



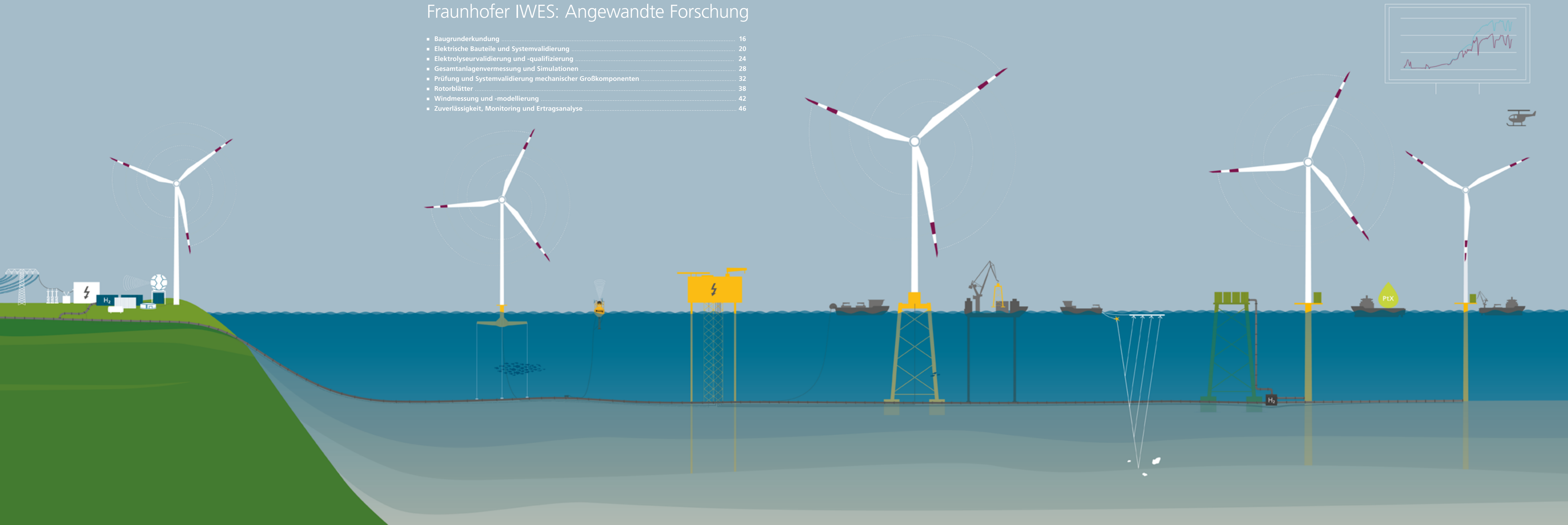
Windenergie und Wasserstoff

---

Angewandte Forschung  
für eine nachhaltige Zukunft

# Fraunhofer IWES: Angewandte Forschung

- Baugrunderkundung ..... 16
- Elektrische Bauteile und Systemvalidierung ..... 20
- Elektrolyseurvalidierung und -qualifizierung ..... 24
- Gesamtanlagenvermessung und Simulationen ..... 28
- Prüfung und Systemvalidierung mechanischer Großkomponenten ..... 32
- Rotorblätter ..... 38
- Windmessung und -modellierung ..... 42
- Zuverlässigkeit, Monitoring und Ertragsanalyse ..... 46





Das Leitungsteam (v. l. n. r.): Prof. Dr.-Ing. Jan Wenske, stellvertretender Institutsleiter und Chief Technology Officer, Jenny Kuball, Chief Financial Officer, Dr. Bernhard Lange, stellvertretender Institutsleiter und Chief Technology Officer, Prof. Dr.-Ing. Andreas Reuter, Institutsleiter und Christian Broer, Chief Operating Officer

## Liebe Leserinnen und Leser,

den Wind optimal zu nutzen, ist eine zukunftsweisende, aber auch komplexe Aufgabe. Im Fraunhofer IWES stellen Expertinnen und Experten aus verschiedensten Disziplinen ihr profundes Wissen in den Dienst der Verbesserung von Performance und Wirtschaftlichkeit. Unsere Kompetenzschwerpunkte Offshore, Wasserstoff, Prüfinfrastruktur und Digitalisierung eröffnen Kunden Möglichkeiten, gemeinsam tief in spezifische Fragestellungen einzutauchen. Dabei ist für uns das konkrete Interesse unserer Kunden das Maß der Dinge: Grenzen verschieben und technisch möglich machen, was sie voranbringt.

Unsere einzigartige Prüfinfrastruktur und Messtechnik wurde auf das rasante Größenwachstum in der Windbranche angepasst und um digitale Prüfmethode erweitert. Neue Messmethoden unterstützen die rasante Entwicklung der Offshore Windenergienutzung. Wir sind bereit, mit Ihnen unkonventionelle Lösungen zu entwickeln und die nächsten Schritte zu gehen. Von der Analyse der Windverhältnisse bis zur Netzeinspeisung und der Wasserstoffherzeugung profitieren Sie bei uns von weltweit einmaliger Prüfinfra-

struktur und jahrelanger Erfahrung, um eine resiliente und zukunftsfähige Energieversorgung sicherzustellen.

Wir sind an Ihrer Seite, wenn Sie die Möglichkeiten für die Zukunft ausloten und neue Wege beschreiten. Angewandte Forschung ist ein wichtiger Impulsgeber und kann systemische Herausforderungen identifizieren und sogar überwinden.

Lassen Sie uns gemeinsam das nächste Level erreichen und unsere Vision einer lebenswerten Umwelt Realität werden. Eine innovationsstarke Wind- und Wasserstoffindustrie sind unser Antrieb.

Viel Spaß beim Lesen!

