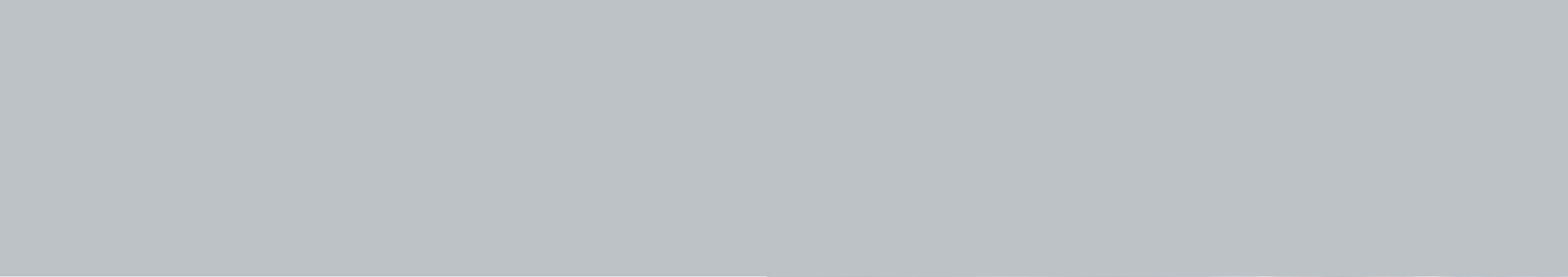


JAHRESBERICHT 2012 / 2013





Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES

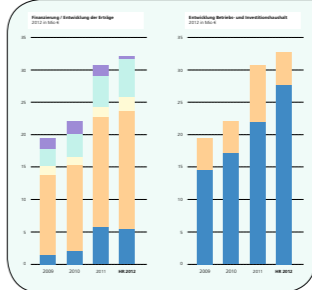
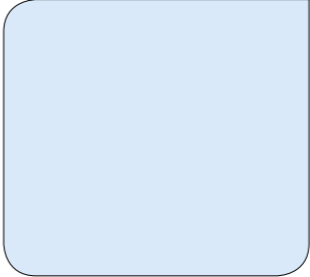
Institutsleitung

Prof. Dr.-Ing. Andreas Reuter
Dr.-Ing. Jan Wenske (stellv.)
Institutsteil IWES Nordwest
Am Seedeich 45
27572 Bremerhaven
Telefon +49 471 14 290-210
Fax +49 471 14 290-111
andreas.reuter@iwes.fraunhofer.de

Prof. Dr. rer. nat. Clemens Hoffmann
Dr.-Ing. Kurt Rohrig (stellv.)
Dr.-Ing. Philipp Strauß (stellv.)
Institutsteil Kassel
Königstor 59
34119 Kassel
Telefon +49 561 7294-345
Fax +49 561 7294-300
clemens.hoffmann@iwes.fraunhofer.de

info@iwes.fraunhofer.de
www.iwes.fraunhofer.de

6
Die Energiewende
ist zu 10 Prozent
geschafft!



8
IWES in Zahlen

10
Zukunftsfeld
Windenergie
Prof. Dr. Andreas Reuter



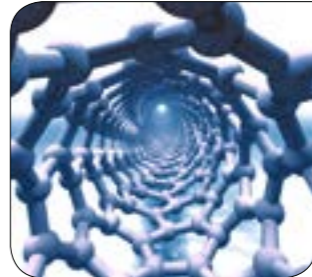
14
Zukunftsfeld
Energiesystemtechnik
Prof. Dr. Clemens Hoffmann

18
Kurzportrait



20
Testzentren und Labore

26
Kompetenzen und
Ansprechpartner



30
Fraunhofer Gesellschaft
auf einen Blick

Vorwort



Die Energiewende ist zu 10 Prozent geschafft!

Diese Behauptung ergibt sich, wenn man den Endenergiebedarf der Verbraucher einerseits mit der Erzeugung durch erneuerbare Quellen andererseits vergleicht. Bei 10 Prozent kommt die Energiewende aus dem Schutzraum der »Kinderstube« heraus und muss sich deutlich raueren Wettbewerbsbedingungen stellen. Einschränkungen durch die Infrastruktur und Begrenzung des Kapitalflusses bestimmen die weitere Entwicklung. Diesen raueren Wind verspüren auch die Hersteller von Wind- und Solaranlagen. Derzeit gibt es in beiden Märkten deutliche Überkapazitäten. Mit der Folge, dass die Preise kollabieren und die Hersteller in Schwierigkeiten geraten. Ist die Energiewende deshalb in der Krise? Ganz im Gegenteil. Durch den enormen Druck im Herstellermarkt wird die Konkurrenzfähigkeit der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zügig erreicht.

Um von 10 auf 80 Prozent oder gar 100 Prozent Versorgung aus erneuerbaren Energien zu kommen, sind jetzt infrastrukturelle Fragen zu klären. Das Zeitalter der Infrastruktur ist angebrochen! Darin steckt die eigentliche Herausforderung. Die Bewältigung dieser Herkulesaufgabe erfordert ein planvolles Vorgehen. Weil die Investitionssummen so groß sind, ist eine vorausschauende Planung notwendig, um die Investitionen zu optimieren.

Das Fraunhofer IWES bedient die Geschäftsmodelle Beratung, Vorproduktentwicklung sowie Material und Designvalidierung für die Technologiefelder Windenergie und Energiesystemtechnik.

Was Energiesystemtechnik eigentlich ist, mag ein Beispiel erläutern: Derzeit ist noch sehr im Fluss, wie ein tragfähiges Konzept für die Mobilität der Zukunft aussehen wird. Ist es ein rein batteriebetriebenes Auto, ein Fahrzeug mit Erdgas oder synthetischem Gas, Wasserstoff in der Brennstoffzelle oder Methan in einem Verbrennungsmotor? Oder ist es ein Hybrid, eine Mischung aus den verschiedenen Komponenten? Die Antwort darauf findet sich, wenn man nicht nur auf das Fahrzeug schaut, sondern auf die gesamte systemtechnische Kette von der Bereitstellung der Dienstleistung Mobilität, der Erzeugung der notwendigen Energie, ihrer Übertragung bis zum Verbrauch und entlang dieser Kette Verfügbarkeit, Wirkungsgrade, Verluste und Kosten berechnet.

Durch die Technologieentwicklung werden die Kosten weiter gesenkt. Bei der Windenergie ermöglichen größere Rotoren und hohe Nabenhöhen die vermehrte Nutzung im Binnenland. Hier ergeben sich spannende Herausforderungen für Konstruktion und Regelung bei der Wechselwirkung zwischen Luftströmung und elastischen Strukturen bei Rotorblattlängen im Bereich von 80 bis 100 Metern.

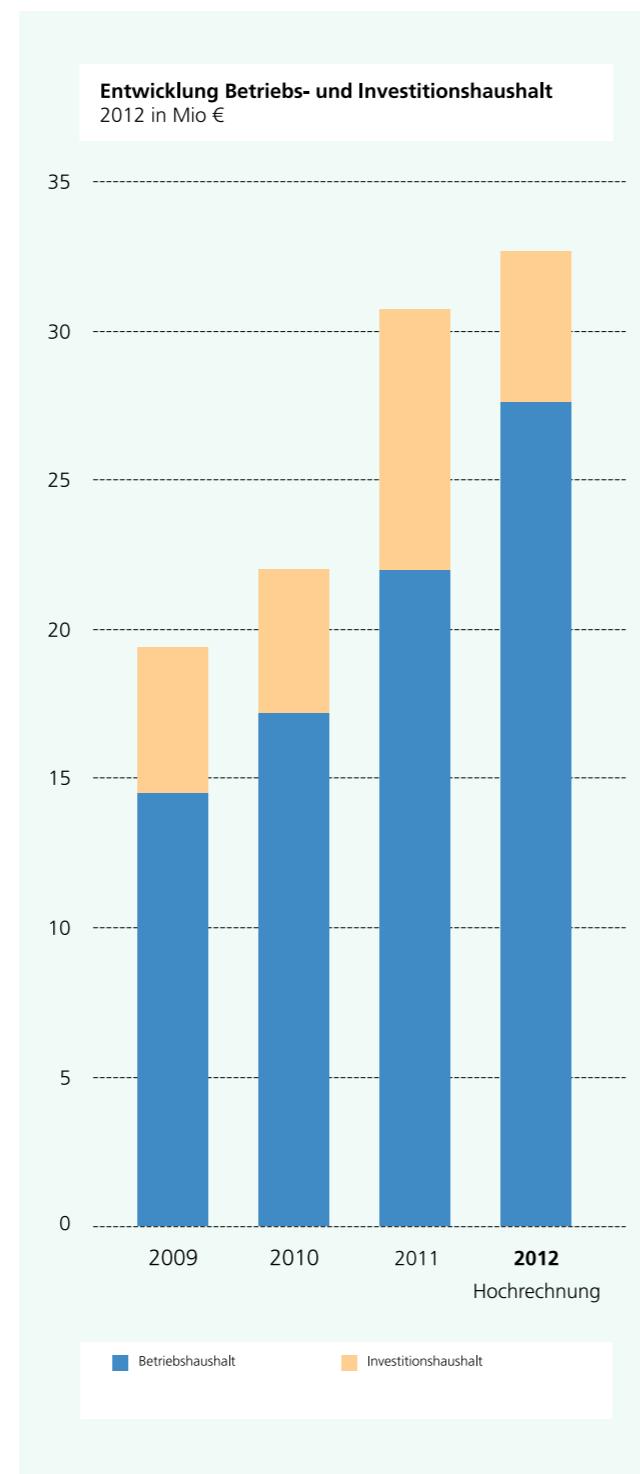
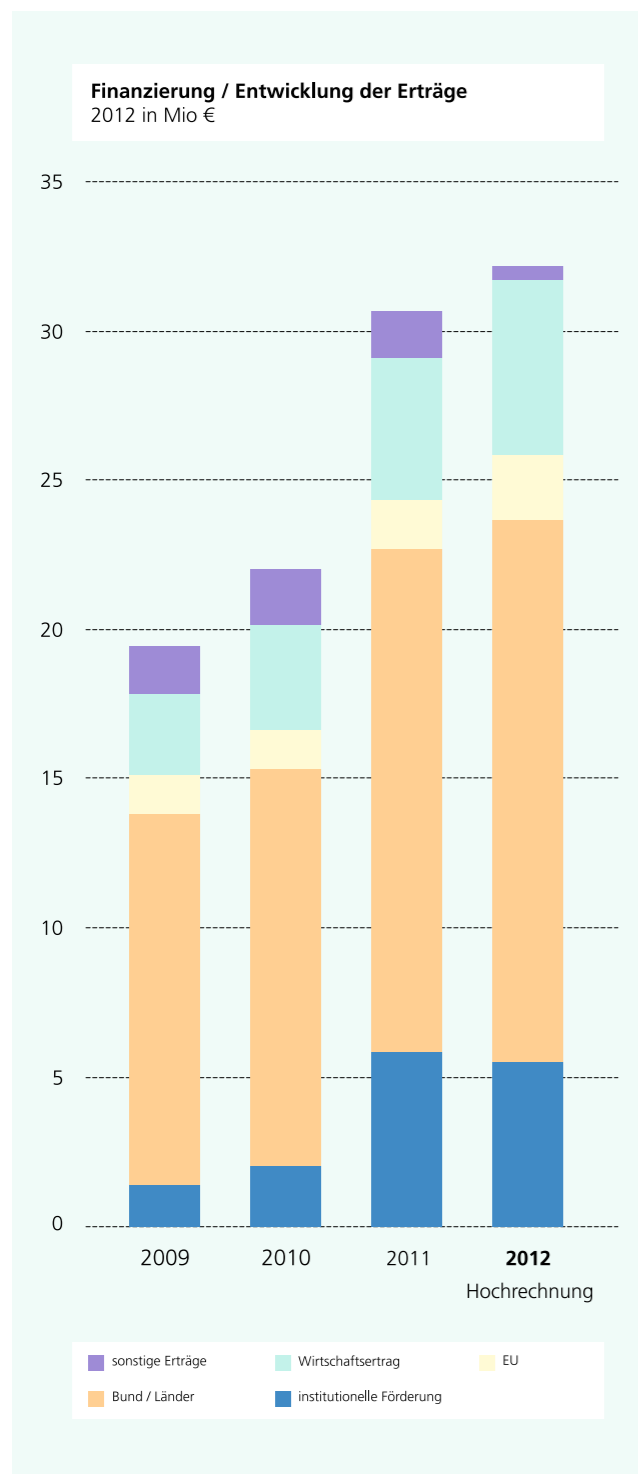
Durch die Verknüpfung der Einsichten in die notwendigen Infrastrukturen mit den Wirtschaftsfragen verfügt unser Institut über die Kompetenz, Unterstützung für die Entscheider in den Unternehmen und der Politik zu leisten.

