Sand.**

Kompetenz Rotorblatt – Entwicklung und Perspektive

Von NIELS LUDWIG

Das Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES ist seit seiner Gründung 2009 auf fast 190 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitende gewachsen. Die Firma SINOI GmbH hat diese Entwicklung von Anfang an begleitet. Begonnen hatte unsere Zusammenarbeit bereits vor der eigentlichen Gründung – mit der technischen Beratung und Begleitung der Vorgängereinrichtung des IWES, dem Fraunhofer-Center für Windenergie und Meerestechnik (CWMT).

Das CWMT war aus einer Initiative der rotorblattproduzierenden Industrie hervorgegangen, die sich zu einem Konsortium der Rotorblatt Allianz (früher: Kompetenzgruppe Rotorblatt) zusammengeschlossen hatte. Aus diesem Kreis heraus konnte die Industrie ihre Wünsche und Anregungen gleich von Beginn an einbringen. Vor allem zum Thema Anforderungen an die Rotorblattprüfstände wurden spannende und interessante Diskussionen geführt.

Schnell zeigte sich, dass es der richtige Weg war, ein solches Kompetenzzentrum in Deutschland zu etablieren: Die Prüfstände waren – zum anfänglichen Erstaunen aller Beteiligten – nahezu vollständig ausgelastet.

Das Test-Portfolio wurde in enger Zusammenarbeit mit führenden Industrieunternehmen erarbeitet, die die Entwicklung der Testmethoden und Abläufe seit der Konzeptionsphase begleitet hatten. In den Anfängen konnte die Firma SINOI durch die unkomplizierte Bereitstellung eines 34 m langen Rotorblatts die Entwicklung der Teststände und der Messtechnik durch die Möglichkeit praktischer Versuche unterstützen.

In den folgenden Jahren hat sich die Zusammenarbeit des IWES mit der Industrie über Rotorblatttests und deren Komponenten hinaus weiterentwickelt. So haben die SINOI GmbH und das IWES mehrere gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsprojekte durchgeführt. Hervorzuheben ist hier das Projekt BladeMaker, in dem die Grundlagen einer automatisierten Rotorblattfertigung entwickelt wurden. Das Projekt kam mit einem gebrauchsfähigen Demonstrator erfolgreichen zum Abschluss. Das Nachfolgeprojekt BladeFactory ist gestartet und verspricht weiteren Fortschritt in der industriellen Fertigung von Rotorblättern. An beiden Projekten hat sich die Firma SINOI als assoziierter Partner beteiligt und konnte hilfreichen Input aus der Sicht eines Rotorblattproduzenten einbringen.



NIELS LUDWIG

*Technischer Leiter der
Firma SINOI GmbH,
Nordhausen*



50.000 KILOMETER LEGT EINE BLATTSPITZE
WÄHREND EINES ROTOBLATTTESTS ZURÜCK.
*Diese Strecke übertrifft den Umfang der Erdkugel
um 10.000 Kilometer.*

— Die Zusammenar-
beit des IWES mit der
Industrie hat sich über
Rotoblatttests hinaus
weiterentwickelt. —

Niels Ludwig
SINOI GmbH



FÜR DIE SIMULATIONEN VON WIND UND AERODYNAMIK NUTZEN WIR BIS ZU 5.980 EINZELPROZESSOREN – SOGENANNTEN KERNE – ZUM RECHNEN. *Das entspricht in etwa der Prozessorleistung von 1.495 Laptops.*

Alle Verbundprojekte, bei denen die Firma SINOI GmbH beteiligt ist oder war, zeichneten sich durch eine vertrauensvolle und erfolgreiche Zusammenarbeit aus.

Anfangs bildete Beratung seitens der Firma SINOI die Grundlage der Zusammenarbeit. Der langjährige Erfahrungsschatz aus der Entwicklung und Fertigung von Rotorblättern ermöglichte es, praktische Anleitungen und Hinweise zu geben. Dies hat die Ingenieure des IWES dabei unterstützt, die Details und Herausforderungen bei der Fertigung von großen Faserverbundbauteilen besser zu verstehen und sie für die eigenen Anforderungen umzusetzen. Gleichzeitig herrschte Aufbruchsstimmung, die die Entwicklung und die Realisierung der Teststände und Prüfeinrichtungen vorantrieb.

In den folgenden Jahren ist die Struktur des IWES

gewachsen. Weitere Experten und neue Aufgaben haben zu einer differenzierteren Ausrichtung geführt. War zu Beginn eher Pragmatismus prägend für die Zusammenarbeit, hat sich dies mit den Jahren zu einer optimierten Vorgehensweise gewandelt. Dabei ist der persönliche Kontakt nie vernachlässigt worden. Im Gegenteil: Der direkte Kontakt der handelnden Personen hat sich durch ein wachsendes Vertrauen zueinander kontinuierlich verbessert.

Heute ist aus einem Rotorblatttestzentrum ein wirkliches Kompetenzzentrum für Rotorblätter geworden, das sich nicht mehr ausschließlich mit den Tests von Rotorblättern und deren Komponenten beschäftigt. Vielmehr ist durch die Erweiterung im Bereich der Material- und Prozesstechnik eine Grundlage geschaffen worden, um auch in Zukunft im Bereich der industriellen Fertigung ein attraktives Portfolio für die Rotorblattindustrie zur Verfügung zu stellen. Die erneuerbaren Energien und speziell die Windenergie erleben derzeit einen Prozess hin zur industriellen Fertigung, der mit dem Wandel mittelständischer Unternehmen zu Konzernen einhergeht. Der Bereich der Rotorblattfertigung ist davon besonders betroffen. Aus Sicht der Rotorblattproduzenten kann dieser Wandel nur mit einer industrialisierten Rotorblattfertigung erfolgreich gestaltet werden.

Das IWES besitzt in diesem Bereich ein Alleinstellungsmerkmal und ist dadurch für zukünftige Aufgaben bestens gerüstet. Seitens der Firma SINOI ist es wünschenswert, diesen Bereich weiter auszubauen und so die vorindustrielle Entwicklung hinsichtlich neuer Fertigungsmethoden und Materialien weiter im größeren Maßstab erforschen und testen zu können.

Die Zusammenarbeit hat sich trotz des Wachstums und der Erweiterung der Aufgaben und Bereiche aus unserer Sicht nicht wesentlich gewandelt. Das IWES ist für SINOI immer ein kompetenter Ansprechpartner, auch über die tagesaktuellen Fragestellungen hinaus.

Wir wünschen dem IWES alles Gute zum zehnjährigen Bestehen und freuen uns auf eine weitere gute Zusammenarbeit.

■■■■■ VON NIELS LUDWIG

Der IWES Spirit – Vielfalt ist unsere Stärke

— Wir nehmen uns die Zeit, Probleme zu diskutieren. Den Nutzen für die Industrie denken wir immer mit. —

Dr.-Ing. Steffen Czichon
*Mehrjährige Industrietätigkeit,
am IWES, Abteilungsleiter Rotorblätter*

— Ich kann in meinem warmen Büro arbeiten oder auch mal oben auf dem Turmkopf der größten Anlage der Welt.—

Dipl.-Phys. Alkistis Papetta
Mehrjährige Forschungstätigkeit in Dänemark, Wissenschaftliche Mitarbeiterin Windparkplanung und -betrieb. Studium: University of Cyprus & Oldenburg/ Promotion: Dänemark

— Man fühlt sich einbezogen und hat schnell das Gefühl, Teil eines größeren Ganzen zu sein. —

Dr. Aligi Foglia
Mehrjährige Forschungstätigkeit in Dänemark, Senior Scientist Testzentrum Tragstrukturen. Studium an der Universität Bologna, Promotion: Universität Aalborg

VIRTUELLE ZUKUNFT



Digitalisierung am IWES – nur Follower oder Trendsetter?