Prof. Dr.-Ing. Andreas Reuter  
Institutsleiter

## Kurzprofil

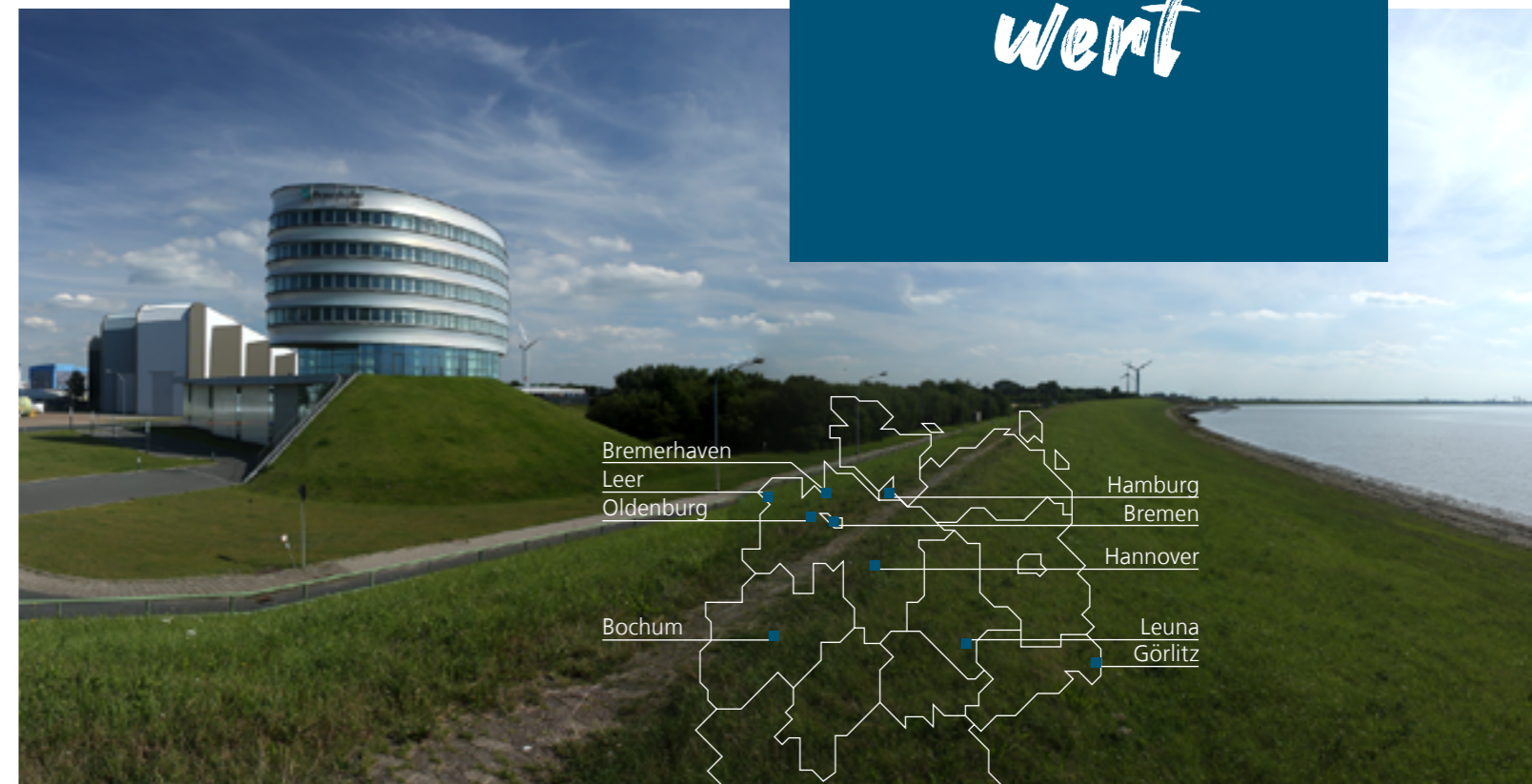
Das Fraunhofer IWES entwickelt innovative Methoden, den Ausbau der Windenergie- und Wasserstoffwirtschaft zu beschleunigen, die Risiken zu minimieren und die Kosteneffizienz zu steigern. Innovationen in technologische Weiterentwicklungen werden durch Validierung abgesichert und Innovationszyklen verkürzt. Planung und Entwicklung von Offshore Windparks werden beschleunigt und präzisiert. Derzeit sind mehr als 300 Wissenschaftlerinnen, Wissenschaftler und Angestellte sowie über 100 Studierende an neun Standorten beschäftigt: Bochum, Bremen, Bremerhaven, Görlitz, Hamburg, Hannover, Leer, Leuna und Oldenburg.

Die Kombination einer weltweit einmaligen Prüfinfrastruktur mit Methodenkompetenz zeichnet das Fraunhofer IWES als Forschungspartner für Unternehmen in aller Welt aus. Durch die Beteiligung an internationalen Fachgremien ist das Institut ein aktiver Wegbereiter für Technologieentwicklungen und Qualitätssicherung in der Windindustrie.