Um die Aufgaben für die Energiewende zu bewältigen, ist das IWES in den letzten Jahren enorm gewachsen. Von 200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im Jahr 2009 auf rund 500 im Jahr 2012. Ein weiteres Wachstum ist erforderlich und geplant. Dafür werden im Geschäftsjahr 2013 die notwendigen Strukturen geschaffen. Ein Beispiel ist die Formierung des Forschungsverbundes Windenergie im Nordwesten zwischen Fraunhofer IWES, DLR und ForWind. In Kassel gehen die Planungen für einen großen Institutsneubau mit dem Land Hessen und der Stadt Kassel voran.

Wir freuen uns auf die Zusammenarbeit mit Ihnen!

Prof. Dr. Andreas Reuter
Institutsleiter IWES Nordwest

Prof. Dr. Clemens Hoffmann
Institutsleiter IWES Kassel



Finanzen

Der erfolgreiche Wachstumskurs des IWES konnte auch in 2012 fortgesetzt werden. Der Gesamthaushalt stieg im Jahr 2012 um insgesamt 1,8 Mio € auf 32,5 Mio €. Maßgeblich war hierbei insbesondere die Erhöhung des Betriebshaushalts um 25 Prozent im Vergleich zum Vorjahr. Das Personalwachstum folgte dabei entsprechend der positiven Entwicklung des Betriebshaushalts.

Die Wirtschaftserträge konnten ebenfalls erneut maßgeblich um 1,1 Mio € gesteigert werden und erreichen in 2012 einen neuen Instituts-Höchstwert von knapp 6 Mio €.

Ebenso erfreulich ist die Entwicklung der EU-Erträge, die um 500 T€ stiegen und 2012 einen Ertragswert von 2,1 Mio € bzw. 6 Prozent des Gesamtergebnisses betragen.

Die Sondereffekte des Vorjahres im öffentlichen Ertragsbereich des Investitionshaushalts, die sich aufgrund der am Kasseler Standort fertig gestellten Testzentren für Neue Netze und Biomassenutzung sowie dem ebenfalls in 2011 abgeschlossenen Ausbau der Rotorblattprüfhallen in Bremerhaven ergaben, entfielen im Berichtsjahr 2012 und führten somit zu einem Rückgang des Investitionshaushalts um 43 Prozent bzw. nur zu einem moderaten Anstieg der öffentlichen Erträge um 8 Prozent im Vergleich zum Vorjahr.

Der Anteil des Investitionshaushalts am Gesamthaushalt entspricht mit einem Wert von 5 Mio € jetzt einem Anteil von 15 Prozent am Gesamthaushalt.

Personal

Personen per 31.12.	2009	2010	2011	2012
Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler	110	138	192	232
Technische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter	30	29	36	43
Verwaltung / Interne Dienste	25	31	48	53
Hilfskräfte, Praktikantinnen und Praktikanten	29	27	100	151
Gesamt	194	225	376	479



Windenergie

Forschung muss heute mit einem ganz »handfesten«, quantifizierbaren Nutzen überzeugen: ob verkürzte Entwicklungszeiten durch realitätsnahe Tests von Prototypen, höhere Effizienz durch aerodynamisch optimierte Designs oder eine längere Lebensdauer der Windenergieanlage durch verbesserte Regelungs- und Instandhaltungsstrategien – Investitionen in Forschung müssen sich rechnen. In Zeiten eines weltweit einstelligen Marktwachstums eröffnet der Modus »Überwintern auf Sparflamme« jedoch keine neuen Perspektiven. Für ihre ambitionierten Unternehmensziele finden Akteure der Windbranche im Portfolio des Fraunhofer IWES »Sprungfedern« in Form von hochentwickelten Technologien und einzigartiger Infrastruktur, um neue Höhen zu erreichen.

Notwendig dafür ist die Wahrnehmung der Windenergieanlage als dynamisches Gesamtsystem. Je besser die einzelnen Komponenten aufeinander abgestimmt sind und ineinander greifen, desto reibungsloser der Betrieb und desto mehr Volllaststunden werden erzeugt. Wer das Anlagenverhalten erfassen und als nächsten Schritt optimieren will, braucht nicht mehrere Brillen, sondern ein breites Sichtfeld. Deswegen baut das Fraunhofer IWES in den nächsten Jahren mit eigenen Testfeldern seine Expertise strategisch aus, um selbst Messungen vorzunehmen und auf Kundenwunsch auch komplette Anlagen konzeptionell begleiten zu können.

Über das Controlling hinaus erzielt die Investition in die eigene Zukunftsfähigkeit einen Mehrwert, der sich nicht 1:1 in Zahlen ausdrücken lässt: Zufriedenheit der Anwender und Kooperationspartner, Attraktivität für Arbeitnehmer, Vertrauen der Investoren, Unterscheidbarkeit in einem zunehmend professionalisierten Umfeld, Imagegewinn durch Technologieführerschaft, Reputation des Technologiestandortes Deutschland. Und sicher nicht zuletzt: Den Beitrag zu einem zeitnahen Umbau des Energiesystems, das die Lebensqualität unserer und nachfolgender Generationen entscheidend prägen wird. Eine Aufgabe, die niemand allein stemmen kann.

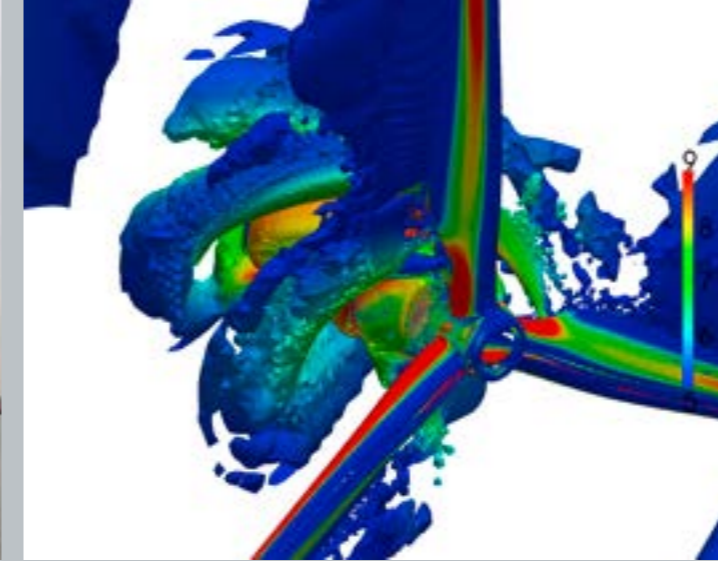
Atempause zur Weiterentwicklung nutzen

Mit Blick auf diese großen Ziele scheint die vorwettbewerbliche gemeinsame Forschung ein ganz naheliegendes Mittel zu sein. In Verbundprojekten können die Grundlagen entwickelt werden, damit alle Beteiligten gestärkt die Ziele ihres Unternehmens weiterverfolgen können. Einige Initialzündungen im Bereich Fertigungstechnologien für Rotorblätter und Generatoren konnte das IWES 2012 gemeinsam mit der Deutschen Messe AG in praxisbezogenen Expert Meetings geben. Die Veranstaltungsreihe dient als Plattform für den Wissensaustausch zwischen bekannten Wind-Playern und Unternehmen, die bisher in anderen Industriezweigen wie zum Beispiel in der Automatisierung oder Prozesstechnik tätig waren und nun den Bereich Windenergie bedienen wollen. Eine zielgerichtete Zusammenführung verschiedener Perspektiven und Know-how ist wichtig, um in dem sich verändernden Windenergiemarkt Kurs zu halten – Kurs auf Professionalisierung und große Stückzahlen für die Zeit nach der Flaute. Verzögerte Entwicklungen bergen auch die Chance, die Zeit für die Aufstockung der technologischen Toolbox zu nutzen und Weichen für eine verbesserte Wettbewerbsfähigkeit zu stellen.

Industrialisierung und Professionalisierung

In den letzten Jahren führten die gestiegenen Erwartungen bezüglich der Zuverlässigkeit der Anlagen und neue hocheffiziente Generatorkonzepte mit Permanentmagneten zu einer beginnenden Trendwende: Insbesondere für die nächste Generation von Offshore-Anlagen scheint sich das Direktantriebskonzept mit nun wettbewerbsfähigen Gewichten und Abmessungen sowie einer hohen Zuverlässigkeit am Markt durchzusetzen. Für diese hochintegrierten Ansätze muss allerdings noch ein deutlich höherer Automatisierungsgrad der Fertigung erreicht werden; das derzeitige Manufakturniveau ist noch nicht kostenoptimal.