Von PROF. JAN WENSKE und PROF. ANDREAS REUTER

Digitalisierung bzw. Digitalisierungsstrategie sind aktuell in aller Munde, werden aber zumeist nur oberflächlich und unspezifisch verwendet. Selten werden die konkreten Maßnahmen, Ideen oder konkrete Ziele benannt und so drohen die Begriffe in den aktuellen Diskussionen in der Industrie, aber auch in der breiten Öffentlichkeit vollends zum bedeutungslosen Modewort zu mutieren. Im Kontext der Digitalisierung, sozusagen in ihrem Fahrwasser, tauchen weitere sogenannte „Buzzwords“ auf: „Industrie 4.0“ und „Smart Home/ Grids“ sind fast schon wieder veraltet, ohne dass sie fertig entwickelt und eingeführt wurden, und die nächste Runde im lustigen „Ich-bin-auch-dabei-Bingo“ rollt mit „Internet of things“, „Digital Twin“, „5G“, „Blockchain“ und „KI“ schon wieder an. Manche dieser Begriffe beschreiben konkrete digitale Technologien, andere, wie z. B. der Digital Twin, bleiben nebulös bzw. tauchen in verschiedensten Interpretationen auf. Auch das IWES steht vor der Herausforderung, einen sinnvollen und nutzbaren Zugang zu diesem Themenbereich zu finden. Die mit den Varianten der Digitalisierung verbundenen Technologien zu ignorieren und damit reale Entwicklungschancen für das Fraunhofer IWES zu verpassen, wäre mehr als fahrlässig, an diesen planlos und ohne konkreten Fahrplan zu arbeiten ebenso. Daher sind wir bemüht, den Oberbegriff konkret mit Projekten und spezifischen Technologieentwicklungen zu füllen und dem Thema damit am

IWES ein Gesicht und – noch viel wichtiger – einen konkreten Sinn zu geben. Dieser Artikel anlässlich unseres 10-jährigen Jubiläums markiert den Anfang einer Positionsbestimmung, weitere detaillierte Darstellungen werden folgen.

Zunächst ein Überblick: Das IWES wird sich in den nächsten Jahren vorrangig um folgende Technologien und Ansätze aktiv kümmern:

- Virtuelle Testmethoden und Prüfstände als Ergänzung, Skalierung und Optimierung unserer bestehenden Labor-/Großteststände,
- spezifische digitale Zwillinge (sog. Digital Twins) für WEA-Komponenten, Systeme, WEA oder Windparks zur Restlebensdauerschätzung, Onlineoptimierung und -prognose bzw. Szenariensimulationen sowie verbesserter Systemintegration,
- Anwendungen von Methoden des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz auf unsere Test-, Mess- und Felddaten für die optimierte Betriebsführung, O&M-Services und Planung (Site Assessment – Boden, Wind, Wellen), unterstützt durch die Entwicklung von gemeinsamen Software- und Datenstandards (IWES-Dataspace),
- probabilistisches Design und Modellierung von WEA, deren Komponenten und Umwelteinflussgrößen mit dem Ziel, die aktuellen Designgrenzen weiter zu verschieben, Risiken gemäß ihrer stochastischen Natur besser zu erfassen und zu minimieren und damit die Herstellungskosten weiter zu senken,
- Nutzung von flexiblen und agilen Formen der Zusammenarbeit im Rahmen von New Work durch den konsequenten Einsatz neuer digitaler Möglichkeiten.

Diese Technologieansätze sind nicht trennscharf definierbar, gehen teilweise ineinander über und manche bedingen sich sogar gegenseitig (z. B. virtuelle Testmethoden und digitale Zwillinge). Anlässlich unseres 10-jährigen Bestehens möchten wir die Gelegenheit nutzen, in diese Themenfelder aus IWES-Sicht einzutauchen und die konkreten Aktivitäten am IWES sowie deren Nutzen für uns und unsere Kunden Schritt für Schritt darzustellen und zu erklären. Wir starten dieses Vorhaben mit einem Schwerpunkt auf den virtuellen Testmethoden und Prüfumgebungen, die derzeit am IWES entwickelt werden.

Virtuelle Prüfumgebungen

Derzeitige Test- und Prüfverfahren sind geprägt von Anforderungen, die direkt aus einem Normungs- und Zertifizierungsprozess abgeleitet sind und letztendlich einen Minimalkonsens zwischen verschiedenen wirtschaftlichen Interessen darstellen. Fachliche Fragestellungen werden diesem Konsens oft untergeordnet. Selbst eine hiervon losgelöste Betrachtungsweise der derzeitigen Ansätze zeigt oft sehr schnell, dass einer tatsächlichen Validierung und statistisch aussagekräftigen experimentellen Beurteilung eines neuen Designs einer WEA oder eines ihrer Bauteile oft noch sehr enge Grenzen gesetzt sind.



PROF. ANDREAS REUTER

*Institutsleiter
Fraunhofer IWES*

Die Gründe hierfür sind vielfältig:

- Die enorme Größe der Originalbauteile und die immensen aufzubringenden Beanspruchungen machen Versuche ungenauer bzw. die Prüfstandstechnik aufwendig, ressourcen-/energieintensiv und damit sehr teuer.
- Die experimentelle Verifikation von Aussagen zur Bauteilmüdung ist grundsätzlich mit erheblichen Ungenauigkeiten behaftet (durch inhärente Streuungen der Eigenschaften der Prüflinge, die Prüfeinrichtung selbst, die nicht exakt gleichen Testbedingungen sowie die lediglich abgeschätzten, zeitvarianten und damit ungenau definierten realen Umweltbedingungen). Die sehr hohe Anzahl von notwendigen Lastzyklen verringert ebenfalls die Genauigkeit der Ergebnisse von z. B. Materialtests.
- Komplexe Fertigungsprozesse mit einem hohen Anteil manueller Tätigkeiten verursachen eine große Bandbreite von Qualitäten, die ebenfalls nicht erfasst werden oder nur schwer erfassbar sind und zu starken Streuungen der jeweiligen Bauteileigenschaften führen.
- Die geringe Anzahl von Prüflingen in Originalgröße, teilweise nur Testlosgrößen von 1, lässt in dieser Form keinerlei statistische Auswertung zu.

Im Ergebnis geben daher Prüfstandsversuche an WEA-Originalbauteilen derzeit nur eine erste Indikation zur Leistungsfähigkeit eines Systems oder des Bauteildesigns und können zur Verbesserung der Modellbildung herangezogen werden. Grund-

sätzliche Aussagen zur Zuverlässigkeit und erwarteten Lebensdauer unter spezifischen Betriebs- und Umweltbedingungen sind kaum möglich.

Zur Verbesserung der Aussagekraft von experimentellen Untersuchungen in diesem herausfordernden Umfeld arbeitet das IWES schon seit Jahren an optimierten Prüfmethoden, die über die bereits standardisierten Verfahren hinausgehen – z. B. dem biaxialen Testen von Rotorblättern, bei dem die Beanspruchungen aus 20 Jahren Betrieb einer Anlage realistischer und zugleich beschleunigt aufgebracht und damit kritische Bereiche sicherer identifiziert werden können.

Weitere Verbesserungen (z. B. bezüglich der Prüfdauer) sind möglich, indem die zu prüfenden Originalbauteile in Segmente, Sektionen oder Subsysteme unterteilt werden, und diese dann – ggf. auch mehrfach, für eine höhere statistische Sicherheit – jeweils mit ihren spezifischen Lasten und Steifigkeitsemulationen an ihren Schnittstellen beaufschlagt werden.

All diese experimentellen Ansätze sind generell mit einem erhöhten Aufwand, meist in Form von hoch spezialisierten Prüfeinrichtungen verbunden. Somit sind sie kostenintensiv und folglich nicht beliebig ausbaubar.

Ein ergänzender und hierzu komplementärer Ansatz verspricht jedoch signifikante Verbesserungen: Die Virtualisierung von Prüfungen und Experimenten durch digitale Modellierung im Vorfeld und deren Verifikation parallel (in situ) zu den Prüfstandsversuchen bieten diese Möglichkeiten, z. B. durch Rückkopplung der experimentellen Ergebnisse mit anschließenden Variantenrechnungen (unter Berücksichtigung von Ungenauigkeiten) zur Sensitivitätsanalyse für ein weiteres Modelltuning oder eine verbesserte Prüfplanung zur Verifikation von Versagensmechanismen.