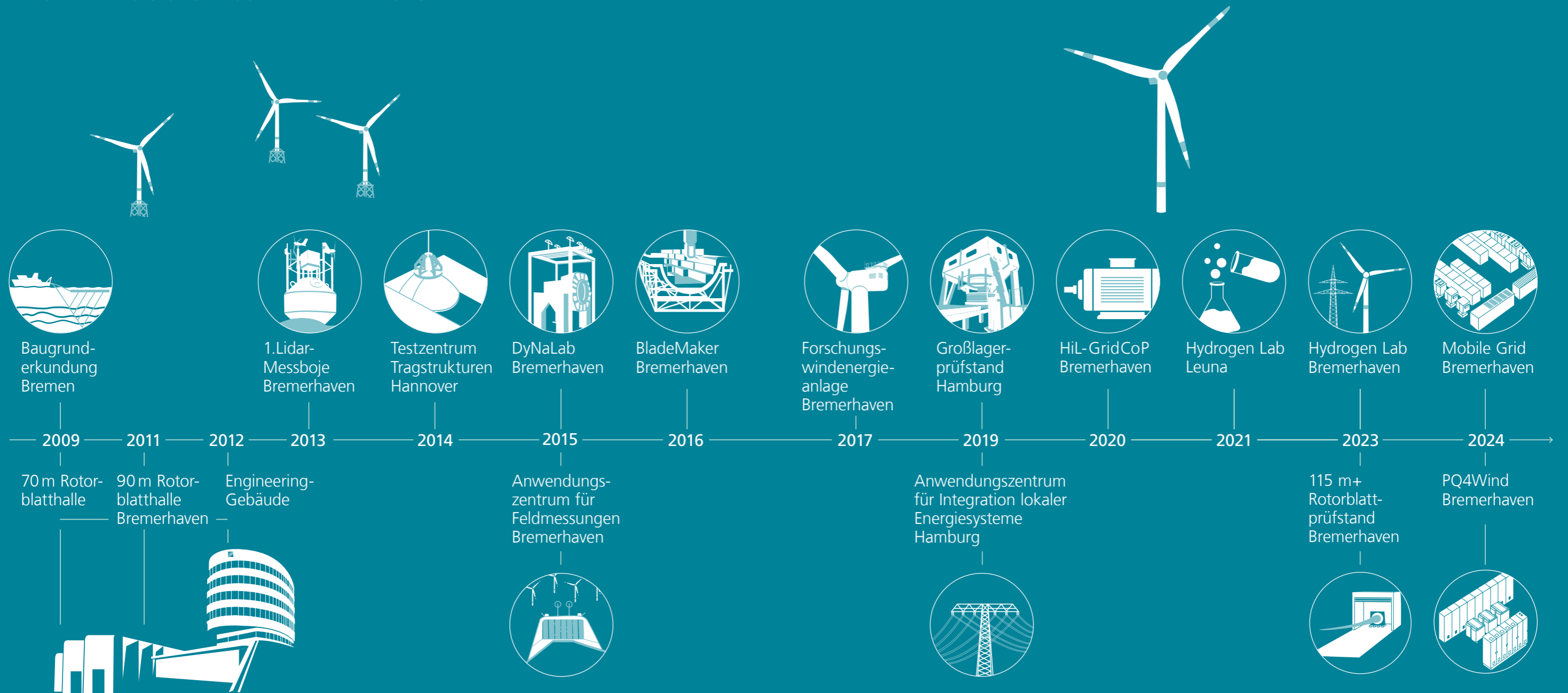


MEHR INFO

WISSENS  
wert



# Prüfinfrastruktur 2009 bis 2024



**MESS**bar

Seit der Gründung des Fraunhofer IWES 2009 ist unsere Prüfinfrastruktur stetig gewachsen. Es können großmaßstäbliche Tests zur Modellvalidierung neuer Rotorblatt-, Gondel-, Tragstrukturen- und Lagerdesigns sowie zur elektrischen Netzintegration durchgeführt werden.

Mit unseren Kompetenzen auf den Forschungsgebieten der Windparkentwicklung, Baugrunderkundung, Vermessung der Windbedingungen sowie Erzeugung und Nutzung von grünem Wasserstoff leisten wir einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung.

Mit dem Aufbau und Betrieb von Hydrogen Labs entsteht erstmalig eine digital vernetzte Infrastruktur mit Test- und Qualifizierungskapazitäten der notwendigen Elektrolyse- und Brennstoffzellensysteme von bis zu 26 Megawatt (MW). Dabei handelt es sich um Testfelder zur Überprüfung der Effizienz und Zuverlässigkeit des Betriebs von Elektrolyseuren in Verbindung mit erneuerbaren Energien.

# IWES-Fokusthemen

## Vielversprechende Optimierungspotenziale

Die größten Potenziale für weitere Steigerungen im Bereich der technologischen Effizienz und verlässlichen Energieversorgung liegen mittel- und langfristig in der konsequenteren Nutzung der Windenergie. Die Politik hat hier die Weichen gestellt – nicht zuletzt durch ebenso notwendige wie gut angelegte Forschungsgelder. Künftig wird der Fokus insbesondere auf dem klimafreundlichen Ausbau von Offshore-

Windenergieanlagen sowie der wachsenden Nutzung von grünem Wasserstoff liegen. Das Fraunhofer IWES ist für die Zukunft gut gerüstet. Mit einer zielorientierten Gesamtstrategie stellen wir uns den Herausforderungen der dynamischen Politik und setzen unter anderem auf zusätzliches Fachpersonal, New Work Konzepte und standortübergreifende Kooperationen.

## Fokusthema Offshore

### Mit belastbaren Standortuntersuchungen erfolgreicher

Die Realisierung von Offshore-Windparks erfordert umfassende Kenntnisse der Umweltbedingungen am ausgewählten Standort. Nur so kann das Projekt ein finanzieller Erfolg werden. Das Fraunhofer IWES führt Windmessungen und -modellierungen, die Ermittlung geologischer Bodencharakteristika sowie seismische Vermessungen des Baugrunds für Offshore Windparks durch. Innovative Technologien, die in Machbarkeitsstudien, Datenanalysen und realen Offshore-Einsätzen erprobt wurden, werden für belastbare Standortuntersuchungen eingesetzt.

### Offshore Windparkentwicklung mit innovativen Messmethoden

Profunde Erfahrung bietet das Fraunhofer IWES für die Entwicklung von Offshore-Windparks von der Modellierung

der Windverhältnisse über Windmessungen bis hin zur Bodenerkundung und geologischen Baugrundmodellen. Mittels CFD-(Computational Fluid Dynamics-)Modellen werden die Offshore-Windbedingungen und relevanten atmosphärischen Eigenschaften entsprechend nachgebildet. Die Auswirkungen vorhandener Windparks werden dabei miterfasst. Für die Offshore-Windmessungen kommen schwimmende Lidar-Systeme zum Einsatz. Sie entsprechen den höchsten internationalen Standards und bieten darüber hinaus innovative Services für die Windparkentwicklung.

Zur Bodenerkundung hat das Fraunhofer IWES geologische 2D- und 3D-Untersuchungen mit ultrahochoflösende Mehrkanalseismik entwickelt und zur Marktreife gebracht. Alle in Deutschland zentral voruntersuchten Windparkflächen wurden vom Fraunhofer IWES mit diesem Verfahren vermessen. Ein weiteres spezielles Einsatzfeld ist die Findlings-Detektion, die mithilfe von patentierten refraktionsseismischen Methoden durchgeführt wird.