Unabhängig vom maschinenbaulichen Aufbau des Triebstrangs ist in allen modernen Anlagenkonzepten die Leistungselekt-



ronik von zentraler Bedeutung. Umrichtersysteme sorgen für die netzfrequente Anbindung der drehzahlvariablen Anlagen. Diese Bauteile haben erhöhte Ansprüche an zulässige Umweltbedingungen und sind oft Entwicklungsderivate aus anderen Industriebereichen. Daher ist festzustellen, dass diese Bauteile zunehmend die Ausfallstatistiken anführen.

So hat die derzeit aktuellste, im Rahmen des ReliaWind-Projektes für drehzahlvariable Anlagen durchgeführte Zuverlässigkeitsstudie aufgezeigt, dass der Anteil der getriebebedingten Ausfälle bei nur fünf Prozent liegt, während rund dreimal so viele Ausfälle und sogar 18 Prozent der Ausfallzeiten auf das Umrichtersystem zurückzuführen sind.

Die Ursachen für den Ausfall der Bauteile sind oft nur mit hohem Aufwand zu ergründen. Eine Kombination von extremen Umweltbedingungen und windtypischer dynamischer Beanspruchung stellt hohe Anforderungen an die Umrichter. Spezifischere, an die realen Betriebsbedingungen in Windenergieanlagen abgestimmte Entwicklungen sowie Anleihen aus Bereichen mit stark erhöhten Zuverlässigkeitsanforderungen – z.B. aus der Raumfahrt – können in Zukunft Abhilfe schaffen. Eine gezielte Einführung von Redundanz im Generator-Umrichter-System erlaubt den Weiterbetrieb der Anlage im Fehlerfall mit reduzierter Leistung, bei geringen Windstärken sogar gänzlich ohne Leistungseinbuße. Dies ist insbesondere für die Verfügbarkeit von Offshore-Anlagen ein wesentlicher Aspekt, deren Zugänglichkeit für Instandsetzungsarbeiten gegenüber Onshore-Anlagen deutlich eingeschränkt ist.

Der dringende Handlungsbedarf im Bereich der Zuverlässigkeit leistungselektronischer Systeme in Windenergieanlagen ist am IWES erkannt worden: Eine im Jahr 2012 an der Chalmers University of Technology in enger Zusammenarbeit mit Partnern wie Vattenfall durchgeführte Studie hat erste Anhaltspunkte für die Ausfallursachen und -mechanismen der Umrichtersysteme geliefert. Mit dem Ziel, die Versagensumstände zu klären und auf dieser Grundlage zur Entwicklung zuverlässiger Leistungselektronik sowohl für bestehende als auch für zukünftige

Anlagen beizutragen, baut das IWES seine Aktivitäten in diesem Themenfeld derzeit weiter aus.

Fertigungsoptimierung: Qualitätsschub und Kostenreduktion

Das Potenzial der automatisierten Rotorblattfertigung für die Industrie wird ebenfalls hoch eingeschätzt. IWES-Wissenschaftler untersuchen mit Industrie- und Forschungspartnern in dem Projekt BladeMaker, inwiefern eine stärker automatisierte Fertigung den hohen Kostendruck, unter dem die Blatthersteller im internationalen Wettbewerb stehen, reduzieren kann. Die gesamte Fertigungskette der Blattproduktion wird betrachtet, um eine Produktionskostensenkung um deutlich über 10 Prozent zu erzielen. Die Errichtung eines Demonstrationszentrums soll der Branche als »Schaufenster« dienen, um die eigenen Automatisierungspotenziale zu erschließen.

Forschung an intelligenten Rotorblättern

Ein weiteres Zukunftsthema, das auf eine Steigerung der Windausbeute abzielt, sind die so genannten Smart Blades. Im Rahmen des Forschungsverbundes Windenergie packt das Fraunhofer IWES gemeinsam mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und dem Zentrum für Windenergieforschung der Universitäten Oldenburg, Hannover und Bremen (ForWind) dieses Thema an. Der Zusammenschluss von über 600 Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen vernetzt Kompetenzen und ist von großer Bedeutung für das erweiterte Systemverständnis. Gemeinsam können langfristige und strategisch wichtige Großprojekte von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung umgesetzt werden.

Die inhaltliche Zusammenarbeit startete im Januar mit dem BMU-geförderten Projekt »Smart Blades – Entwicklung und Konstruktion intelligenter Rotorblätter«. Ziel des Projekts ist es, Smart-Blade-Technologien zu entwickeln, mit denen sich die Ermüdungslasten an Rotorblättern reduzieren lassen.

Aufgrund wachsender Rotorblattformate gelangen Pitchregelungen an ihre Grenzen: Inzwischen überstreichen bis zu 85 Meter lange Rotorblätter bei jeder Umdrehung eine Fläche von mehreren Fußballfeldern. Die Böigkeit des Windes führt zu sehr unterschiedlichen Windverhältnissen innerhalb dieser großen Fläche, und ein komplettes sowie relativ langsames Verstellen des Rotorblattes kann diese Strömungsänderungen nicht schnell genug ausgleichen. Smart-Blade-Systeme schaffen Abhilfe: Mit Hinterkanten, die sich in ihrer Form verändern lassen oder Klappen, die bei Bedarf den Wind umlenken. Sehr große Rotorblätter, die mit derartigen Mechanismen ausgerüstet sind, können gezielt Böen ausregeln und Leistungsschwankungen verringern und weisen weiterhin eine unvermindert hohe Lebensdauer auf. Die Herausforderung ist, die Rotorblätter durch die aktiven Mechanismen nicht fehleranfälliger, schwerer und wartungsintensiver werden zu lassen und dies ohne Preisanstieg für die Gesamtanlage zu erreichen.

Die Forscher erwarten, dass die eintretende Lastminderung ein aerodynamisch optimiertes und leichteres Design von Windenergieanlagen ermöglicht. Durch Änderungen des Designs ließen sich Material- und Logistikkosten reduzieren und die Lebensdauer der Anlage erhöhen.

Validierung von Kompositbauteilen

Die in den letzten Jahren umgesetzten Investitionen in Prüftechnik für Kompositbauteile und hier insbesondere die Prüfstände für Rotorblätter haben sich zu einem wichtigen Element im Leistungsspektrum des Institutes entwickelt. Derzeit ist das weltgrößte Rotorblatt mit einer Länge von 83,5 Meter im Lebensdauertest, weitere Prüflinge ähnlicher Größe werden folgen. Begleitet wird die Validierung von Rotorblättern durch eine Reihe von Material- und Komponentenprüfungen, die die komplette Entwicklungskette absichern. Klimakammern können zusätzlich zu den mechanischen Beanspruchungen auch die sonstigen Umweltbedingungen realitätsnah reproduzieren. Durch weitere Prüfstände für ganze Triebstränge und Off-

shore-Tragstrukturen soll das erfolgreiche Konzept auch auf andere wichtige Bereiche der Windenergieanlage übertragen werden.

Alle diese Entwicklungen werden intensiv durch Industriepartnern begleitet. So soll eine bedarfsgerechte Entwicklung der Infrastruktur am Institut sichergestellt werden.



Energiesystemtechnik

Wir sind von der Vision, das Energieversorgungssystem auf 100 Prozent erneuerbare Energien umbauen zu können, überzeugt. Dazu haben wir bereits viele Technologien bis zur verlässlichen Funktionsreife entwickelt. Die Kosten für unsere Energiewende liegen bei Streckung über einen Zeitraum von 30 Jahren bei etwa 1 Prozent unseres deutschen Bruttoinlandsprodukts. Zum Vergleich: Das Apollo-Projekt in den 60er Jahren kostete etwa 0,25 Prozent des damaligen Bruttoinlandsprodukts der USA über einen Zeitraum von 10 Jahren. Relativ gesehen ist unsere Aufgabe also viermal größer und über einen dreimal längeren Zeitraum durchzuhalten. Die Energiewende als großtechnisches Projekt verstanden ist zwar eine enorme Herausforderung, aber sie ist nicht eine astronomisch größere Aufgabe als zum Mond zu fliegen.

Die wissenschaftlich-technischen Aufgaben für Forschung und Entwicklung liegen im Wesentlichen in der Kostenreduktion und Weiterentwicklung der verschiedenen Wandlungstechnologien sowie in einer neuen Energiesystemtechnik, um unter komplexen technischen, ökonomischen und ökologischen Randbedingungen zuverlässige und stabile Versorgungssysteme mit 100 Prozent erneuerbaren Energien zu realisieren. Die neue Disziplin »Energiesystemtechnik« beschäftigt sich damit, nicht die Erzeugungs- und Verbrauchskomponenten im Einzelnen, sondern die Zusammensetzung der Komponenten zu einem funktionierenden Gesamtsystem zu betrachten. Außerdem können sich aus der Funktion des Gesamtsystems auch Forderungen für das Design und die Regelung der einzelnen Subsysteme und Komponenten ergeben.

Als Hauptgegenstände für eine neue ganzheitliche Energiesystemtechnik lassen sich bezeichnen:

- Entwurf von Energieversorgungssystemen, d.h. Anzahl, Mischung und räumliche Verteilung verschiedener Erzeugungsformen
- Entwurf von Energienetzen
- Entwurf von Reglerstrukturen für Erzeugung, Übertragung und Verbrauch im operativen Betrieb

- Modellierung der Umwelt, die in Form parametrischer Einflussgrößen auf das technische System wirkt
- Messtechnik für technische und Umweltgrößen
- Aktuatoren an den Schnittstellen zwischen den Systemkomponenten
- Energiespeicher
- Kommunikationstechnik, die Mess-, Steuerungs- und betriebswirtschaftliche Größen transportiert
- Betriebswirtschaftliche und volkswirtschaftliche Bewertung von Entwürfen für Energieversorgungssysteme
- Entwurf und Analyse von Marktsteuerungsinstrumenten, die zur Transformation von Energieversorgungssystemen eingesetzt werden.

Beispiele unserer Forschungsaktivitäten sind:

Simulationen und Szenarien für die Energiewende

Im Rahmen von Studien und Untersuchungen generiert das IWES 15-minütige bis stündliche Einspeisungen aus erneuerbaren Energien. Die Basis der Berechnungen sind die meteorologischen und hydrologischen Bedingungen verschiedener Jahre, die sich unter verschiedenen Szenarien ergeben würden. Dabei entstehen hoch detaillierte Einspeisezeitreihen für Wind, Solar, Geothermie, Biomasse und Wasserkraft, die zur Analyse von Netzausbau, Zubau von Speichern und Energiemanagement von der Energiewirtschaft herangezogen werden. Zusätzlich werden der konventionelle Kraftwerkeinsatz und der Ausgleich der Fluktuationen durch Stromtransport, Speicher und Energiemanagement modelliert. Als Simulationsplattform bietet IWES einen Hochleistungs-Rechencluster der zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Daten liefert und sich mit Software-Tools für Lastflussberechnungen sowie Planungs- und Analyse-Werkzeugen koppeln lässt. Aus diesen Berechnungen entwickelt IWES Szenarien zum Ausbau erneuerbarer Energien bis hin zur regenerativen Vollversorgung und Maßnahmen zur Integration und Harmonisierung von regenerativer und konventioneller Stromerzeugung.