Grundsätzlich ist die digitale Modellierung eines Systems oder Bauteils natürlich nicht neu, schließlich entsteht im Rahmen des Konstruktionsprozesses jedes Rotorblatt und jeder Triebstrang zunächst als Computermodell. Zusätzliche Erkenntnisse entstehen durch diesen Ansatz erst,

- wenn die vorhandenen Entwicklungsmodelle als Basis verwendet werden, um das Bauteilverhalten in dem eigentlichen geplanten



PROF. JAN WENSKE

*Stellv. Institutleiter und
Direktor Technik*

— Mit Innovationen Grenzen verschieben. —

Prof. Andreas Reuter
Institutsleiter Fraunhofer IWES



FÜR DIE SIMULATION VON WINDLASTEN IM GONDELPRÜFSTAND NUTZEN WIR EINE HYDRAULISCHE KRAFTEINLEITUNG MIT SECHS SERVOZYLINDERN. EIN EINZIGER ZYLINDER ÜBERTRÄGT DABEI 3.000 KILONEWTON KRAFT. *Das reicht aus, um 100 Elefanten anzuheben.*

- Prüfstandsversuch darzustellen,
- wenn die Messergebnisse aus den realen Prüfungen direkt wieder in das Auslegungsmodell einfließen (Onlinetuning) und
 - wenn in Kombination mit zusätzlichen Berechnungs- und Analysemethoden das Ermüdungs- oder sonstige Bauteilverhalten detailliert erfasst wird.

Liegen dann noch zusätzliche Prozessinformationen über die Entstehung des Prüflings vor, kann sehr viel genauer eine Aussage über die statistische Einordnung der jeweiligen wenigen oder auch singulären Versuche gemacht werden. Hier wird schnell deutlich, was dieser Ansatz erfordert: die Verknüpfung einer Anzahl komplexer Modelle (statische und dynamische Eigenschaften, Materialeigenschaften und Imperfektionen, Modelle zur Beschreibung des Fehlerfortschritts, Produktionsprozessinformationen) und das effiziente und intelligente Handling großer Datenmengen. So entsteht eine parallele, virtuelle Prüfumgebung, die z. B. am Prüfstand, aber auch in der Bauteilfertigung

und im späteren Betrieb der WEA mit Informationen gefüttert wird. Diese „virtuellen Prüfstände“ sind somit sehr viel breiter aufgestellt als ein einzelner experimenteller Prüfstandsversuch. Der eigentliche Aufwand steckt nun allerdings zu großen Teilen in generischer Entwicklungsarbeit und im Datenmanagement und weniger in Betonblöcken und hydraulischen oder elektrischen Aktuatoren. Somit wird der dringend notwendige Erkenntnisgewinn bezahlbarer gemacht und gleichzeitig vom immer noch stattfindenden Anlagenwachstum entkoppelt. Allerdings ist der notwendige Forschungs- und Entwicklungsaufwand zunächst erheblich.

Was bedeutet dies für das IWES?

IWES-intern werden kontinuierlich komplexe Toolketten aufgebaut. Diese basieren auf FE- und MKS-Programmsystemen als numerischer Grundlage, die durch eine Vielzahl von eigenen numerischen, analytischen und physikalisch/empirischen Softwaremodulen erweitert werden. Die Steuerung dieser Toolketten erfolgt institutsweit überwiegend durch Python-Skripte.

Verdeutlicht werden kann die dahinterstehende Methodik bspw. anhand der Entwicklung und Validierung von Gründungs- und Tragstrukturen. Am IWES werden die vorhandenen geotechnischen und ingenieurmäßigen Modelle in ein gemeinsames Softwaresystem integriert, um die gesamte Tragstruktur (Boden, Fundament, ggf. Übergangsbauerteile, Turm) statisch, zyklisch und dynamisch abzubilden. Die Validierung erfolgt über großmaßstäbliche Versuche auf dem Spannungsfeld und in der geotechnischen Versuchsröhre am Testzentrum für Tragstrukturen in Hannover. Diese Vorgehensweise, gepaart mit den experimentellen Möglichkeiten, bildet damit ein Alleinstellungsmerkmal. Branchenüblich ist bisher nur die Validierung von Ingenieurmodellen über numerische Berechnungen und teilweise kleinmaßstäbliche Versuche mit den entsprechenden Herausforderungen wie Unwägbarkeiten und Unsicherheiten der Randbedingungen sowie der Zwang zu hoher und damit komplexer bzw. weniger verlässlicher Skalierung.

Zudem können durch diese Methodik leicht Schnittstellenmodelle für andere Module der stetig wachsenden virtuellen Prüfumgebung des IWES definiert und bereitgestellt werden. Im einfachen Fall über komplexe Steifigkeitsmatrizen oder als reduzierte, modale Modelle im Rahmen einer integrierten Gesamtsimulation.

Die möglichen Anwendungsfelder sind dabei sehr vielfältig: innerhalb des Instituts zur verbesserten Planung von experimentellen Kampagnen und Absicherung von experimentellen Ergebnissen bis hin zum „Anlernen“ von digitalen Zwillingen während der Prüfstandsversuche und Minimierung von Skalierungseinflüssen dort, wo selbst das IWES mit seinen Großprüfständen nur an skalierten Prüflingen oder nicht mit der vollen Belastung testen kann.

Extern ergeben sich ebenfalls neue Vermarktungsoptionen. Die virtuellen Prüfstands-umgebungen erlauben durch eine effizientere Versuchsplanung eine wirtschaftlichere Validierung von Komponenten und Systemen. Teilweise können bereits validierte Modelle zur Bearbeitung von Aufgabenstellungen aus der Industrie direkt, d. h. ohne Experiment, eingesetzt werden. Das Kundenziel ist häufig die Formulierung eines analytischen und praxistauglichen vereinfachten Ingenieurmodells zur

Bemessung und für die Entwurfsphase zur eigenen weiteren Nutzung. Eine Weitergabe bzw. Vermarktung der virtuellen Prüfumgebungen des IWES selbst als Produkt ist vorerst nicht geplant.

Diese Methodik der virtuellen Prüfumgebungen in Kombination mit umfangreichen realen Prüf- und Experimentiermöglichkeiten und den stetig fortschreitenden Erkenntnisgewinnen bezüglich der relevanten Schadensmechanismen ist aus IWES-Sicht sehr zukunftsfähig und bietet großes Potenzial für unsere Kunden.

Diverse große Projekte des IWES beschäftigen sich bereits aktuell mit diesen Ansätzen, wie z. B. das binationale Projekt Reliablade, in dem zusammen mit der Dänischen Technischen Universität (DTU) und vielen Industriepartnern an den erforderlichen digitalen Bausteinen für einen solchen virtuellen Rotorblattprüfstand gearbeitet wird.