### Mit Fraunhofer IWES: Kosteneffiziente Planung und Entwicklung

Ein leistungsfähiges Projekt- und Risikomanagement bildet die Grundlage für eine erfolgreiche und kosteneffiziente Planung, Errichtung sowie den Betrieb von Offshore-Windparks. In der Planungs- und Ausführungsphase bietet das Fraunhofer IWES Projektplan- und Wetterrisikoanalysen an, um potenzielle Risiken frühzeitig zu identifizieren und zu bewerten. Darüber hinaus unterstützt das Fraunhofer IWES Partner bei der Entwicklung neuer Technologien, um effektiv das Potenzial der direkten Offshore-Erzeugung von grünem Wasserstoff und anderen Power-to-X-Produkten zu nutzen.



## Fokusthema Prüfinfrastruktur

### Markenzeichen des Fraunhofer IWES

Großprüfstände für die realitätsnahe und beschleunigte Lebensdauerprüfung sind Markenzeichen des Fraunhofer IWES. Neben Prüfständen für Rotorblätter, Blattsegmente, Blattlager, Gondeln, Netzintegration elektrischer Systeme und Tragstrukturen gehören Prüfeinrichtungen für Elektrolyseursysteme und Komponenten zum Portfolio des Fraunhofer IWES

### Kontinuierliche Investitionen in neue Prüfstände

Große Komposit-Bauteile und mechanische Komponenten werden ebenso betrachtet wie komplexe Umwelteinflüsse, zuverlässigere Netzintegration, Leistungselektronik im Megawattbereich sowie die elektrischen Systemeigenschaften. Verschiedene Betriebsszenarien, Schadensmechanismen und angepasste Schutzkonzepte werden untersucht sowie Modelle durch den Abgleich mit experimentellen Tests validiert. Das Fraunhofer IWES investiert nicht nur kontinuierlich in neue Prüfstände für steigende Bauteilgrößen, sondern bietet auch Segmenttests, skalierte Tests und virtualisierte Prüfungen an.

### Kostenreduktion durch frühestmögliche Validierung

Das Größenwachstum und der weitere Ausbau von Windenergieanlagen lassen generell die Anforderungen an die technische Zuverlässigkeit weiter steigen. Beschleunigte Markteinführung, die Nutzung einer Plattform für mehrere Anlagentypen, die Professionalisierung der Windparkbetriebs- und höhere Kosten bei Ausfällen an Offshore-



Turbinen sprechen für eine umfassende Validierung bereits vor Betriebsbeginn. Hinzu kommt die steigende Komplexität durch die Kopplung mit Systemen der Wasserstoff-wertschöpfungskette. Modulare Prüfungen und die präzise Charakterisierung von Multi-Domänen-Eigenschaften sowie die experimentelle Validierung - sektorübergreifend - sind aufgrund des langjährig gesammelten Know-hows und der einmaligen Ausstattung am IWES möglich. Dabei nutzen unser Experten unterstützend bereits alle technologischen Möglichkeiten der fortschreitenden Digitalisierung.

Neben den klassischen 1:1-Tests von Subsystemen und Komponenten werden skalierte 1:X-Prüfungen realisiert. Außerdem arbeiten wir an neuen hybriden Testmethoden mit Messungen und Modellvalidierungen lediglich im Teillastbereich, welche anschließend der experimentell abgesicherter Extrapolation über den gesamten Betriebsbereich dienen.



## Fokusthema Wasserstoff

### Klimaziele erreichen durch zuverlässigen Betrieb

Die Produktion von grünem Wasserstoff zur Dekarbonisierung und Defossilisierung industrieller Prozesse leistet einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele. Um die Risiken einer Hochskalierung der Wasserstoffproduktion zu minimieren, ist der zuverlässige Betrieb von Elektrolyseuren und Systemen entlang der H<sub>2</sub>-Wertschöpfungskette ein zentraler Punkt.

Der rasante Hochlauf und damit verbunden der immens steigende Bedarf an Elektrolysekapazität stellt nicht nur Hersteller, sondern auch zukünftige Betreiber vor Herausforderungen, da sich nicht nur Produktionsverfahren, sondern auch Mess- und Überwachungsverfahren nicht ohne Weiteres von der Manufaktur in industrielle Dimensionen hochskalieren lassen.

### Drei Hydrogen Labs mit unterschiedlichen Schwerpunkten

Auch die Einbettung ins Energiesystem sowie in industrielle Prozesse stellen Herausforderungen an das Einsatzverhalten und an die Betriebsmodelle. Das Fraunhofer IWES unterhält daher Hydrogen Labs für Test und Validierung wasserstoffrelevanter Komponenten entlang der Wertschöpfungskette: von der Erzeugung mittels Elektrolyse, über Speicherung und Anwendung in Power-to-X-Prozessen oder Brennstoffzellen – mit einer Gesamtanschlussleistung bis zu 26 MW. Somit unterstützt das Fraunhofer IWES die Industrie bei der Etablierung einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft. Die Hydrogen Labs weisen unterschiedliche Schwerpunkte auf:

- Im Hydrogen Lab Leuna kann durch die Integration in einen Chemiestandort die Defossilisierung von Prozessen der chemischen Industrie praxisnah erprobt werden.
- In Bremerhaven wird die Kopplung von Wasserstoffherzeugung und Windenergiegewinnung sowie die Netzkompatibilität von Elektrolyseuren untersucht. Die Versorgungssicherheit kann somit auch bei einem hohen Anteil erneuerbarer Energien im Netz sichergestellt werden.
- Die Defossilisierung der herstellenden Industrie ist Schwerpunkt des Hydrogen Labs Görlitz. Prototypen jeder Stufe der Power-to-X-to-Power-Wertschöpfungskette können getestet und mit Rückschlüssen auf entsprechende Produktionsprozesse durch die Kooperation mit dem Fraunhofer IWU ergänzt werden.