Ertragreiche Windenergiestandorte im Binnenland

Die Windenergienutzung an Land wird eine wesentliche Säule des zukünftigen Energieversorgungssystems werden. Viele Bundesländer formulieren nun neue, deutlich ambitionierte Ausbauziele für die Windenergie, die sich bis zum Jahr 2020 auf etwa 60 GW summieren. Die technologische Entwicklung der Windenergieanlagen hat in den letzten Jahren zu hohen Türmen und großen Rotoren geführt. Das Potenzial der Windenergienutzung an Land hat sich dadurch deutlich erhöht. Das belegte das Fraunhofer IWES in einer Studie, die im Auftrag des Bundesverbands Wind Energie (BWE) durchgeführt wurde. Danach würden zwei Prozent der deutschen Fläche ausreichen, um mit modernen, großen Windenergieanlagen mit Nabenhöhen bis zu 150 m etwa 60 Prozent des heutigen deutschen Strombedarfs zu decken. Dazu ist die genaue Kenntnis der Windcharakteristik in hügeligen oder bewaldeten Binnenlandregionen durch hoch aufgelöste Messungen und Simulationsmodelle unabdingbar. Neben etablierten Messmethoden mit Windmessmasten gilt es, für moderne lasergestützte LIDAR-Systeme Korrekturmethode für den Einsatz in komplexem Gelände zu entwickeln, um so kostengünstigere aber qualitativ vergleichbare bodenbasierte Fernmesstechniken zu ermöglichen.

Sichere Standorte für die Offshore-Windenergienutzung

Für Offshore-Windparks müssen die geologischen Verhältnisse eines möglichen Baugebiets schnell und großflächig ohne aufwändige Beprobungen durch geologische Bohrungen oder Drucksondierungen untersucht werden. Das ist für die Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und die Auslegung der Fundamente äußerst wichtig. Mit einem neuentwickelten, weltweit einzigartigen Flachwasser-Messsystem schließt das Fraunhofer IWES das fehlende Bindeglied zwischen der verbreiteten hochfrequenten Einkanalseismik und den tieffrequenten Mehrkanalsystemen aus dem Bereich der Kohlenwasserstoffexploration. Der erste Einsatz in der Nordsee hat gezeigt, dass sich das Messsystem im besonderen Maße für die Erkundung der Bauverhältnisse im Offshore-Flachwasserbereich eignet und

in der Lage ist, die Qualität geophysikalischer Vermessungen deutlich zu steigern.

Moderne Regelungssysteme für Windenergieanlagen

Mit der Höhe und mit dem Rotordurchmesser nehmen die strukturellen Belastungen von Windenergieanlagen enorm zu. Moderne Regelungssysteme des Fraunhofer IWES begrenzen und reduzieren Extrem- und Betriebslasten. Bei der aktiven Lastreduktion über Einzelblattverstellung lassen sich zwei Ziele unterscheiden: die Reduktion periodischer Anregungen aus der unsymmetrischen Anströmung und die Dämpfung der Eigenschwingungen durch kontrollierte Erzeugung aerodynamischer Gegenkräfte. Zum ersten Ziel gehört die Nick- und Giermomentkompensation, bei der diese Momente gemessen und durch Einzelblattverstellung kompensiert werden. Dabei wird für jedes Rotorblatt ein kleiner individueller Offset zum kollektiven Pitchwinkel vorgegeben, der zyklisch mit den Rotorumdrehungen variiert. Zum zweiten Ziel gehört die aktive Turmschwingungsdämpfung, bei der über individuelle Blattverstellung periodische Komponenten in den aerodynamischen Kräften gegenphasig zur Auslenkungsgeschwindigkeit am Turmkopf erzeugt werden.

Netzintegration von Wind- und Solarenergie

Das Wind-Power-Management-System (WPMS) des IWES ist ein national und international eingesetztes System zur kurz- bis mittelfristigen Vorhersage der Windstromeinspeisung und wird kontinuierlich weiterentwickelt. Wenn in Zukunft die erneuerbaren Energien zeitweise die gesamte Netzlast decken, müssen konventionelle Kraftwerke gedrosselt oder abgeschaltet werden und erneuerbare Energien müssen die erforderlichen Systemdienstleistungen bereitstellen, um Frequenz und Spannung im Netz stabil zu halten. Für diese Aufgaben bei der Netzintegration entwickelte das IWES Werkzeuge wie Istwert- und Prognosemodelle und Systeme zum Management von Erzeugungsklustern für die Unterstützung von Spannungs- und Frequenzregelung und die Bereitstellung von Regelleistung mit

fluktuierenden Einspeisern. Windpark-Regelungssysteme koordinieren das dynamische Zusammenspiel der einzelnen Anlagen eines Windparks unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen durch gegenseitige Abschattung und unter Beachtung einer Vielzahl weiterer Kriterien. Dies erfordert die Verwendung hoch entwickelter Optimierungsverfahren für multikriterielle Zielfunktionen.

Photovoltaikausbau und dezentrale Netzintegration

Die Anforderungen an einen sicheren und zuverlässigen Netzbetrieb müssen auch bei sehr hoher Durchdringung mit Photovoltaikanlagen erfüllt werden. Das Fraunhofer IWES untersucht deshalb Maßnahmen, um lokale Spannungserhöhungen in Verteilnetzen und unzulässig starke Betriebsmittelbelastungen zu reduzieren. Hierdurch können oftmals kapitalintensive Netzausbaumaßnahmen verschoben oder sogar vermieden werden. Regelbare Photovoltaiksysteme können beispielsweise durch die Bereitstellung von Netzdienstleistungen die Aufnahmefähigkeit von Verteilnetzen erhöhen und so einen wichtigen Beitrag zum sicheren und zuverlässigen Netzbetrieb leisten. Am Fraunhofer IWES werden deshalb die Regelungspotenziale von Photovoltaik- und Photovoltaik-Batterie-Systemen im Verteilnetzbetrieb systematisch untersucht. In Abstimmung mit Herstellern, Netzbetreibern, Regulatoren und Prüfinstituten ermitteln wir neue Anforderungen für dezentrale Stromerzeuger.

Bioenergie bedarfsgerecht zur Verfügung stellen

Der Bioenergie, als speicherbare Form der erneuerbaren Energien, kommt in zukünftigen Energieversorgungsstrukturen eine besondere Rolle zu. Sie kann besonders in elektrischen Netzen als bedarfsgerecht einsetzbare Energieform dazu beitragen, den Ausgleich zwischen Angebot und Bedarf herzustellen. Das Fraunhofer IWES leistet mit systemischer Forschung wichtige Beiträge zur Integration von allen Formen der Bioenergie, von der direkten Verstromung über die kombinierte Bereitstellung von Wärme bis hin zur Produktion von Erdgassubstituten und Kraftstoffen. Bei der Ausrichtung der Technologien gilt es,

nachhaltige Konzepte zu entwickeln, bei denen Bioenergie mit höchster Effizienz unter Ausnutzung ihrer spezifischen Eigenschaften eingesetzt wird. Denn Biomasse kann weder für die Gesamtheit der Anwendungen noch für eine einzelne Form den Bedarf decken. Es muss auch darauf geachtet werden, dass die Technologien einen gleitenden Übergang von der heutigen fossil dominierten Energieversorgung über ein Mischsystem hin zu einer regenerativen Vollversorgung ermöglichen.

Langzeitspeicherung: Kopplung von Strom- und Gasnetz

Für den kurzzeitigen Ausgleich bilden Pumpspeicherkraftwerke eine gute Lösung, deren Kapazität in Deutschland jedoch begrenzt ist. Möglichkeiten des Lastmanagements können bei kurzzeitigen Fluktuationen lediglich unterstützend wirken. Für die Langzeitspeicherung forscht das Fraunhofer IWES mit Partnern an dem Konzept Power-to-Gas. Das bedeutet, dass in Zeiten mit regenerativen Überschussstrom Wasser mit Elektrolyseuren in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten wird. Anschließend wird aus Wasserstoff und CO₂ im Sabatierprozess ein methanreiches Gas hergestellt, welches herkömmlichem Erdgas entspricht. Dieses kann in das bestehende Erdgasnetz eingespeist werden, das über etwa die 3000-fache Speicherkapazität der deutschen Pumpspeicherkraftwerke verfügt. Bei Bedarf kann das eingespeicherte Gas z. B. in Gaskraftwerken rückverstromt werden und so Lücken der regenerativen Erzeugung von bis zu zwei Monaten schließen und gesicherte Leistung regenerativ bereitstellen. Auch in der Dekarbonisierung des Verkehrs spielt das erneuerbare Gas eine wichtige Rolle.

Elektromobilität mit erneuerbaren Energien

Erneuerbare Energien und Elektromobilität sind die Zukunft des Individualverkehrs. Das Fraunhofer IWES arbeitet an modernen Konzepten und deren Integration in zukünftige Energieversorgungsstrukturen. Es entwickelt bidirektionale Energieübertragungssysteme für das induktive Laden, virtuelle Nachbildungen von Batterien, Strategien für die Infrastruktur und effiziente Energiemanagementkonzepte.

Kurzportrait



Ziele und Schwerpunkte

Die Forschungsgebiete des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES umfassen das gesamte Spektrum der Windenergie sowie die Integration der erneuerbaren Energien in Versorgungsstrukturen.

Forschungsschwerpunkte sind:

- Technik und Betriebsführung von Windenergieanlagen und -parks
- Dynamik von Windenergieanlagen und Komponenten
- Komponentenentwicklung Rotor, Antriebsstrang und Gründung
- Test- und Bewertungsverfahren für Anlagen und Komponenten
- Umweltanalytik Wind, See und Boden für die Wind- und Meeresenergienutzung
- Regelung und Systemintegration dezentraler Energiewandler und Speicher
- Energiemanagement und Netzbetrieb
- Energieversorgungsstrukturen und Systemanalyse

Entwicklung

Das Institut konnte seinen Wachstumskurs auch im Jahr 2012 fortsetzen und die Erträge auf 32,5 Mio Euro steigern. Davon wurden 5 Mio Euro in den Ausbau der Infrastruktur investiert. Der Anteil der Wirtschaftserträge stieg von 4,8 auf knapp 6 Mio Euro. Die Mitarbeiterzahl stieg um gut 100 auf rund 480 Personen.