What comes next – digitaler Zwilling und Zuverlässigkeitsregelung

Wenn nun bereits eine große Anzahl von verifizierten, spezifischen Modellen zu einem Bauteil oder einem System zur Verfügung steht, stellt sich schnell die Frage, wie zusätzlicher Mehrwert aus dem vorhandenen Wissen generiert werden kann. Hier kommt das Konzept des „digitalen Zwilling“ zum Tragen: Jedes Bauteil wird während seiner Fertigung, seines Einsatzes und seiner Entsorgung digital begleitet bzw. abgebildet. Kontinuierlich werden Informationen über Fertigungsprozessparameter, Einsatzbedingungen und Serviceaktivitäten gesammelt, zugeordnet und ausgewertet. Auf diese Weise können z. B. durch spezifische Modelle zur Ermüdung oder zu sonstigen Versagensmechanismen Vorhersagen über das zukünftige Verhalten des Bauteils, seine aktuelle Ausfallwahrscheinlichkeit, seine Restlebensdauer oder seinen Servicebedarf gemacht werden. Dies hilft bei der wirtschaftlichen Optimierung des Betriebs einer WEA. Im Vergleich zu den Konzepten der virtuellen Testmethoden/ Prüfstände steigt hier die anfallende Datenmenge noch einmal enorm. Schließlich müssen sehr viele Anlagen mit sehr vielen Komponenten über lange Zeiträume erfasst und digital abgebildet werden. Die existierenden klassischen Ansätze folgen bislang lediglich rudimentär diesem Gedanken: So stellen



20 MEGANEWTON
KRAFT BRINGEN DIE
HYDRAULIKZYLINDER
UNSERES BLATTLA-
GERPRÜFSTANDS AUF.

*Das genügt, um drei
vollbesetzte ICE-Züge
anzuheben.*

— Virtuelle Prüfumgebungen bieten großes Potenzial. —

Prof. Jan Wenske

Stellv. Institutsleiter und Direktor Technik

Condition-Monitoring-Systeme ja bereits kontinuierlich Informationen zur Verfügung, die dann z. B. zur Optimierung der Serviceabläufe genutzt werden. Allerdings sind die verwendeten Methoden noch vergleichsweise einfach, die Daten lückenhaft oder zu grob und ein Großteil der Analysearbeit wird erfahrungsbasiert von Mitarbeitenden in der Fernüberwachung durchgeführt. Hier liegt eine Herausforderung für die Nutzung des digitalen Zwillings: Riesige Datenmengen müssen effizient gesammelt, gespeichert und automatisiert analysiert werden. Es ist zu erwarten, dass Methoden der künstlichen Intelligenz und fortschrittlichen Mustererkennung (Machine und Deep Learning) einen wesentlichen Beitrag zur Lösung dieser Herausforderungen liefern werden.

Auch das IWES hat sich mit den Möglichkeiten des digitalen Zwillings auseinandergesetzt und neue Konzepte für deren wirtschaftliche Nutzung entwickelt. Hierbei adaptiert sich die einzelne WEA oder ein Windpark auf Basis der vorhandenen Windbedingungen, Betriebsdaten sowie Versagens-

und Ermüdungsmodelle gezielt durch selbsttätige Adaption der individuellen Betriebsführung und Regelung, und der wirtschaftliche Ertrag wird unter Ausnutzung des tatsächlichen „Versagensprofils“, des sogenannten individuellen Fatigue-Budgets, optimiert. Ziel für das Konzept der sogenannten „Zuverlässigkeitsregelung“ ist eine wirklich smarte Windenergieanlage bzw. ein Windpark. Wobei unter nahezu beliebigen, variablen Umweltbedingungen alle Komponenten gemäß ihrer individuellen Beschaffenheit standortspezifisch optimal ausgenutzt werden, um über eine zu definierende Laufzeit einen maximalen Ertrag zu generieren oder aber um bestimmte temporäre Anforderungen wie die optimale Abdeckung von Lastbedarfsspitzen im Stromnetz oder in der Systemdienstleistung zur Netzstabilisierung zu bedienen.

New Work

Die Digitalisierung bedeutet für das IWES nicht nur zusätzliches wissenschaftliches Potenzial zur Optimierung technischer Fragestellungen, sondern ist ebenso ein Werkzeug, um die zukünftigen Herausforderungen einer immer komplexer werdenden Arbeitswelt zu meistern. Das IWES hat sich vorgenommen, die Chancen der Digitalisierung in den Dienst der Mitarbeitenden zu stellen, um die Teamfähigkeit zu stärken sowie Kreativität und Motivation durch Flexibilität der Arbeitsplätze zu fördern.

Das IWES ist mit derzeit fünf Standorten bereits heute, bezogen auf seine Größe, sehr dezentral aufgestellt. Vorhandene und zukünftige Ansprüche der Mitarbeitenden bezüglich einer weiteren Flexibilisierung der Arbeitswelt, besserer Möglichkeiten für kooperatives Arbeiten unabhängig vom jeweiligen Standort, ressourcenschonenden Umgangs zur Zielerreichung und einer besseren Vereinbarkeit von Beruf und Privatleben stellen das Institut vor die Herausforderung, die Arbeitsprozesse hierfür weiter kontinuierlich zu optimieren. Dafür sollen die Möglichkeiten der Digitalisierung genutzt werden. Auch unsere Kunden im Umfeld einer beschleunigten Globalisierung der Windenergiebranche erwarten Flexibilität und Effizienz bei der Lösung zukünftiger wissenschaftlicher Fragestellungen.

Was heißt das nun konkret? Wie können z. B. Mitarbeitende, Kunden und Prüfeinrichtungen,

Daten und Softwaretools an verschiedenen Standorten mit geringstmöglichem Aufwand an Zeit und Geld sowie minimierten Umweltbelastungen zusammengebracht werden?

Den ersten Schritt muss am IWES zunächst jeder einzelne Mitarbeitende machen und sich den Herausforderungen und Möglichkeiten neuer IT-Lösungen öffnen. Nach und nach können dann die notwendigen und teilweise schon in anderen Unternehmen erprobten Werkzeuge eingeführt werden: Skype-Konferenzen statt Dienstreisen, cloudbasierte Ablage von Forschungsergebnissen, kombiniertes Edge- und Cloud-Computing, Remote-Testing und Measuring an allen Standorten, agile, virtuelle Teambildung über Organisationseinheits-Grenzen hinweg – ein Universum neuer Möglichkeiten eröffnet sich hier.

Natürlich wird es weiter Bedarf an realen Arbeitstreffen geben – ständig allein im Homeoffice zu sitzen, ist keine anzustrebende Lösung, sondern lediglich eine individuelle, temporäre Option. Das IWES experimentiert mit Alternativen, hierfür wird in Bremen derzeit ein erster institutsinterner Co-Working-Space eröffnet, an dem für alle Arbeitssituationen passende Arbeitsplätze angeboten werden – sei es für ein Teammeeting an einem zentralen Standort zwischen Bremerhaven, Oldenburg, Hannover und Hamburg, gemeinsames Arbeiten in der Gruppe oder auch nur für eine ungestörte Telefon- oder Videokonferenz.

So ergibt sich stückweise aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Ansätzen der Nutzung digitaler Möglichkeiten ein erstes Bild des zukünftigen IWES. Es wird vermutlich keine disruptiven Veränderungen am Institut geben. Die Potenziale zur Optimierung bestehender Geschäftsmodelle oder Arbeitsweisen sollen schrittweise genutzt werden, um den Anforderungen und Wünschen unserer Stakeholder gerecht zu werden. Unsere Industriekunden sollen zuverlässigere Aussagen zu ihren anspruchsvollen Entwicklungsprojekten bekommen, die Nutzung der Windenergie soll noch wettbewerbsfähiger werden und für unsere Mitarbeitenden wollen wir ein attraktiver und zukunftsfähiger Arbeitgeber bleiben.

 VON PROF. JAN WENSKE UND
PROF. ANDREAS REUTER

Der IWES Spirit – Vielfalt ist unsere Stärke

— Ein sehr gutes Gefühl:
Zu sehen, wie meine Ideen
Realität werden. —

Dipl.-Ing. Muhammad Omer Siddiqui
*Nach Studium in Aachen Wissenschaftlicher
Mitarbeiter Prüfsysteme am IWES*

— Die Größe und
das Aufgabenspektrum des IWES
deckt die gesamte
Bandbreite der
Windenergie ab. —

Dipl.-Ing. Dirk Sandhop
*Mehrjährige Forschungstätigkeit in der Luft- und Raum-
fahrt, am IWES Abteilungsleiter Testbetrieb*

— Alle ziehen mit:
Wissenschaftler, Studenten
und technische Kollegen
um beste Ergebnisse, z. B.
in der Prüfkörperfertigung,
zu erzielen. —

Holger Bannies
*Mehrjährige Industrietätigkeit, am IWES Technischer
Mitarbeiter Testbetrieb*

DAS KURATORIUM



KURATORIUMSMITGLIEDER

Das Kuratorium berät das Fraunhofer IWES bei der strategischen Ausrichtung und unterstützt das Institut bei der langfristigen Positionierung am Windenergiemarkt. Ein Kuratorium entspricht einem Aufsichtsrat in Industrieunternehmen und setzt sich aus namhaften Persönlichkeiten aus Industrie und Wissenschaft zusammen. Die Mitglieder des Kuratoriums sind Vertreter unserer Hauptfördermittelgeber, Kooperationspartner aus dem Forschungsbereich sowie Industrievertreter. Das Kuratorium kommt jährlich zusammen.