### Prüfangebote unterschiedlicher Größenordnungen und Belastungen

Das Angebot reicht von der Zell- über die Stack-Prüfung im Bereich von 3,5 kW bis zu einer Prüfkapazität von mehreren MW für den Betrieb unter Realbedingungen bis hin zur kompletten Systemprüfung mit allen notwendigen Nebenaggregaten. Dynamische Belastungen werden ebenso nachgestellt wie Umweltbedingungen und mechanische Lasten. Digitale Simulationen begleiten den Prozess, beschreiben Vorgänge und dienen der Optimierung techno-ökonomischer Kennzahlen. Übergreifend finden Analysen statt, um Methoden und Testabläufe für Elektrolyseur-Materialien sowie Komponenten zu entwickeln und im Labormaßstab anzuwenden. Auch Echtzeitüberwachung von H<sub>2</sub>- und O<sub>2</sub>-Reinheit, GC-MS-Spurenanalytik von Stoffströmen, elektrochemische Bewertung von Komponenten und Fehlerdiagnostik sind Teile des Angebots.

Das Fraunhofer IWES kann auf die langjährige Expertise in Validierung und Standardisierung im Windbereich zurückgreifen. Die Partnerschaften mit und das Know-how von wegweisenden Institutionen und Unternehmen ermöglichen es dem Fraunhofer IWES, auch standardisierte Prüfabläufe für Wasserstofftechnologien zu entwickeln.

## Fokusthema Digitalisierung

### Lösungen für jeden Forschungsbereich

Die Digitalisierung ist ein rasanter, deutlich spürbarer Prozess in der Industrie – auch in der Windenergie- und Wasserstoffbranche. Durch seine komplexen Forschungsthemen bietet das Fraunhofer IWES in jedem Bereich digitale Lösungen. Neben Standards wie Data Monitoring haben auch Themen wie Big Data und der digitale Zwilling Einzug in die Forschung gehalten. Sie werden in vielen unterschiedlichen wissenschaftlichen Themenbereichen genutzt und weiterentwickelt.

### Digitale Prüfstände für nicht-physische Prüfmethode

Ein großer Fokus des Fraunhofer IWES liegt unter anderem auf den digitalen Prüfständen. Die physischen Prüfstände werden genutzt, um numerische Modelle zu entwickeln und mit experimentellen Tests vollständig zu validieren. Das ermöglicht die Entwicklung neuer, nicht-physischer möglicher Prüfmethode.

Im Dynamic Nacelle Testing Laboratory (DyNaLab) beispielsweise kann ein mechanischer Test beschrieben werden. Der parallel entwickelte virtuelle Gondelprüfstand stellt dabei die Gondel, die umgebende Prüfinfrastruktur und die Hilffsysteme dar. Der virtuelle Gondelprüfstand kann auch die Auswirkungen elektrischer Tests auf die mechanische Struktur abbilden.

### Optimierungsszenarien mit Open Source Software von Fraunhofer IWES

Neben unterschiedlicher intern genutzter Software stellt das Fraunhofer IWES externen Nutzern Open Source Software zur Strömungsdynamik bereit. Die Software FOXES, eine modulare Windpark-Simulations- und Nachlaufmodellierungstoolbox, sowie iwopy, ein Framework zur Kopplung verschiedener Optimierungsmodule, bilden zusammen die Basis zur Berechnung verschiedener Optimierungsszenarien der Windenergienutzung.

Die Anwendungsfälle reichen von der Windparkoptimierung (z. B. Layoutoptimierung oder Nachlaufsteuerung) über Post-Construction-Analysen bis hin zu Studien, Vergleichen und der Validierung von Wake-Modellen. Auch in Zukunft sind weitere Open-Source-Veröffentlichungen geplant.



# FORSCHIER geist

# LEISTUNGSstark

## Fraunhofer IWES: Angewandte Forschung

Das Fraunhofer IWES betreibt Prüfstände für Rotorblätter, Großlager, Tragstrukturen, Gondeln sowie Materialtestlabore, um neue Designs experimentell zu analysieren und mit Computermodellen abzugleichen. Zudem führen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Messungen an Anlagen im Betrieb durch und erfassen Wind, Wellen, Strömung, Stromerträge und die resultierenden Lasten mit innovativen Verfahren.

Das Institut unterstützt den benötigten Markthochlauf von Wasserstoff-Technologien und verfügt über Test- und Qualifizierungskapazitäten der dazu notwendigen Elektrolyse- und Brennstoffzellensysteme bis zu 26 MW. Das Fraunhofer IWES gestaltet die Zukunft durch technologischen Fortschritt und steht für eine nachhaltige Entwicklung zum Wohle der Gesellschaft.



# TIEFgründig

## Baugrunderkundung

### Effiziente Baugrunderkundung für Offshore-Windparkprojekte

Die Planung und Installation von Fundamenten für Offshore-Windenergieanlagen verursachen einen signifikanten Anteil der Gesamtkosten von Windparks. Das detaillierte Verständnis des Baugrundes auf See ist Basis für die Wahl von Fundamenttyp, Design und Installationsplanung der Fundamente.

Die optimale Abbildung der geologischen Strukturen in den obersten 100-200 m unter dem Meeresboden durch geophysikalische Methoden steht dabei an erster Stelle. Mittels geotechnischer Beprobung der Schichten wird anschließend ein integriertes Baugrundmodell durch die Verknüpfung seismischer und geotechnischer Daten erstellt. Für die Installation ist zudem die Ausweisung und Reduzierung der Installationsrisiken entscheidend, etwa durch Findlinge in glazialen Ablagerungen.

Das Fraunhofer IWES ist das weltweit führende Institut in der Entwicklung und Durchführung von höchstauflösenden seismischen Vermessungen für Windfarmprojekte sowie der Datenbearbeitung und -interpretation bis hin zur Erstellung von Baugrundmodellen.

#### Unsere Leistungen:

- Offshore 2D/3D seismische Baugrundvermessungen
- Offshore seismische Vermessungen zur Findlingsdetektion im Baugrund
- Erstellung von integrierten Baugrundmodellen auf Basis geophysikalischer und geotechnischer Daten
- Bearbeitung und Auswertung von mehrkanalseismischen Datensätzen
- Unterstützung und Beratung bei Fragen zur Baugrunderkundung







*Baugrundmodelle reduzieren die Risiken bei der Installation von Offshore-Windenergieanlagen.*

### Mehrkanalseismische Vermessungen als Basis der Baugrunderkundung

Die Erstellung eines Baugrundmodells beginnt mit der detaillierten Abbildung des Baugrundes mittels geophysikalischer Methoden. Basis dafür ist eine erstklassige Vermessungskampagne mit mehrkanalseismischen Methoden.