Die Institutsleitung ist in Kooperation mit der Fraunhofer-Gesellschaft an Professuren der Universitäten in Hannover und Kassel gekoppelt. Der Institutsteil IWES Nordwest wird von Prof. Dr. Andreas Reuter geleitet, der gleichzeitig die Professur für Windenergietechnik an der Universität Hannover inne hat. Den Kasseler Institutsteil leitet seit dem 1. Oktober 2012 Prof. Dr. Clemens Hoffmann, der parallel mit einer Professur an der Universität Kassel vertreten ist. Er folgt Prof. Dr. Jürgen Schmid, der seit 1998 Vorstandsvorsitzender des ISET und seit der Aufnahme in die Fraunhofer-Gesellschaft in 2009 Institutsleiter des IWES in Kassel war. Für seine »besonderen Verdienste im kulturellen und wissenschaftlichen Leben des Landes Hessen« verlieh die hessische Ministerin für Wissenschaft und Kunst, Eva Kühne-Hörmann, Schmid die Goethe-Plakette, die höchste Auszeichnung des hessischen Wissenschaftsministeriums. Der Fraunhofer-Vorstand zeichnete ihn mit der Fraunhofer-Medaille, der höchsten Auszeichnung der Fraunhofer-Gesellschaft, aus.

Das Fraunhofer IWES wurde zum Jahresbeginn 2009 gegründet und ist aus dem ehemaligen Fraunhofer-Center für Windenergie und Meerestechnik CWMT in Bremerhaven sowie dem Institut für Solare Energieversorgungstechnik ISET e.V. in Kassel hervorgegangen.

Kooperationen

Das Fraunhofer IWES arbeitet sehr intensiv mit den im ForWind-Verbund organisierten Universitäten in Hannover, Oldenburg und Bremen zusammen. Beide Partner bilden mit der DLR den Forschungsverbund Windenergie. Weitere intensive Kooperationen bestehen mit der Universität in Kassel. Darüber hinaus wurden die Kontakte zur Hochschule Bremerhaven sowie anderen Hochschulen festigt.

Das Hessische Biogas-Forschungszentrum (HBFZ) auf dem Landwirtschaftszentrum Eichhof in Bad Hersfeld, wird gemeinsam vom Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen und dem Fraunhofer IWES betrieben. Innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft werden ergänzende Kompetenzen und Erfahrungen der Partnerinstitute insbesondere über die Fraunhofer-Allianz Energie und die Fraunhofer-Netzwerke Windenergie sowie Intelligente Energienetze erschlossen. Auf nationaler und internationaler Ebene arbeitet das Institut mit zahlreichen öffentlichen und industriellen Forschungseinrichtungen erfolgreich zusammen. Die Anwendungsnähe des Fraunhofer IWES dokumentiert sich u. a. in der großen Zahl von Projektkooperationen mit der Industrie und direkten Aufträgen von Unternehmen.

Die Forschungsergebnisse fließen über die Mitarbeit zahlreicher Wissenschaftler des Instituts in nationalen und internationalen Gremien wie DKE, CENELEC und IEC in die Standardisierung und Normung ein. Als fachlicher Berater bringt das Fraunhofer IWES sein Know-how auch in politische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen ein. Beispielsweise in die Gestaltung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes, die Erschließung der Offshore-Windenergienutzung, die Entwicklung zukünftiger Energieversorgungsstrukturen sowie in die Arbeit des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU).

Professuren mit komplementären Abteilungen im IWES

Prof. Dr.-Ing. Martin Braun	Universität Kassel
Prof. Dr.-Ing. habil. Siegfried Heier	Universität Kassel
Prof. Dr.-Ing. habil. Lutz Hofmann	Leibniz Universität Hannover
Prof. Dr.-Ing. Friedrich Klinger	Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes
Prof. Dr.-Ing. Axel Mertens	Leibniz Universität Hannover
Prof. Dr. rer. nat. Joachim Peinke	Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Prof. Dr.-Ing. Bernd Ponick	Leibniz Universität Hannover
Prof. Dr.-Ing. habil. Raimund Rolfes	Leibniz Universität Hannover
Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann	Leibniz Universität Hannover

1 *Neubau eines Institutsgebäudes und Erweiterung des Rotorblattprüfzentrums am Standort Bremerhaven*

2 *Hauptgebäude am Standort Kassel*

Testzentren und Labore



Testzentrum Tragstrukturen

Das Fraunhofer IWES bietet in Kooperation mit der Leibniz Universität Hannover und dem Zentrum für Windenergieforschung ForWind eine auf den Bedarf der Industrie zugeschnittene Testumgebung für die Prüfung von Tragstrukturen im Großmaßstab an. Das Testzentrum Tragstrukturen leistet einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung und Optimierung von stand sichereren Tragstrukturdesigns, erhöhter Anlagenverfügbarkeit und der Entwicklung umweltschonender Bauverfahrenstechnik. Ab 2014 können dort alle Typen von Tragstrukturen getestet werden. Kern des Testzentrums bilden zwei Großversuchseinrichtungen: In einer Grundbauversuchsgrube können Trag- bzw. Gründungsstrukturen und zugehörige Bauverfahrenstechniken der Offshore-Installation im Maßstab 1:10 und größer untersucht und bewertet werden. Auf dem Spannungsfeld können Tragstrukturen im großen Maßstab (bis 1:5) oder Großkomponenten mehraxial belastet werden, um das Ermüdungsverhalten zu prüfen. Die Umsetzung hoher Lastzyklenzahlen ermöglicht eine leistungsfähige Resonanzprüfmaschine. Zur Durchführung vorbereitender Arbeiten und begleitender Untersuchungen verfügt das Testzentrum über Speziallabore für Messtechnik, Stahl und Beton sowie für bodenmechanische Versuche. Des Weiteren stehen ein Autoklav zur Herstellung von Faserverbundwerkstoffen und eine Salzsprühkammer mit Meeresklima zur Verfügung.

↳ Dr.-Ing. Holger Huhn, holger.huhn@iwes.fraunhofer.de

Offshore-Auslagerungsstandorte und Simulation in der Klimakammer

Das Lastkollektiv an einem Offshore-Standort unterscheidet sich erheblich von den zurzeit existierenden Laborprüfverfahren für allgemeine Umweltsimulation. Offshore-Materialien sind extremen Bedingungen wie Temperaturschwankungen, erhöhter UV-Strahlung, Salzwasserbelastung, korrosiver Atmosphäre, Biofouling und mechanischer Belastung ausgesetzt. An vier Auslagerungsstandorten – Wilhelmshaven, Sylt, Helgoland sowie im Weser-Mündungsbereich – werden Materialien und Komponenten unter Offshore-Bedingungen getestet, um neue Erkenntnisse zur Langzeitstabilität von Korrosionsschutz- und Sensorsystemen zu gewinnen. Die Ergebnisse werden für eine Validierung und Verbesserung neu entwickelter Laborprüfverfahren eingesetzt. Auf dieser Basis modifizierte Labor-Materialtests, die die echten Belastungen nachbilden und steigern, führen in verkürzten Zeiträumen zu belastbaren Aussagen. Diese fließen wiederum in allgemeine Prüfstandards für Offshore-Materialien und Komponenten ein. Neue Methoden zur Materialprüfung werden für konkrete Aufgabenstellungen entwickelt.

↳ Dipl.-Chem. Oliver Kranz, oliver.kranz@iwes.fraunhofer.de

Das Fraunhofer IWES hat eine spezielle Offshore-Testkammer entwickelt, die erstmals mechanische und klimatische Verhältnisse an Windenergieanlagen zeitgleich simuliert. Auf diese Weise werden die im Offshore-Betrieb auftretenden Lasten realistisch nachgebildet. Des Weiteren können in einer HALT-HASS-Testkammer elektrische Komponenten unter extremsten Bedingungen getestet werden. Diese Testmethoden erlauben Rückschlüsse auf die Zuverlässigkeit der getesteten Systeme und auf ihre Lebensdauer. Die Erkenntnisse zu den Mechanismen des Materialversagens werden genutzt, um Tests unter Laborbedingungen realitätsnah auszulegen. Der Kunde profitiert von einer zeitraffenden Prüfung und der exakten Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

↳ Dr.-Ing. Claus Kupferschmidt
claus.kupferschmidt@iwes.fraunhofer.de

Rotorblattprüfzentrum

Ganzblattprüfung

Das Fraunhofer IWES bietet statische und zyklische Ganzblatttests an und entwickelt die Testverfahren kontinuierlich weiter. Zielsetzung ist dabei die beschleunigte Durchführung mit einer verbesserten Abbildung der komplexen realen Betriebslasten. Hierzu gehört auch der Einsatz von neuen Methoden der zerstörungsfreien Prüfung. Im Zuge der Tests wird experimentell überprüft, ob die Rotorblätter den Belastungen über die gewünschte Lebensdauer standhalten. Die Kraftaufbringung erfolgt hydraulisch und erlaubt eine sehr kontrollierte Belastung.

↳ Dipl.-Ing. Falko Bürkner, falko.buerkner@iwes.fraunhofer.de

Komponentenprüfung

Neben der Ganzblattprüfung liefert die Komponentenprüfung wesentliche Kennwerte für die Entwicklung von Rotorblättern. Es können Blattdetails wie z.B. »PlyDrops« oder Klebnähte an strukturellen Prüflingen mit realistischen Dimensionen nachgewiesen werden. Aufspannfelder mit einer Abmessung von 12x3 Metern sowie entsprechende Aufspannwinkel für vielfältige Prüfaufgaben an Komponenten gehören zur Infrastruktur. Die Prüflinge können mit einer leistungsfähigen Hydraulik belastet werden. Zur Beurteilung der Tests werden auch Thermographie, Ultraschall oder Acoustic Emission eingesetzt und von numerischen Struktur- und Detailmodellen begleitet, so dass beispielsweise die Schädigungsentwicklung in der Endkantenverklebung dargestellt werden kann.

↳ Dipl.-Ing. Florian Sayer, florian.sayer@iwes.fraunhofer.de

Materialprüfung

Grundlage für das strukturelle Rotorblattdesign sind Materialkennwerte, die in aufwändigen Coupon-Prüfungen ermittelt werden. Insbesondere das statische Materialverhalten sowie das Ermüdungsverhalten sind dabei von grundlegendem Interesse. Bestandteil unserer Forschungsarbeiten ist die Weiterentwicklung der bestehenden Prüfverfahren. Die Ergebnisse fließen in unsere Prüfmethodik mit ein.