Kuratoriums-Mitglieder

Dr. Heide Ahrens

— Senat für Wissenschaft, Gesundheit und Verbraucherschutz der Freien Hansestadt Bremen

Dr. Stephan Barth

— ForWind

Dr. Maite Basurto

— Siemens Gamesa Renewable Energy, SGRE

Prof. Dr. Werner Beba

— CC4E/HAW Hamburg

Rüdiger Eichel

— Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur

Dr. Ursula Eul

— Fraunhofer LBF

John Feng

— Titan Technologies Co., Ltd.

Timo Haase

— BMWi

Andrew Jamieson

— ORE Catapult

Bento Koike

— Korecarbon

Irina Lucke

— EWE Offshore Service & Solutions

Frank Virenfeldt Nielsen

— JSB Plast A/S

Matthias Schubert

— wyncon GmbH, Vorsitz

Die Strategie wird an der Branche ausgerichtet

Ein Interview mit JOHN FENG

John Feng über sein Engagement als Kuratoriumsmitglied.



JOHN FENG

Vorsitzender der Titan Technologies Co., Ltd.

Redaktion: Herr John Feng, können Sie uns etwas zu Ihrem Werdegang erzählen?

— Das Unternehmen Titan Technologies Co, Ltd in Hangzhou ist im Bereich der erneuerbaren Energien tätig. Ich bin Vorsitzender und habe meinen Master of Business Administration (MBA) sowohl an der Toronto Universität als auch an der Tsinghua Universität absolviert. Mit meiner umfangreichen internationalen Erfahrung arbeite ich mit dem Fraunhofer IWES bereits seit sieben Jahren zusammen. —

Redaktion: Wie sehen Sie Ihre Rolle als Mitglied des Kuratoriums?

— Im Kuratorium bin ich in erster Linie als internationaler Berater tätig. Mit meiner Erfahrung und meinem Know-how – insbesondere am großen chinesischen Windenergiemarkt – biete ich meine Kompetenz an, um bei der strategischen Ausrichtung des Fraunhofer IWES aktiv zu unterstützen. Gleichzeitig profitiere ich von der tiefen Expertise des Instituts. —

Redaktion: Welchen Herausforderungen in der Windenergiebranche wird sich das IWES Ihrer Meinung nach stellen müssen?

— Ich rechne mit herausfordernden Zeiten für das IWES: Einerseits konzentriert sich die globale Windturbinenproduktion und andererseits werden neue Technologien im Zusammenhang mit der bevorstehenden Digitalisierung relevant. Ich sehe bereits viele Gelegenheiten für fruchtbare Diskussionen während der bevorstehenden Kuratoriumssitzungen und bringe gern meine breite Erfahrung, insbesondere durch meine Funktion in meinem Unternehmen in der Windenergie- und IT-Branche, ein. —

Redaktion: Herr Feng, vielen Dank für das Gespräch.

Ein Interview mit JOHN FENG

John Feng ist Vorsitzender der Titan Technologies Co., Ltd. Er hat einen Master in Business Administration von der University of Toronto, Kanada, und von der School of Economics and Management der Tsinghua University. In den USA war John Feng zunächst als Manager der strategischen Planungsabteilung der Niederlassung der WHITING-Unternehmensgruppe tätig. Danach arbeitete er für die PFAFF-Gruppe in Deutschland und war als Chief Representative und General Manager aktiv. 2009 gründete John Feng sein Unternehmen Titan Technologies Co., Ltd. im Bereich der erneuerbaren Energien und hat in diesem Jahr auch 10-jähriges Jubiläum.

TALENTA- FÖRDERPROGRAMM

Mehr Frauen für die angewandte Forschung zu gewinnen ist ein wichtiges Ziel der Fraunhofer Gesellschaft. Mit einem umfassenden Förderkonzept für Wissenschaftlerinnen arbeitet das Fraunhofer IWES erfolgreich daran, dieses Ziel zu erreichen. TALENTA ist ein Förderprogramm, um Wissenschaftlerinnen in den unterschiedlichen Karrierephasen in ihrer Entwicklung zu unterstützen. Die TALENTA-Programmlinie *start* richtet sich an Absolventinnen, die gerade am Beginn ihrer wissenschaftlichen Laufbahn stehen. Durch eine Förderung im Rahmen von *speed up* sollen Wissenschaftlerinnen in der Endphase ihrer Promotion und beim Übergang zu einer Tätigkeit als Post-Doc unterstützt werden. Das Programm TALENTA *excellence*: Diese Programmlinie richtet sich an Wissenschaftlerinnen, die Verantwortung als Führungsperson tragen oder zukünftig übernehmen sollen.



Karoline Pelka

— TALENTA *start* hat mich nach meinem Berufseinstieg als Wissenschaftliche Mitarbeiterin am IWES für zwei Jahre begleitet. Das Förder- und Entwicklungsprogramm verfolgt das Ziel, Hochschulabsolventinnen beim Einstieg in die Angewandte Forschung und in den Beruf bei Fraunhofer zu unterstützen. Insbesondere die freigestellte Arbeitszeit hat es mir ermöglicht, mich thematisch – mit einem Studienabschluss der Mathematik – in Themenbereichen der Windenergie zu orientieren, Fachkenntnisse zu vertiefen und darauf aufbauend und begleitend durch Qualifizierungen in die Forschungspraxis einzusteigen. Ergänzend habe ich bei der Auftaktveranstaltung besonders im Austausch mit TALENTA-Teilnehmerinnen Impulse und Ansätze für meine weitere berufliche Entwicklung mitgenommen. —



Mareike Leimeister

— Mit meiner Einstellung am IWES als Wissenschaftliche Mitarbeiterin bin ich auch in die TALENTA-Förderung aufgenommen worden, da ich parallel eine Ingenieurspromotion an einer englischen Universität ausübe. Die zusätzliche Arbeitszeit, die mir über TALENTA *start* ermöglicht wurde, war für mich sehr wertvoll: Ich konnte sie für fachliche Weiterbildungen, Konferenzteilnahmen und auch über die im Rahmen des Promotionsprogramms angebotenen obligatorischen Kurse sowie meine Forschungsarbeiten nutzen. Somit ermöglichte mir die TALENTA-Förderung,

meine universitäre Promotion mit der Arbeit an angewandten Forschungsprojekten am IWES zu verknüpfen. —



Mareike Collmann

— Die finanzielle Förderung in der TALENTA-Programmlinie *speed up* verschafft mir zeitliche Freiräume in der regulären Projektbearbeitung. Diese individuelle Karrierezeit nutze ich, um meine Forschungsarbeiten und insbesondere meine Promotion voranzutreiben. Für diese Möglichkeit bin ich besonders dankbar. Innerhalb der Fraunhofer Gesellschaft ist TALENTA außerdem ein großes Netzwerk von Wissenschaftlerinnen aller Disziplinen. Im Austausch zu erfahren, dass viele Frauen ähnliche alltägliche Herausforderungen umtreiben, hatte für mich etwas erleichterndes und motiviert mich zusätzlich. —



Julia Gottschall

— Ich habe von 2016–2018 am Förderprogramm TALENTA *excellence* teilgenommen. Die zusätzliche Karrierezeit, die mir das Programm ermöglicht hat, habe ich dazu genutzt, mein inhaltliches Profil weiter zu schärfen und meine Expertise als Senior Scientist im Bereich Windparkplanung und -betrieb auszubauen. Besonders wertvoll war für mich zudem der Austausch mit anderen Fraunhofer-Wissenschaftlerinnen, die zwar an anderen Instituten und in anderen Themenfeldern arbeiten, aber ganz ähnliche Ziele verfolgen. —