Das Fraunhofer IWES verfügt über ein spezialisiertes Vermessungssystem für die ultra-hochauflösende (UHR) seismische Datenakquisition. Es beinhaltet angepasste und modulare seismische Streamersysteme, hochfrequente seismische Signalquellen (Sparker) und hochgenaue Positionierungslösungen. Am Fraunhofer IWES werden seismische Technologie und Vermessungstechnik kontinuierlich optimiert.

Daten verarbeiten wir mit von uns speziell für die UHR-Seismik entwickelten Algorithmen. Wachsende Rechenkapazitäten erlauben bessere Datenbearbeitungsroutinen und höhere Abbildungsqualität. Ein Fokus liegt auf hochauflösenden seismischen Datensätzen aus Flachmeergebieten: hochgenaue Rekonstruktion der Aufnahmegeometrie, Kompensation der Wellenbewegungen, optimierte Signalcharakteristika, Unterdrückung von multiplen Reflexionen. Am Ende entsteht ein initiales Untergrundmodell der Windparkflächen. Die Praxistauglichkeit des Systems wurde in vielen kommerziellen Vermessungen von Windparkflächen nachgewiesen. Insbesondere wurden alle in Deutschland zentral vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) voruntersuchten Windparkflächen vom Fraunhofer IWES mit diesem Verfahren vermessen.

### Mit Daten und Modellen die Baugrundkomplexität darstellen

Aus dem initialen Untergrundmodell wird mittels Integration lokaler geotechnischer in-situ Daten ein geologisches Baugrundmodell entworfen. Zur lateralen Kartierung geologischer Strukturen werden profilhafte seismische Daten mit geotechnischen Daten (z. B. Cone-Penetration-Testing CPT) kombiniert. Ergebnis: die anschauliche Darstellung der Untergrundverhältnisse sowie detaillierte Charakterisierung der Baugrundeigenschaften.

Diese Modelle sind wichtige Planungsgrundlagen für die Entwicklung von Offshore-Windparks. In einem integrierten Baugrundmodell können lokale geotechnische Parameter flächendeckend modelliert werden. Demgegenüber erlauben Methoden der Inversion die Ableitung geotechnischer Parameter direkt aus den geophysikalischen Datensätzen.

Zur Planung und technischen Designanwendung werden synthetische CPT-Profile erzeugt. Geotechnische Laborergebnisse können überdies mittels sogenannter standortspezifischer Korrelationsfunktionen in das Modell integriert werden. So lassen sich weitere designrelevante geotechnische Parameter erzeugen. Die Offshore-Windindustrie erhält dadurch zuverlässige geotechnische Baugrundeigenschaften für das technische Design der Windenergieanlagen-Fundamente. Die Erstellung synthetischer CPT-Profile zur Unterstützung der Verschiebung von Fundamentstandorten wurde kommerziell durchgeführt und von der Zertifizierungsstelle akzeptiert.



MEHR INFO

### Findlingsdetektion: Minimierung von Installationsrisiken im Baugrund

Geologische Risiken zur Installation von Fundamenten treten in vielfältigen Formen auf. Unter anderem sind große Steine aus glazialen Ablagerungen ein signifikantes Installationshindernis. Zur zuverlässigen Kartierung solcher Findlinge im Baugrund hat das Fraunhofer IWES ein patentiertes System basierend auf Diffraktionsseismik entwickelt. Das neuartige Vermessungssystem nutzt mehrkanalseismische Methoden zur Lokalisierung von Objekten durch die Abbildung von Diffraktionsenergie.

Die identifizierten und lokalisierten Objekte werden in ein lokales Baugrundmodell eingebunden und für eine Risikokartierung im Nahbereich von geplanten Anlagenstandorten und Kabelkorridoren (~100 m) mittels Micrositing dokumentiert. Das Fraunhofer IWES hat Vermessungen dieser Art erfolgreich in kommerziellen Projekten in der Ostsee durchgeführt. Die Kartierung von Findlingen im Meeresboden erfolgt passgenau entsprechend der jeweiligen Projektanforderungen.



*Das Fraunhofer IWES eröffnet mit einer unkonventionellen patentierten Technologie neue Möglichkeiten auf dem Gebiet der Standortbewertung und integrierten Objektdetektion.*

# ANTRIEBS stark

## Elektrische Komponenten- und Systemvalidierung: Mit IWES-Forschung die Netzverträglichkeit sichern

Kontinuierlich wachsende Offshore-Windenergieanlagen bringen bisherige Testeinrichtungen zur Prüfung ihrer Netzeigenschaften an ihre Grenzen. Daher hat das Fraunhofer IWES zur Ermittlung elektrischer Eigenschaften im Multi-Megawatt-Bereich einen Mobile-Grid-Emulator mit einer installierten Umrichterleistung von 88 MVA entwickelt. Zudem betreibt das Fraunhofer IWES – in Kooperation mit dem IALB der Universität Bremen – das HiPE-LAB. Die einzigartige Einrichtung dient dem multimodalen Testen von Umrichtern bis zu 10 MVA unter Überlagerung von klimatischen und elektrischen Lasten, um die notwendige technische Zuverlässigkeit nachzuweisen bzw. zu optimieren.



Mobile Testeinrichtung für Grid-Compliance-Prüfungen

# Systemtechnik

## Ermittlung elektrischer Eigenschaften im Multi-Megawatt-Bereich



Das Fraunhofer IWES bietet Prüfungen der Netzverträglichkeit zur Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften neuer Windenergieanlagen (z. B. FRT) und ihrer Komponenten an. Zu diesem Zweck bedient es sich eines weltweit einmaligen virtuellen Netzes sowie Nieder- und Mittelspannungsnetz-Emulatoren im Leistungsbereich zwischen 4 - 44 MVA. Durch den Einsatz eines virtuellen Netzes können alle typischen Netzfehler nachgebildet werden. Dieser Ansatz ermöglicht aber ebenso die Durchführung statischer Tests, um zum Beispiel die Wirk- und Blindleistungsabgabe bei unterschiedlichen Netzzuständen zu erfassen und transiente Netzereignisse zu emulieren.