↳ Dipl.-Ing. Florian Sayer, florian.sayer@iwes.fraunhofer.de

DyNaLab: Dynamic Nacelle Laboratory

Das Fraunhofer IWES beschäftigt sich im Rahmen des öffentlich geförderten Forschungsvorhabens DyNaLab mit einem großtechnischen Prüfstand für komplette Gondeln von Windenergieanlagen. Mit dem DyNaLab wird 2014 erstmals in Deutschland ein solches realitätsnahes Testumfeld im Multimegawattbereich allen Anlagenherstellern zugänglich sein und aussagefähige Labortests zur Beurteilung und Optimierung von bestehenden und zukünftigen Anlagenkonzepten ermöglichen. Die technischen Anforderungen an diese Test- und Experimentierplattform wurden in enger Zusammenarbeit mit der Windenergiebranche sowie Forschungs- und Entwicklungspartnern definiert.

Der Gondelprüfstand mit einer geplanten Antriebsleistung von ca. 10 MW wird mit zusätzlichen Einrichtungen für die Simulation verschiedener Netzzustände zur Nachbildung von »Fault Ride Through«(FRT)-Szenarien und Kompatibilitätsprüfungen mit den unterschiedlichen »Grid Codes« ausgestattet. Seine konsequente Auslegung für Hardware-in-the-Loop-Betrieb soll zum einen die realitätsnahe Simulation von Schnittlasten an der Rotorwelle und zum anderen die Nachbildung der Verhältnisse am Netzeinspeisepunkt ermöglichen. Die Sollwertvorgaben für die Prüfstandsregelung werden mit Hilfe von Anlagen- und Windsimulationsmodellen in Echtzeit berechnet. Nach Inbetriebnahme bietet das DyNaLab zukünftig die Möglichkeiten, neue und bereits bekannte regelungstechnische Konzepte zur Lastkollektivreduktion realitätsnah im Labor, zusammen mit den Herstellern und direkt an den Anlagen zu erproben und zu optimieren.

↳ Dr.-Ing. Jan Wenske, jan.wenske@iwes.fraunhofer.de

↳ Dipl.-Ing. Martin Pilas, martin.pilas@iwes.fraunhofer.de



Funktionstestfeld für Kleinwindanlagen

Das Fraunhofer IWES hat zwei Funktionstestfelder für kleine Windenergieanlagen eingerichtet: In Bremerhaven in direkter Nachbarschaft zum Engineering-Gebäude und den Rotorblatttesthallen sowie auf dem SysTec-Gelände in unmittelbarer Nähe von Kassel. Erfolgreiche Kleinwindprojekte erfordern ein robustes, kostengünstiges Anlagendesign und eine bestmögliche Betriebsführung. Ziel ist es daher, Prototypen sowie kommerzielle Anlagen in Langzeitversuchen zu optimieren, um eine anschließende Zertifizierung vorzubereiten. Die Testinfrastruktur ermöglicht den Betrieb von kleinen Windenergieanlagen im Leistungsbereich bis 50 kW und mit einer Gesamthöhe bis 60 Meter.

↳ Dr.-Ing. Jan Wenske, jan.wenske@iwes.fraunhofer.de
↳ Paul Kühn, paul.kuehn@iwes.fraunhofer.de

Labor für Regelungssysteme großer Windenergieanlagen

Zur Entwicklung lastreduzierender Regelungssysteme steht eine Entwicklungsumgebung für Blattverstellungssysteme großer Windenergieanlagen zur Verfügung. Der Teststand erlaubt die realistische Untersuchung von drei wechselwirkenden geregelten Pitchantrieben zur individuellen Blattverstellung. Wirklichkeitsnahe Gegenmomente werden durch Echtzeitsimulationen großer Windenergieanlagen unter Verwendung synthetisierter inhomogener und turbulenter Windfelder erzeugt. Weiterhin steht ein Teststand zur Untersuchung antagonistisch geregelter Pitchantriebe zur Verfügung, die eine besonders lastarme Blattverstellung erlauben.

↳ Martin Shan, martin.shan@iwes.fraunhofer.de

Windmessnetz und 200-Meter-Messmast

Das Fraunhofer IWES betreibt seit 1990 ein deutschlandweites repräsentatives Windmessnetz an derzeit 30 Standorten. Alle Messstationen befinden sich in der Umgebung von Windparks und sind mit MEASNET-kalibrierten Anemometern ausgerüstet. Neben den 30 Meter hohen Masten (Windmessung in 10 Meter und 30 Meter) sind auch vier 50-m-Masten errichtet worden, mit denen neben den Windverhältnissen weitere meteorologische Größen erfasst werden. Die Messdaten werden mit einer Abtastrate von 1 Hz erfasst und als 5-min-Datensätze stündlich an die Datenzentrale übermittelt. Zusätzlich betreibt das Institut vier mobile LIDAR-Messgeräte, die deutschlandweit im Einsatz sind. Anfang 2012 wurde zudem ein 200 Meter hoher Forschungs-Windmessmast an einem komplex strukturierten, bewaldeten Standort in der Nähe von Kassel in Betrieb genommen. Die dort gewonnenen Messdaten geben Aufschluss über die Windbedingungen in großen Höhen.

↳ Paul Kühn, paul.kuehn@iwes.fraunhofer.de

High Performance Rechencluster

Für äußerst rechenintensive Aufgabenstellungen steht ein High Performance Rechencluster mit 320 Rechenkernen und einem Arbeitsspeicher von 2,5 TB zur Verfügung. Damit lassen sich umfangreiche, zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Szenarien zukünftiger Energieversorgungsstrukturen simulieren. Eine Simulationsumgebung bildet die gesamte Stromversorgung (Erzeugung, Speicher, Netze, Verbrauch) ab. Für die erneuerbaren Erzeuger werden für Europa dynamische Zubauproduktionen auf Basis räumlich hoch aufgelöster Eignungs- und Potentialanalysen berechnet und die zeitlichen Einspeiseprofile mit einer Auflösung von mindestens 15 min simuliert.

↳ Michael Scheibe, michael.scheibe@iwes.fraunhofer.de

IWES-SysTec: Testzentrum für intelligente Netze und Elektromobilität

Das Fraunhofer Testzentrum für Intelligente Netze und Elektromobilität IWES-SysTec konnte 2011 in Betrieb gehen. Es setzt sich zusammen aus:

- Outdoor-Testfeldern für Photovoltaiksysteme
- Forschungs- und Prüflabor Netzintegration PNI
- Test- und Prüfzentrum für Elektromobilität TPE

↳ Dr. rer. nat Thomas Degner, thomas.degner@iwes.fraunhofer.de

Outdoor-Testfelder für Photovoltaiksysteme

In den Outdoor-Testfeldern für Photovoltaik-Systeme werden einzelne Module und Gesamtsysteme über längere Zeiträume nach europaweit abgestimmten Richtlinien für viele Hersteller vermessen. Kassel ist ein wichtiger Referenzstandort in den von DERlab e.V. europaweit angebotenen Messungen nach einheitlichem Verfahren.

↳ Peter Funtan, peter.funtan@iwes.fraunhofer.de

IWES-PNI: Forschungs- und Prüflabor zur Netzintegration

Das PNI ist ein Referenzlabor, in dem Netzkomponenten und Netzbetriebsmittel hinsichtlich neuer System-Funktionen realitätsnah entwickelt und geprüft werden können. Schwerpunkt sind die Netzschnittstellen von Speichern, Generatoren, Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, regelbaren Verbrauchern, Elektrofahrzeugen und regelbaren Transformatoren. Die Infrastruktur erlaubt Untersuchungen im Nieder- und Mittelspannungsnetz im Leistungsbereich bis zu 6 MVA. Das Labor ermöglicht insbesondere den Nachweis des Verhaltens der Geräte und Betriebsmittel bei unterschiedlichen Netzbedingungen, besonders zu den Aspekten: statische Spannungsstützung, Spannungshaltung, dynamische Spannungsstützung, Einspeise- und Lastmanagement, Frequenzstützung, abgestimmtes Regelverhalten.

↳ Dr.-Ing. Gunter Arnold, gunter.arnold@iwes.fraunhofer.de

IWES-TPE: Test- und Prüfzentrum Elektromobilität

Hier werden gemeinsam mit Partnern aus der Industrie und dem Forschungsverbund Fahrzeugsystemtechnik der Universität Kassel Elektrofahrzeuge, Batterien und Ladesysteme sowie deren Netzeinbindung entwickelt und getestet. Auf einem Rollenprüfstand können mit Hilfe von hochpräzisen Batteriesimulatoren (virtuelle Batterien) Fahrzeuge und Batterielayout im definierten Fahrbetrieb aufeinander abgestimmt werden. Das induktive Laden wird auf Stromparkplätzen und auf einer Teststrecke weiterentwickelt. Netzsimulatoren helfen die Ladestationen und die entsprechende Stromrichtertechnik weiterzuentwickeln und für die neuen Anforderungen sog. intelligenter Netzstrukturen (Smart Grids) zu optimieren.

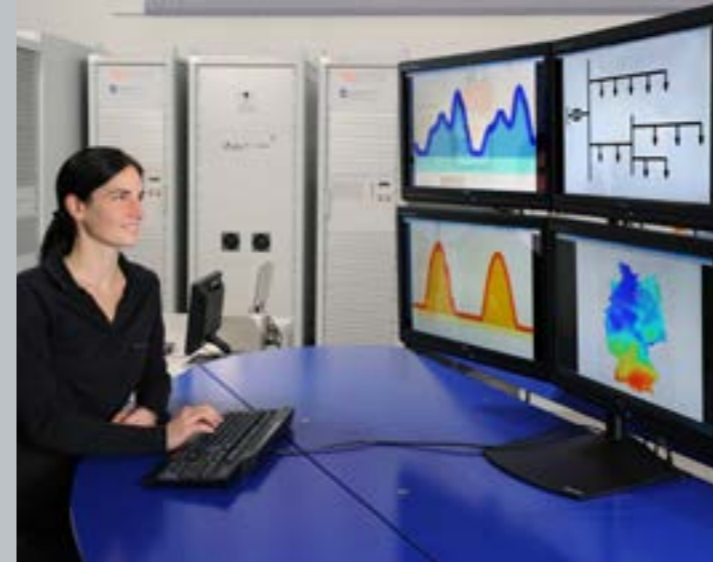
↳ Markus Landau, markus.landau@iwes.fraunhofer.de

DERlab: European Distributed Energy Resources Laboratories

Unter Federführung des Fraunhofer IWES wurde der gemeinnützige internationale Verein DERlab mit dem Sitz am Fraunhofer IWES in Kassel gegründet. Mitglieder des DERlab e.V. sind über 20 führende Forschungs- und Testinstitute, die gemeinsam Kriterien für den Betrieb dezentraler Stromerzeuger am Netz entwickeln und daraus Prüfverfahren und Normen ableiten. Die Laborinfrastruktur wird in aufeinander abgestimmter Weise ausgebaut und kann sich so gegenseitig ergänzen. Im Rahmen von europäischen Forschungsprojekten bietet DERlab die Möglichkeit, die Infrastruktur für Forschungszwecke teilweise kostenlos zu nutzen. Die Industrie kann Angebote des Vereins für normkonforme Prüfungen, z. B. zur Netzintegration, wahrnehmen.