Katharina Fischer

— Im Zeitraum 2015–2017 habe ich zwei Jahre lang an TALENTA teilgenommen. Aufgrund der seinerzeit erst an wenigen Fraunhofer-Instituten etablierten Fachkarriere gehörte ich als Senior Scientist in der ansonsten auf Frauen in (Personal-) Führungspositionen ausgerichteten Programmlinie *excellence* zu den wenigen Teilnehmerinnen mit einem ausgeprägt wissenschaftlichen Schwerpunkt. Die Förderung in Form einer rund 20 % umfassenden Zufinanzierung zur Stelle – zur Schaffung zeitlicher Freiräume für die wissenschaftlich-fachliche Weiterentwicklung – sowie eines umfangreichen Qualifizierungsbudgets habe ich vor allem für fachliche Arbeiten, Austausch und Team-Entwicklung auf dem Themengebiet der Zuverlässigkeit genutzt und sie als immens wertvoll empfunden. —

WIND- ENERGIE 2035

Mechanische und elektrische Trends

Von EIZE DE VRIES

Die Quasi-Standardtechnologie für Dreiblatt-Luvläufer im Onshore- und Offshore-Windsektor entwickelt sich weiterhin mit atemberaubender Geschwindigkeit und nimmt vielleicht sogar gerade noch mehr Fahrt auf. Dieser Beitrag zum 10. Jubiläum des Fraunhofer IWES betrachtet mechanische und elektrische Trends sowie mögliche zukünftige Entwicklungen von jetzt bis 2030/35.

Vor gerade einmal 4–5 Jahren herrschte noch weitgehend Einigkeit darüber, dass Windkraftanlagen mit einer Leistung von mehr als 3 MW und Rotoren mit etwa 120 Metern Durchmesser die Onshore-Industrie bis in die 2020er Jahre dominieren würden. Doch Systeme mit 4–5 MW und höherer Leistung kamen schneller als erwartet. Im Offshore-Segment erwarteten die Teilnehmer im EU-geförderten Programm „UpWind“ im Gegensatz dazu schon vor einem Jahrzehnt, dass 20 MW starke Offshore-Anlagen bis 2020 eine maßgebliche Rolle spielen würden – eine Prognose, die sich als viel zu optimistisch herausstellte.

Auktionssysteme

Die zunehmend kürzeren Lebenszyklen von Onshore-Windkraftanlagen sind im Wesentlichen das Ergebnis der weltweiten Einführung von Auktionssystemen und dem dadurch auf die Stromgestehungskosten (€/MWh) entstehenden Abwärtsdruck. Der aktuelle Rekord in der Anlagenhöhe liegt bei 5,6 MW mit einem Rotordurchmesser von 162 Metern und einer maximalen Nabenhöhe von 166 Metern bei 247 Metern Höhe der Blattspitze. Die neue Generation von Hochleistungsgetrieben, die sich in der Entwicklung für Onshore-Windkraftanlagen

von bis zu 7 MW und Rotordurchmessern von bis zu 180 Metern befindet, deutet auf zukünftig weitere Skalierungsstufen hin. Parallel dazu erzeugen die entsprechenden immensen Bauteilabmessungen große Herausforderungen für alte und neue Wertschöpfungsketten. Dadurch entsteht ein enormer Kostendruck auf Getriebezulieferer, die Kosten pro Eingangsdrehmomenteinheit (€/Nm) weiter zu senken. Weitere Zulieferer müssen neue, längere Blätter und höhere, kostengünstige Turmkonzepte zu entwickeln und gleichzeitig Transportlogistik und Installationsmethoden zu optimieren. Eine zentrale Frage dabei ist, ob die kontinuierliche Skalierung sich weiter fortsetzen wird oder ob diese Entwicklung aufgrund technischer, wirtschaftlicher und/oder genehmigungsrechtlicher Faktoren an massive Grenzen stößt. Darüber hinaus stellt sich auch die Frage, ob der Rekord für den Straßentransport einteiliger Rotorblätter auf Längen von möglicherweise 85–90 Meter oder mehr noch ausgeweitet werden kann und welche Kosten dadurch entstehen. Oder wird es sich als unerlässlich erweisen, wieder zerlegte Blätter mit mechanischen Verbindungsstellen einzuführen oder neue Lösungen mit separaten, mechanisch oder chemisch verbundenen Spitzensegmenten verschiedener Längen zu entwickeln?

Geographische Unterschiede

In der nahen Zukunft wird man zunehmende Unterschiede bei den in verschiedenen geographischen Regionen der Welt eingesetzten Onshore-Windkraftanlagen, wie zum Beispiel auf dem Niedrigwindmarkt und Ultra-Niedrigwindmarkt Chinas und Indiens, feststellen. Eine chinesische Windenergieanlage mit 2,5 MW Leistung und einem 141 Meter Rotordurchmesser, die eine spezifische Leistungsbeurteilung von 160 W/m² bietet, ist der Beweis, dass dies bereits der Fall ist. Dieser Wandel weg von der „traditionellen“, Megawatt-basierten Ausrichtung ist auch im chinesischen Offshore-Segment erkennbar. Die neueste Windenergieanlage V162-5.6 MW von Vestas für schwache und mittlere Windbedingungen mit Fokus auf Mittel- und Nordeuropa hat im Vergleich dazu eine Leistungsdichte von 272 W/m². Im Allgemeinen bieten geringere spezifische Nennleistungen höhere Kapazitätsfaktoren, die sich positiv auf die Grundlastkapazität und Netzstabilität



EIZE DE VRIES

Berater für Technologie- und Markttrends bei Windpower Monthly und Technologiekorrespondent für Offshore-Wind. Unabhängiger Berater für Windtechnologie Rotation Consultancy

auswirken sowie den Speicherbedarf bei zunehmenden Marktdurchdringungsraten mit erneuerbaren Energien reduzieren könnten. Produktpassungen und -feinabstimmungen bieten außerdem weitere Vorteile in liberalisierten Strommärkten mit hoher Windkraftpenetration, in denen Strompreise während schlechter Windbedingungen und hohem Strombedarf durch die Decke schießen können.

Viele Jahre lang waren die inkrementelle Innovation und Evolution von Technologien mit Hochgeschwindigkeitsgetrieben im Onshore-Segment die Norm. Sie umfasste typischerweise die evolutionäre Skalierung nicht integrierter Hochgeschwindigkeitsantriebe mithilfe von entweder Drei- oder Vierstufengetrieben und oft doppelt gespeisten Asynchrongeneratoren (DASG). Zu Beginn dieses Jahres stellte Vestas eine neue modulare EnVentus-Plattform mittlerer Geschwindigkeit mit einem Permanentmagnet-Synchrongenerator (PMSG) vor.

Modulares Design

Obwohl der modulare Aufbau selbst zu einem quasi-standardmäßigen Leitprinzip bei Onshore-Windkraftanlagen geworden ist, ist es noch zu früh, um einen zukünftigen Gewinner zwischen Technologien mit Getrieben hoher und mittlerer Geschwindigkeit festzulegen. DASG-basierte elektrische Systeme sind weiterhin kostengünstig und darüber hinaus beachtliche Konkurrenten zu allen „Vollumrichter-“Lösungen auch im aktuell leistungsstärksten Onshore-Segment und vielleicht sogar für die zukünftigen 6–7 MW starken WEAs mit Hochgeschwindigkeitsgetrieben.

Das Onshore-Direktantriebsegment ist hauptsächlich zwischen Enercon und Goldwind aufgeteilt, wobei Goldwind sich aktuell in einer Phase großer technologischer Umstellungen befindet.