2015 wurde Deutschlands größter Prüfstand für komplette Gondeln von Windenergieanlagen in Betrieb genommen. Das Dynamic Nacelle Testing Laboratory (DyNaLab) bietet ein realitätsnahes Testumfeld für Gondeln. Der 2021 in Betrieb genommene Prüfstand HiL-GridCop ermöglicht Umrichter-Generator-Tests im Multi-Megawatt-Bereich, durchgeführt als aussagefähige, zertifizierbare Labortests. Mit einer Antriebsleistung von 10 MW werden einmalige Prüfleistungen zur Prototypen-Validierung hier speziell für Onshore-Windenergieanlagen angeboten.

Das Fraunhofer IWES verfügt außerdem über die Möglichkeit, elektrische Eigenschaften von Frequenzumrichtern zu analysieren. Der sogenannte PQ4Wind-Prüfstand wird für Vermessungen im höherfrequenten Frequenzbereich zur Bestimmung der Power Quality eingesetzt. Die immer größer werdenden Offshore-Windenergieanlagen bringen bisherige Testeinrichtungen zur Prüfung der Netzeigenschaften an ihre Grenzen. Daher hat das Fraunhofer IWES einen mobil einsetzbaren Netzemulator entwickelt, den Mobile-Grid-Emulator mit einer installierten Umrichterleistung von 88 MVA. Mit dessen Hilfe können die elektrischen Eigenschaften für Windenergieanlagen und ihre Fähigkeiten, das Stromnetz bei Fehlern zu stützen, im Feld überprüft werden (z. B. an Standorten für Prototypen).

### Unsere Leistungen:

- Vermessung der elektrischen Eigenschaften von Windenergieanlagen
- Hochdynamische Qualifizierung von Umrichtern (bzw. deren Regelung)
- Vermessung der elektrischen Eigenschaften von Prototypen im Feld mithilfe eines mobilen Netzemulators

Der Prüfstand HiL-GridCoP testet Minimalsysteme von Windenergieanlagen und reduziert dank automatisierter Testdurchführung Zeit- und Kostenaufwand bei der Markteinführung.

Ein besseres Verständnis der Ausfallursachen ist unabdingbar, um wirkungsvolle Schutzmaßnahmen zu entwickeln, und damit die Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebs zu verbessern.

### Unsere Leistungen:

- Ableitung von Prüfverfahren aus umfangreichen Feldmessungen
- Identifizierung relevanter Prüfzyklen und Parameter
- Analyse von Felddaten aus Umrichtern von mehr als 10.000 Windenergieanlagen und vielen Klimazonen
- Unabhängige Begutachtung und labortechnische Analyse



## Technische Zuverlässigkeit

### Anwendungsspezifische Zuverlässigkeitsprüfung von leistungselektronischen Systemen

Frequenzumrichter sollten so konstruiert sein, dass sie ihren typischen Betriebsbedingungen standhalten. In der Praxis sind sie jedoch einer Vielzahl von Einflüssen ausgesetzt, die zu frühen Ausfällen führen können. In der Windenergie zum Beispiel liegt die Ausfallrate von Frequenzumrichtern bei bis zu 0,5 schadensbedingten Ausfällen pro Windenergieanlage und Jahr.

Da Feuchtigkeit zu den Hauptursachen für Ausfälle von Frequenzumrichtern zählt, haben wir ein Labor eingerichtet, um die Produkte unserer Kunden – von Leistungsmodulen bis zu ganzen Umrichtersystemen – unter möglichst realen, standortspezifischen Bedingungen zu validieren. Bei der Nutzung des HiPe-LAB kooperiert das Fraunhofer IWES eng mit dem Laborbetreiber, dem IALB der Universität Bremen. In der einzigartigen Einrichtung lassen sich Umrichter bis zu 10 MVA unter einer Überlagerung von anwendungsspezifischen klimatischen und elektrischen Lasten testen.