↳ www.der-lab.net

↳ Dr.-Ing. Philipp Strauß, philipp.strauss@iwes.fraunhofer.de



HBFZ: Hessisches Biogas-Forschungszentrum

Das HBFZ ist durch die Kooperation des Fraunhofer IWES mit dem Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH) und dem Landesbetrieb Hessisches Landeslabor (LHL) auf dem Landwirtschaftszentrum Eichhof bei Bad Hersfeld entstanden. Vom Laborversuch bis zur Pilotanlage ist die gesamte Prozesskette von der Biomasseproduktion bis hin zur Netzintegration darstellbar. Für Demonstrations- und Pilotversuche steht eine Versuchsbiogasanlage mit einer Rohgaskapazität von bis zu 50 m³/h zur Verfügung. Bis zu sechs Container mit Forschungsaufbauten können versorgt werden. Es sind Experimente zur bedarfsgerechten Verstromung von Biogas, zur Biomasseaufbereitung und Gärrestbehandlung sowie zur thermischen Biogasnutzung, -aufbereitung und -einspeisung möglich. Für die Power-to-Gas-Forschung wurde eine Infrastruktur zur Durchführung von Experimenten mit Realgas geschaffen. Des Weiteren sind Labore zur Untersuchung biologischer, chemischer und physikalischer Parameter vorhanden.

Technikum Bioenergie-Systemtechnik

Das Technikum Bioenergie-Systemtechnik des IWES bietet eine Forschungsinfrastruktur für Projekte rund um das Thema der Integration von Bioenergie in Energieversorgungsstrukturen. Durch seine Einbettung in das HBFZ können hier Forschungsprojekte durchgeführt werden, die das gesamte Spektrum einer landwirtschaftlichen Bioenergieversorgung vom Acker bis zur Steckdose abdecken können. Die technische Ausstattung erlaubt Experimente mit Realgas in verschiedenen Größenstufen, vom Reagenzglas bis zur Großanlage.

↳ Dr.-Ing. Bernd Krautkremer,
bernd.krautkremer@iwes.fraunhofer.de

Testplattform Power-to-Gas

Power-to-Gas ist der Oberbegriff für eine neue Technologie, mit der eine nachhaltige, CO₂-neutrale Speicherung und der Transport regenerativer Energie in Form von Wasserstoff oder Methan möglich ist. Hierbei wird regenerativ erzeugter Strom mit Hilfe der Wasserelektrolyse zunächst in Wasserstoff umgewandelt. Der Wasserstoff kann direkt oder über den weiteren Schritt der Methanisierung als synthetisches Erdgas in das Erdgasnetz eingespeist oder anderweitig zwischengespeichert werden. Da für die Methanisierung vorzugsweise CO₂ aus einer biogenen Quelle verwendet wird, bieten sich Synergien zur Biogastechnologie. Daher wurde am Standort Eichhof im Technikum Bioenergie-Systemtechnik eine Forschungsplattform aufgebaut, die die Forschung zu diesem Thema unter den realen Bedingungen einer landwirtschaftlichen Biogasanlage ermöglicht. Die Plattform bietet eine technische Infrastruktur, mit einer Rohgaskonditionierung, verschiedenen Entschweflungsverfahren sowie verschiedenen Speicher- und Verwertungsmöglichkeiten für das Produktgas, die eine effektive Forschung unter Realbedingungen bis zum technisch relevanten Maßstab sicher stellen. Ein erstes Projekt zur direkten Methanisierung von Biogas wurde bereits erfolgreich umgesetzt.

↳ Frank Schünemeyer, frank.schuenemeyer@iwes.fraunhofer.de

DeMoTec: Design-Zentrum Modulare Versorgungstechnik

Das DeMoTec wird gemeinsam mit der Universität Kassel betrieben. Hier werden dezentrale Stromerzeuger, Speicher und Lasten sowie neuartige Energiemanagementsysteme entwickelt und getestet. Eine besondere Rolle spielt die Netzintegration von Stromrichtern und der Aufbau von Hybridsystemen und Inselnetzen. Die Regelungstechnik für dezentrale Netzdienstleistungen kann hier im Zusammenwirken der dezentralen Generatoren im realen Maßstab untersucht werden. Insbesondere Systeme für die netzferne Elektrifizierung im ländlichen Raum und auf Inseln werden hier technisch optimiert und für Schulungen verwendet. Eine reproduzierbar definierte Hardware-Simulation eines 90-kVA-Netzanschlusses und eine regelbare Gleichstromquelle erlauben akkreditierte Prüfungen von Netzstromrichtern und die Bewertung von PV-Stromrichtern z. B. bezüglich des MPP-Trackingverhaltens.

↳ Markus Landau, markus.landau@iwes.fraunhofer.de

Akkreditierte Prüflabore für elektromagnetische Verträglichkeit und Stromrichter

Das Fraunhofer IWES untersucht in seinem nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditierten Labor elektromagnetische Störaussendungen und Störfestigkeiten sowie die Netzeigenschaften und Wirkungsgrade von Stromrichtern und dezentralen Erzeugungsanlagen. Der Scoperahmen der Akkreditierung beinhaltet neben den klassischen EMV-Prüfnormen auch beispielsweise BDEW-Prüfungen, FGW-TR3 und DIN EN 50530. Auch entwicklungsbegleitende Tests für die Qualifizierung von Fertigeräten und Komponenten, insbesondere Stromrichtern, werden angeboten.

↳ Jörg Kirchhof, joerg.kirchhof@iwes.fraunhofer.de

Entwicklungslabore für Stromrichter

Für die Entwicklung von Stromrichtern für Windkraftanlagen, Batteriesysteme und andere dezentrale Stromerzeuger stehen mehrere Labore für die Schaltungsentwicklung, für Mikroprozessor- und geräteorientierte Softwaretechnik sowie für Steuerungen Hardware-in-the-Loop- bzw. Rapid-Prototyping-Verfahren zur Verfügung. Die Zuverlässigkeit von Geräten kann in Klimakammern und thermographisch getestet werden.

↳ Dr.-Ing. Norbert Henze, norbert.henze@iwes.fraunhofer.de

Batterielabore

Die Infrastruktur zum Test elektrochemischer Systeme umfasst automatisierte Lade- und Entladeeinrichtungen, Klimakammern und die notwendige Mess- und Sicherheitstechnik. Außerdem steht ein Labor zur Untersuchung von Brennstoffzellensystemen zur Verfügung. Ergänzt werden diese Einrichtungen durch eine Entwicklungsumgebung für virtuelle und multivirtuelle elektrochemische Systeme wie virtuelle Starterbatterien oder virtuelle Lithium-Ionen-Zellen.

↳ Matthias Puchta, matthias.puchta@iwes.fraunhofer.de

Kompetenzzentrum Rotorblatt

- ▶ Neue Rotorblattkonzepte ▶ Faserverbundfertigung
 - ▶ Material-, Komponenten- und Ganzblattprüfung
 - ▶ Simulatorische Detailnachweise
- Dipl.-Ing. Florian Sayer
florian.sayer@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 471 14 290-329

Antriebs- und Systemtechnik

- ▶ Dynamische Belastungsanalyse und experimentelle Betriebsfestigkeitsnachweise ▶ WEA-Generatorauslegung/Optimierung
 - ▶ Modellbasierte, sensorlose Antriebsregelungen ▶ Root Cause und Zuverlässigkeitsanalyse elektr. und mech. Systeme
 - ▶ Predictive Maintenance und Condition Monitoring
- Dr.-Ing. Jan Wenske
jan.wenske@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 471 14 290-400

Tragstrukturen

- ▶ Testsysteme und Testeinrichtungen ▶ Numerische Modellierung und Simulation ▶ Consulting und Tragstrukturdesign
 - ▶ Messsysteme ▶ Prototypen/Demonstratoren ▶ HALT/HASS-Prüfsystem ▶ Korrosionsschutzsysteme ▶ Auslagerungen
 - ▶ Umweltlasten ▶ Schadensursachenforschung
- Dr.-Ing. Holger Huhn
holger.huhn@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 511 7621-7671
Prof. Dr.-Ing. habil. Raimund Rolfes
r.rolfes@isd.uni-hannover.de
Telefon +49 511 762-3867
Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann
schaumann@stahl.uni-hannover.de
Telefon +49 511 762-3781

Windparkplanung und -betrieb

- ▶ Zuverlässigkeit und Instandhaltungsstrategien
 - ▶ Windleistungsprognose und -charakterisierung
 - ▶ Onshore-Standortbewertung ▶ Offshore-Standortbewertung Wind und See ▶ Offshore-Standortbewertung Baugrund
- Dr. rer. nat. Bernhard Lange
bernhard.lange@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 471 14 290-350
Telefon +49 561 7294-258

Anlagensimulation, Softwareentwicklung und Aerodynamik

- ▶ Anlagenregelung ▶ Ganzheitliche Simulationsplattform
 - ▶ Beratung in der Anlagenauslegung ▶ Softwareentwicklung für die Simulation ▶ Windphysik ▶ Strömungsmodellierung (CFD) ▶ Systemdynamik ▶ Stochastik
- Dr. rer. nat. Bernhard Stoevesandt
bernhard.stoevesandt@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 441 798-5011
Dipl.-Ing. Fabian Vorpahl
fabian.vorpahl@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 471 14290-370

Regelungstechnik

- ▶ Windturbinenregelung und Fehlerfrüherkennung
 - ▶ Parkregelung und Echtzeitsimulatoren
- Dipl.-Ing. Peter Caselitz
peter.caselitz@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 561 7294-332
Dipl.-Ing. Martin Shan
martin.shan@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 561 7294-364

Anlagen- und Messtechnik Photovoltaiksysteme

- ▶ PV-Systeme und Messtechnik ▶ PV-Gebäudeintegration
- ▶ Elektromagnetische Verträglichkeit

Dr.-Ing. Norbert Henze
norbert.henze@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 561 7294-219