Die EP3-Plattform mit Kompaktantrieb ist auf eine bessere Positionierung im Auktionssystem ausgerichtet und konkurriert mit gleichwertigen Getrieben hoher und mittlerer Geschwindigkeit. Ein möglicher weiterer Schritt wäre eine Veränderung hin zu PMSGs hoher Dichte. Von Lagerwey, die 2017 von Enercon akquiriert wurde, werden bereits einige Getriebe. Das Markteinstiegsniveau für neue Modelle mit Direktantrieb liegt aktuell und wahrscheinlich

auch zukünftig höher als für solche mit Getriebe, die von einer großen, reifen und diversifizierten globalen Multisource-Supply-Chain profitieren.

Letztes Jahr fand außerdem die Installation des weltweit ersten supraleitenden Generators in einer 3,6 MW starken Onshore-WEA statt. Der Aufbau dieser Generatoren kann sehr kompakt und effizient sein, aber Supraleiter bedürfen einer Betriebstemperatur von ungefähr -240°C . Die zukünftigen kommerziellen Skalierungsoptionen und Markteinstiegschancen hängen somit zumindest davon ab, ob eine ausreichende Verlässlichkeit der Kühlsysteme in Kombination mit einer beträchtlichen Kostenreduzierung erreicht werden kann.

Hauptakteure offshore

Der Offshore-Windkraftmarkt in Europa wird von zwei Hauptakteuren, 7–9,5 MW starken Dreiblatt-Luvläufern dominiert und ist von kleinen Technologieentwicklungsschritten bei den ursprünglichen, in 2011/12 eingeführten 6–7 MW starken Modellen gekennzeichnet. Die erfolgreiche Kombination schrittweise steigender Nominalwerte und Rotorgrößen ermöglichte es, eine Supply Chain mit erhöhter Auslastung heranreifen zu lassen und gleichzeitig Produktentwicklungskosten, Zeitaufwand und Risiken zu begrenzen.

Dieser „bequeme Status quo“ wurde im März letzten Jahres gestört, als GE die 12 MW starke Windenergieanlage GE Haliade-X für die Starkwindklasse gemäß IEC IB ankündigte. Ein Prototyp ist für diesen Sommer geplant und die Serienproduktion könnte 2021 starten. Öffentlich zugängliche Baugenehmigungsdokumente des Prototypen weisen auf eine 600 Tonnen Gondelmasse, 107 Meter lange Blätter mit jeweils 55 Tonnen Masse, eine Nennleistung zwischen 12 und 14 MW und einen Rotordurchmesser von 218,2 Metern hin.

Es herrscht weitgehend Übereinstimmung darüber, dass optimale Nennleistungswerte für Starkwindstandorte in der Nordsee zwischen 375 und 425 W/m^2 liegen sollten. Die 14-MW-Konfiguration von GE würde 374 W/m^2 und eine Aufrüstung auf 15 MW würde 401 W/m^2 bieten; MHI Vestas aktuelle Technologieentwicklung V174-9,5 MW würde wiederum einen Ertrag von 400 W/m^2 erzielen. Die von Siemens Gamesa angekündigte mehr als 10 MW

WINDENERGIE: EINE BRANCHE WILL HOCH HINAUS. *Die Offshore-Windenergie ist für die Erreichung der Klimaschutzziele von zentraler Bedeutung.*



— Eine Supply Chain mit erhöhter Auslastung reift heran. —

starke SG 10.0-193 hat einen Ertrag von 342 W/m² mit einer möglichen Aufrüstung bei 12 MW auf 410 W/m².

Aktuelle Präferenzen bei Offshore-Antrieben liegen bei Getrieben mittlerer Geschwindigkeit und Direktantrieben, beide mit PMSG. Ein Experte für ZF-Antriebsstränge äußerte vor Kurzem, dass unabhängig von Antriebsstrangpräferenzen keine Zwischenschritte vom gegenwärtigen Stand in Richtung 15 MW gemacht werden sollten.

Skalierbarkeit

Der gleiche Experte fügte außerdem hinzu, dass das aktuelle mittelschnelle Getriebe für 9,5 bis 10 MW hinsichtlich Eingangs Drehmoment und Über-

Eize de Vries

Berater für Technologie- und Markttrends bei Windpower Monthly und Technologiekorrespondent für Offshore-Wind. Unabhängiger Berater für Windtechnologie Rotation Consultancy



UNSERE LIDAR-MESSBOJE BEWEGT SICH DURCH WELLENGANG JÄHRLICH ETWA 60.000 KILOMETER AUF UND AB. Innerhalb von sechs Jahren legt die Boje somit die Distanz zurück, die zwischen Erde und Mond liegt: 384.000 Kilometer.

— Offshore-Wind-energie profitiert von der kontinuierlichen Revolution industrieller Digitalisierung. —

Eize de Vries

Berater für Technologie- und Markttrends bei Windpower Monthly und Technologiekorrespondent für Offshore-Wind. Unabhängiger Berater für Windtechnologie Rotation Consultancy

setzungsverhältnis für 15 MW gut skalierbar sei, während der Außendurchmesser des Getriebes von 3 Metern beibehalten werde. So wie die Rotorgröße zunimmt, verringert sich dafür die Rotorgeschwindigkeit. Die nominale Geschwindigkeit an der Spitze von 90 m/s scheint für Offshore-Windkraft der aktuelle Stand der Technik zu sein, um eine vorzeitige Blatterosion zu vermeiden. Dies widerspricht den optimistischen Prognosen vor 10 Jahren, die vorhersagten, dass schnelle, angemessene Lösungen zu einer Geschwindigkeit der Blattspitze von weit über 100 m/s führen würden. Das maximale Übersetzungsverhältnis „konventioneller“ zweistufiger mittelschneller Planetengetriebe ist auf 1:41 bis 44 beschränkt. Falls die Größe von Anlagen weiter zunimmt, müssten die Technologieentwickler eine weitere Verringerung der Generatorgeschwindigkeit in Kauf nehmen, allerdings bei größerer Generatormasse und möglichen Kostennachteilen. Alternativ würde eine zusätzliche Getriebestufe für erhöhte Generatorgeschwindigkeit zu höherer Komplexität und damit verbundenen höheren Kosten für das Getriebe führen. Gleitlager entwickeln sich rasant zu quasi-standardmäßigen Lösungen bei Getrieben und gelten als unerlässliche Voraussetzung zum Erreichen von 150 bis 175 Nm/kg maximalem Antriebsmoment und zukünftig möglicherweise noch mehr. Neue Getriebe haben im Allgemeinen einen hohen Reifegrad erlangt und eine Erhöhung der Lebenserwartung auf bis zu 30 Jahre wird als realisierbar angesehen.

Der direkt angetriebene PMSG Haliade-X für „12–14 MW“ hat einen Außendurchmesser von ca. 11 Metern, allerdings hat Enercon schon in 2002 einen elektrisch erregten Synchrongenerator mit einem Außendurchmesser von ca. 12 Metern gebaut. Eine wesentliche Herausforderung für große Generatoren mit Direktantrieb ist im Allgemeinen ist die Formbeständigkeit unter sich kontinuierlich verändernden Kombinationen aus mechanischen, elektrischen und thermischen sowie dynamischen Belastungen. Eine zweite Herausforderung in Bezug auf die Skalierbarkeit entsteht durch die exzessive Zunahme der Gesamtmasse mit der Größe, doch die 600 Tonnen schwere Gondelmasse des Haliade-X (geschätzte 825 Tonnen Kopfmass) deutet darauf hin, dass ein solches Ziel erreichbar ist.

Neue Höhen

Die neue 10–15 MW und mehr WEA-Klasse mit Rotordurchmessern von bis zu und mehr als 220 Metern wird die Offshore-Windkraft zu neuen Höhen technologischer Entwicklung vorantreiben und dabei uneingeschränkt von der kontinuierlichen Revolution industrieller Digitalisierung profitieren. Nach ihrer zwischen 2021 und 2025 erwarteten Markteinführung werden diese Offshore-Windenergieanlagen erst am Beginn ihrer Lernkurve stehen. Es ist wahrscheinlich, dass die meisten zukünftigen Produktentwicklungen im Bereich von 10–15 MW und mehr den Trend der technologischen Skalierung wiederholen und die Herangehensweisen, die sich als so erfolgreich für die derzeitige Offshore-Klasse erwiesen haben, optimieren. Die Erwartung ist, dass im Kontext mit den langen Projektvorlaufzeiten ein bleibender Einfluss auf dem Markt bis 2030 und vielleicht auch darüber hinaus erzeugt wird.

Der Entwickler von Jack-Up-Installationsschiffen und Marktführer, das holländische Consultingunternehmen für Meerestechnik GustoMSC, blickt bereits heute weiter in die Zukunft, da diese spezifische Ausrüstung für eine Betriebslebensdauer von 20 bis 25 Jahren entwickelt wird. Für die neuen Schiffe, die sich in der Entwicklung befinden, werden auf Grundlage einer Referenz-WEA der Technischen Universität Dänemarks zukünftig 20 MW starke Offshore-WEAs mit Rotordurchmessern von mehr als 250 Metern (ca. 407 W/m²) erwartet. Die Jack-Up-Schiffe werden mit einem Teleskop-Kran für bis zu 1.500 Tonnen schwere Einpfahlstrukturen mit eingezogenem Ausleger und maximal 1.250 Tonnen schwere Gondeln mit voll ausgefahrenem Ausleger ausgestattet.

Umdenken

Offshore-Projektstatistiken legen nahe, dass die aktuelle 7–9,5 MW starke Offshore-Klasse bis mindestens 2023 installiert werden wird. Das spricht für eine entspanntere Strategie hinsichtlich der Zeitplanung für die neue zukünftige 10–15 MW starke Superklasse.

Eine noch sorgfältiger angelegte Strategie und ein Umdenken bezüglich der besten Herangehensweisen für den Sprung in die 20 MW-plus starke Klasse würden mehr Zeit zur Verfügung stellen,

Zutrauen zu entwickeln und von den Erfahrungen mit kleineren Plattformen zu lernen. Und nicht nur die Anlage selbst muss in Betracht gezogen werden, sondern das gesamte Paket, einschließlich Fundamenten, Kabeln, Installation, Netzverbindung, Risikowahrnehmung und reale Risiken.

Radikale Konzepte

Zweiblatt-Anlagen mit einem einzigen Rotor stellen nach wie vor ein Nischensegment dar. Aerodyn (durch den ehemaligen Lizenznehmer Ming Yang) erwartete die Hauptvorteile für die Leeläufer-Konfiguration bei für Taifune anfälligen Bedingungen. Ming Yang hat sich jedoch dazu entschlossen, auf Dreiblatt-Lüfläufer umzustellen, „da chinesische Kunden keine Zweiblatt-Windkraftanlagen wollen“.

WEAs mit mehreren Rotoren sind ein Traum geblieben und seit den 1930er Jahren eine Quelle der Inspiration für Pioniere. Im Jahr 2016 hat Vestas eine 900 kW starke Mult rotor-Konzeptanlage mit vier 225-kW-Turbinen errichtet, die nach Beendi-

gung des Testprogramms wieder abgebaut wurde.

Die 15 MW starke schwimmende Doppelrotor-Konzeptanlage SCD Nezy2 von Aerodyn mit zwei 7,5 MW starken Zweiblatt-Leeläufern stellt eine radikale Vision schwimmender Offshore-Windenergieanlagen der nächsten Generation „für 2025 oder früher“ dar.

Neue, mehr als 5–6 MW starke WEAs mit vertikaler Achse (vertical-axis wind turbines, VAWTs) könnten eine Renaissance erleben, besonders in schwimmenden Windparks, da ihre geringere aerodynamische Effizienz durch einen kleineren, günstigeren Schwimmkörper kompensiert würde. VAWTs können Schwingungen von bis zu 10–11 Grad hinnehmen im Gegensatz zu idealerweise maximal 3,5–4 Grad für WEAs mit horizontalen Achsen. Die technischen Herausforderungen für große VAWTs umfassen eine stabile Rotorbefestigung und verlässliche Ausgangsleistungskontrolle.

— Von EIZE DE VRIES

OFFSHORE-
WINDENERGIE.
*Eine wichtige
Perspektive der
Energiewende.*



Der IWES Spirit – Vielfalt ist unsere Stärke

— Wir betreuen Messkampagnen, planen neue Prüfstände und forschen an neuen Messmethoden. —

M.Sc. Gesa Quistorf

Wissenschaftliche Mitarbeiterin Systemtechnik am IWES

— Eine technische Herausforderung, die gelöst werden muss: Da setzen wir uns ran. Als Ingenieur arbeite ich industriennah und mit vielen Herstellern zusammen. Diese Vielfalt finde ich gut. —

Dipl.-Ing. Bernd Tegtmeier

Mehrjährige Industrietätigkeit am IWES,

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Technische Zuverlässigkeit

— Eine sehr fruchtbare, dynamische Arbeitsumgebung, man ist Teil der gemeinsamen Anstrengung für eine nachhaltige Zukunft. —

M.Sc. Heloisa Guedes Mendonca

Wissenschaftliche Mitarbeiterin Rotorblätter am IWES, parallel PhD Leibniz Universität Hannover. Studium: Brasilien

IMPRESSUM UND FÖRDERER

Akkreditierung und Zertifizierung



ISO9001:2015-zertifiziert
Produktentwicklung bis Prototypen, Technologieentwicklung und -optimierung, Technologieeinschätzung und Studien Erprobung in Demonstrationszentren



Akkreditiert gemäß DIN EN ISO / IEC 17025:2005 für die Bestimmung physikalischer Eigenschaften von faserverstärkten Kunststoffen und Faserverbundwerkstoffen mittels mechanisch-technologischer und thermischer Prüfungen sowie der Prüfung der mechanischen Beanspruchungen an Windenergieanlagen; Messungen des Leistungsverhaltens von Windenergieanlagen.



Die unabhängige Studie „Randstad Employer Brand Research“ bescheinigt der Fraunhofer-Gesellschaft 2018 den Spitzenplatz als attraktivster Arbeitgeber. Für die Studie wurden über 4.300 Arbeitnehmer und Arbeitsuchende online befragt.

Gefördert durch:



European
Commission

Horizon 2020
European Union funding
for Research & Innovation

aufgrund eines Beschlusses des
Deutschen Bundestages



Niedersachsen





Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES
Am Seedeich 45
27572 Bremerhaven, Germany
www.iwes.fraunhofer.de

Das Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme
IWES ist eine rechtlich nicht selbstständige
Einrichtung der

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e.V.
Hansastraße 27 c
80686 München
Telefon: +49 89 1205-0
Fax: +49 89 1205-7531
www.fraunhofer.de

Redaktion

Dr. Norbert Allnoch
Lisa Bösch
Mareike Collmann
Inna Eck (Koordination)
Dr.-Ing. Katharina Fischer
Dr. rer. nat. Julia Gottschall
Julia Kiefer
Jenny Kuball
Mareike Leimeister
Niels Ludwig
Karoline Pelka
Prof. Andreas Reuter
Britta Rollert
Matthias Schubert
Eize de Vries
Prof. Jan Wenske

Gestaltung

gobasil GmbH

Druck

Druckmanufaktur am Meer
Müller Ditzen GmbH

Bildnachweis

Seite 8: Jan Meier, Bremen; Seite 9: Jan Meier, Bremen; Seite 11:
IWR, Münster; Seite 15: DOTI | Matthias Ibeler; Seite 16: Paul
Langrock; Seite 19: Hermann Kolbeck; Seite 21: Paul Langrock;
Seite 22: Helmut Gross; Seite 24/25: Ulrich Perrey; Seite 27:
Tobias Kleinschmidt; Seite 29: Ulrich Perrey; Seite 32: Fraunhofer
IWES; Seite 36-37: Helmut Gross; Seite 39: Paul Langrock;
Seite 40: Caspar Sessler; Seite 42: DOTI | Matthias Ibeler; Titel,
Illustrationen, 3D- und Infografiken: gobasil GmbH

Stand: Juli 2019