Stromrichtertechnik

- ▶ Stromrichterregelung ▶ Leistungselektronik

Prof. Dr.-Ing. Axel Mertens
Telefon +49 561 7294-243
Dipl.-Ing. Marco Jung
marco.jung@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 561 7294-112

Generatoren und Antriebe

- ▶ Elektromobilität ▶ Elektrische Maschinen

Prof. Dr.-Ing. Bernd Ponick
Telefon +49 561 7294-243
Prof. Dr.-Ing. habil. Siegfried Heier
Telefon +49 561 7294-243
Dipl.-Ing. Markus Landau
markus.landau@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 561 7294-228

Netztechnik und Integration

- ▶ Netzqualität und Netzanschluss ▶ Netzregelung und Netz-
dynamik ▶ Schutz- und Leittechnik ▶ Ländliche Elektrifizierung
und Hybridsysteme

Dr. rer. nat. Thomas Degner
thomas.degner@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 561 7294-232

Verteilungsnetze

- ▶ Betrieb und Planung ▶ Hybridnetze ▶ Multisparten Speicher-
systeme ▶ Aggregierte Betriebsführung

Prof. Dr.-Ing. Martin Braun
martin.braun@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 561 7294-118

Last- und Erzeugungsmanagement

- ▶ Softwareentwicklung ▶ Energiemanagement-Anwendungen

Dr.-Ing. David Nestle
david.nestle@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 561 7294-234

Übertragungsnetze

- ▶ Netz-/Systemführung auf Hoch-/Höchstspannungsebene

Prof. Dr.-Ing. habil. Lutz Hofmann
lutz.hofmann@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 561 7294-446

Großräumige Energieverbünde

- ▶ zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Simulationen
- ▶ Lastflüsse ▶ Prognoseverfahren Solarenergieeinspeisung
- ▶ Aus- und Weiterbildung

Dr.-Ing. Stefan Bofinger
stefan.bofinger@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 561 7294-371

Regenerativkraftwerke

- ▶ Vermarktung und Einsatzplanung ▶ Gestaltung von
Förderinstrumenten ▶ Systemdienstleistungen

Dipl.-Ing. Florian Schlögl
florian.schloegl@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 561 7294-368

Energieinformatik und Informationssysteme

- ▶ Informationssysteme ▶ Energieinformatik ▶ Operativsysteme

Dr.-Ing. Reinhard Mackensen
reinhard.mackensen@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 561 7294-245

Energiewirtschaft und Systemanalyse

- ▶ Dynamische Simulation der Stromversorgung
- ▶ Szenarien zur Transformation der Energiesysteme
- ▶ Systemlösungen Kopplung von Strom- und Gasnetz

Dipl.-Ing. Norman Gerhardt
norman.gerhardt@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 561 7294-274

Bioenergie-Systemtechnik

- ▶ Bedarfsorientierte Energiebereitstellung
- ▶ Biogasanlagentechnologie ▶ Gasaufbereitung, -einspeisung
und -netze ▶ Nachhaltigkeit

Dr.-Ing. Bernd Krautkremer
bernd.krautkremer@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 561 7294-420

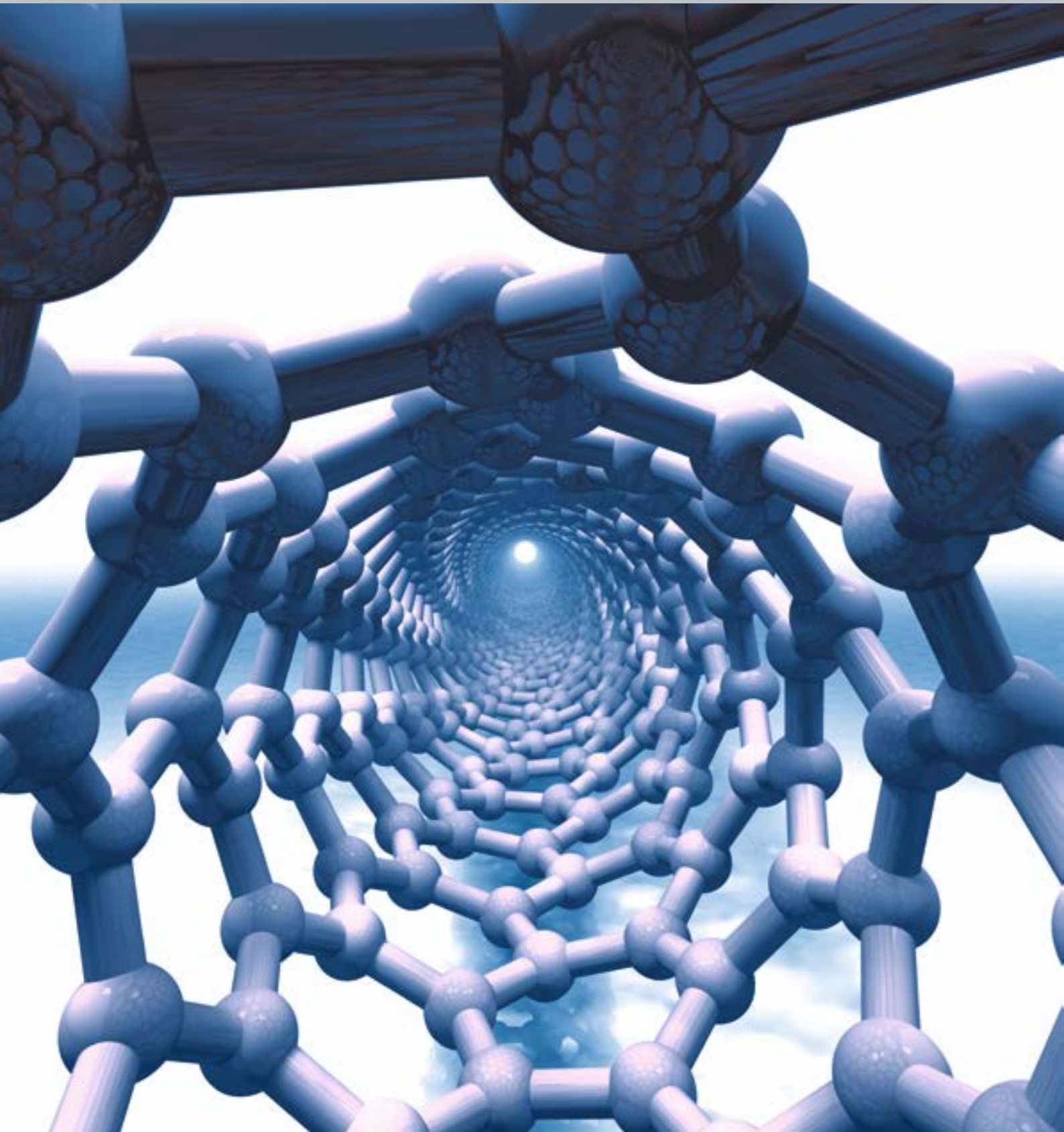
Energiewandler und -speicher

- ▶ Meeresströmungsturbinen ▶ Wellenenergiewandler
- ▶ Schwimmende Windenergieanlagen ▶ Energiespeicher

Dipl.-Ing. Peter Caselitz
peter.caselitz@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 561 7294-332
Dipl.-Phys. Jochen Bard
jochen.bard@iwes.fraunhofer.de
Telefon +49 561 7294-346

Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT AUF EINEN BLICK



Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 66 Institute und selbstständige Forschungseinrichtungen. Rund 22 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,9 Milliarden Euro. Davon fallen 1,6 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Niederlassungen sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

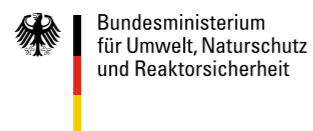
Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

www.fraunhofer.de

Kohlenstoff-Nanoröhren (Carbon-Nanotubes) zählen zu den Materialien des 21. Jahrhunderts. Nanotubes sind auch Forschungsgegenstand am Fraunhofer IWES, um ihre Eignung für den Leichtbau in Rotorblättern zu prüfen.
www.inno-cnt.de

Danksagung an die Förderer des Fraunhofer IWES



Bildnachweis

- 5 | 2 Grafik: Fraunhofer IWES |
3 fotolia (Marcus Klepper) | 4 fotolia (@nt) | 5 Holger Vonderlind, BMU |
6 Fraunhofer IWES (Volker Beushausen) | 7 Fraunhofer IWES | 8 istock
 - 7 | 1 Prof. Dr. Andreas Reuter (Foto: Martina Buchholz)
2 Prof. Dr. Clemens Hoffmann (Foto: Harald Soremsky)
 - 10 | Windpark (Foto: fotolia, Thomas Becker)
 - 12 | 1 Anlieferung eines Rotorblatts zum Testen
(Foto: Oliver Schultz, Fraunhofer IWES)
 - 13 | RANS-Simulation der Blattspitzenwirbel (Fraunhofer IWES)
Verschiffung von Tragstrukturen (Foto: Oliver Kranz)
 - 16 | Adobe Stock | 2 Adobe Stock
 - 17 | 1 Fraunhofer IWES (Volker Beushausen) | 2 Adobe Stock
 - 19 | 1 Engineering-Gebäude mit Labortrakt in Bremerhaven
(Photostudio Vonderlind)
 - 21 | 1 Ganzblattprüfung in der 90 Meter Testhalle (Foto: Dieter Hergeth)
2 Geplanter Gondelprüfstand mit einer Antriebsleistung von 10 MW
 - 22 | 1 Kleine Windenergieanlage (Foto: Fraunhofer IWES)
2 200-Meter-Messmast (Foto: Uta Werner, Fraunhofer IWES)
 - 23 | 1 IWES SysTec Testzentrum (Foto: Frank Hellwig)
2 Rollenprüfstand und virtuelle Batterie im IWES TPE
(Foto: Volker Beushausen)
 - 24 | 1 Forschungsbiogasanlage des IWES (Foto: Volker Beushausen)
2 Methanisierung: 250-Kilowatt-Forschungsanlage am ZSW (ZSW)
 - 25 | 1 Betriebsführung in Verteilungsnetzen (Foto: Volker Beushausen)
2 Inbetriebnahme eines PV-Wechselrichters in einer GTEM Messzelle
(Foto: Fraunhofer IWES)
 - 30 | Nanotubes (Foto: istock)
- Titel: Hintergrundbild: alpha ventus

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES

Am Seedeich 45, 27572 Bremerhaven
Telefon +49 471 14 290-100

Königstor 59, 34119 Kassel
Telefon +49 561 7294-0

info@iwes.fraunhofer.de
www.iwes.fraunhofer.de

Redaktion, Koordination, Grafik

Uwe Krengel, Britta Rollert, Tanja Ellinghaus
Uta Werner, Renate Rothkegel

Redaktionsschluss: 31.12.2012



MUSS KLAPPEN