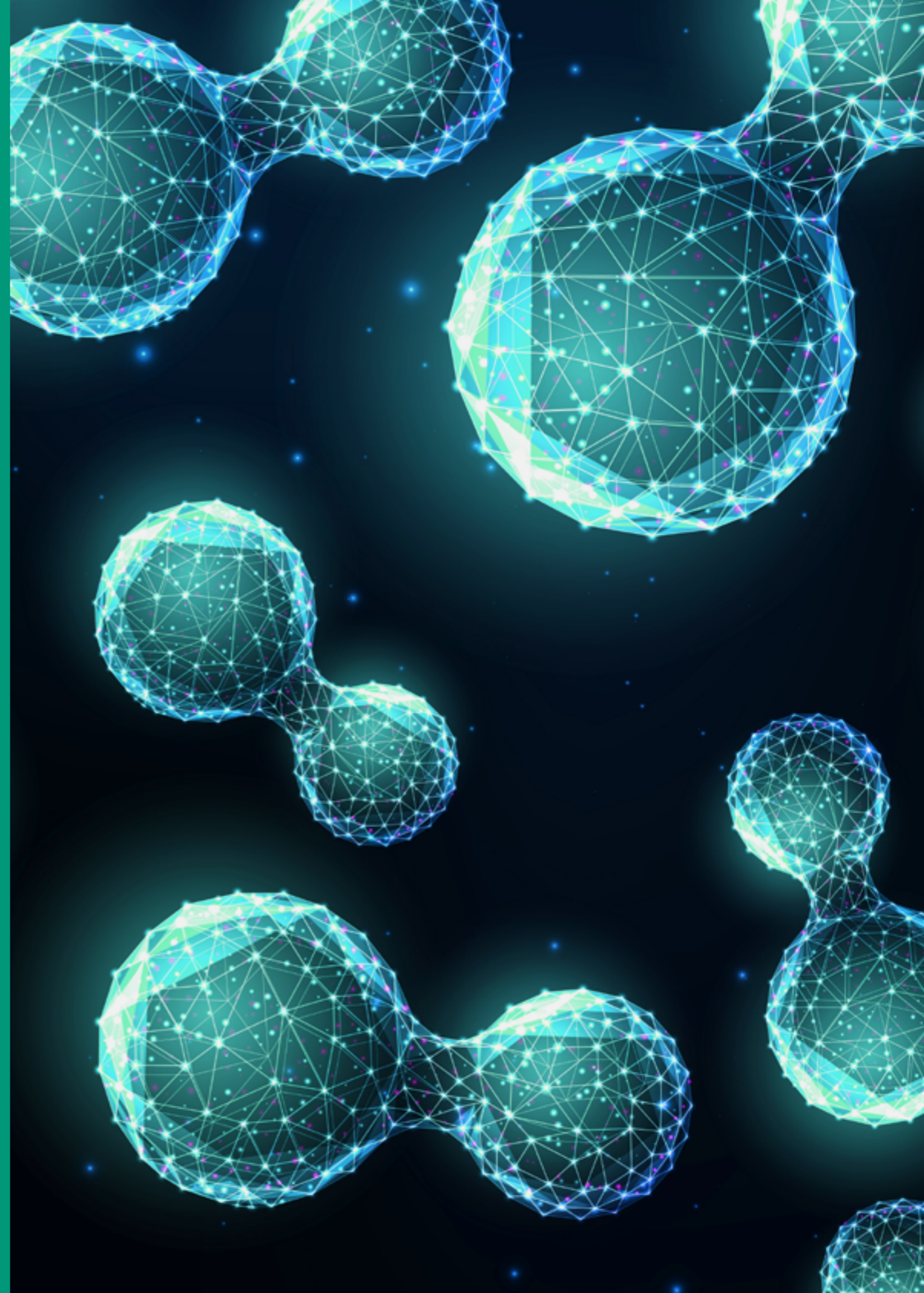
# ZUKUNFTSweisend

## Elektrolyseurvalidierung und -qualifizierung: Wind und Wasserstoff zusammendenken

Das Fraunhofer IWES betreibt technologieoffene Testplattformen (Hydrogen Labs) für die Qualifizierung und Optimierung von Elektrolyseuren – von der Zelle über den Industrie-Stack bis zur Gesamtsystemebene – mit einer Gesamtanschlussleistung bis zu 26 MW. Neben Elektrolyseuren werden hier auch wasserstoffverbrauchende Einheiten und Teile der peripheren Infrastruktur getestet. Unter anderem wird die Langzeitstabilität von Materialien und Komponenten bei dynamischer Betriebsweise von Elektrolyseuren in Kopplung mit Windenergieanlagen erprobt.

Darüber hinaus steht zur Untersuchung der Netzeigenschaften die weltweit führende Einrichtung für Netzintegrationstests am Dynamic Nacelle Testing Laboratory (DyNaLab) zur Verfügung. Da zukünftige Elektrolyseure als Großverbraucher an das elektrische Netz angeschlossen werden, sind deren netzdienliche Eigenschaften wichtig. Deren Vermessung und Optimierung stehen daher im Fokus von Forschung und Entwicklung. Entsprechend unterstützen wir die Hersteller bei der Weiterentwicklung ihrer Produkte.

Ebenso steht eine Testplattform für gekoppelte Power-to-X-Prozesse zur Verfügung, um auch die gesamte Wertschöpfungskette von der regenerativen, lastflexiblen Energiegewinnung über die Wasserstoffherzeugung bis zur stofflichen Nutzung abzubilden und im großtechnischen Maßstab zu testen und zu beforschen.



## Upscaling in neue Leistungsklassen – aber sicher!

Der Markthochlauf des grünen Wasserstoffs benötigt verlässliche, sichere und kostenoptimierte Systeme und Komponenten entlang der gesamten Wertschöpfungskette zur breiten Anwendung in Industrie und Wirtschaft. Die Kosten spielen dabei neben der Betriebssicherheit eine zentrale Rolle. Die Entwicklung leistungsfähiger, kostengünstiger und zuverlässiger Komponenten sowie die Etablierung einer Serienfertigung für Elektrolyseure und Brennstoffzellen erschließen Einsparpotenziale.

Experimentelles Testen und darauf aufbauende Modellierungen reduzieren das Risiko, das durch das Upscaling von Elektrolyseuren in neue Leistungsklassen und Einsatzbereiche entsteht, die unter anderem für Offshore-Anwendungen unumgänglich sind. Hierbei weist das Fraunhofer IWES Kernkompetenzen im Bereich der elektrochemischen Analytik auf und testet Zellen und Stacks auf der mikroskopischen Ebene. In den Hydrogen Labs sind Stack- und Systemtests bis in den industriellen Maßstab darstellbar. Dies erlaubt, in mikroskopischem Maßstab erworbenes Wissen in großskalige Systeme zu übertragen. Ebenso ist die umgekehrte Richtung denkbar, die Rückführung von im Gesamtsystem beobachteten Effekten auf die mikroskopische Ebene. Dieses Wechselspiel von System- und Einzelkomponententests ermöglicht eine ganzheitliche Optimierung.

*Die Hydrogen Labs des Fraunhofer IWES unterstützen den Markthochlauf von grünem Wasserstoff und damit den Weg zu einer CO<sub>2</sub>-neutralen Industrie.*



## Abbildung der gesamten Wertschöpfungskette

Das Fraunhofer IWES betrachtet die gesamte Wasserstoffwertschöpfungskette, von der Erzeugung bis zur Nutzung. Für spezifische Fragestellungen werden die Kompetenzen und Infrastrukturen verwandter Institute hinzugezogen. Unsere Kunden sind sowohl global agierende Konzerne als auch der regionale Mittelstand.

Auch können Modellprozesse der Sektorenkopplung demonstriert und erprobt werden. Dies ist bei fluktuierender Energiezufuhr aus regenerativen Quellen besonders wichtig, um Versorgungssicherheit zu gewährleisten und die Speicherung von Leistungsüberschüssen zu ermöglichen. Betriebsstrategien für Insellösungen werden systemübergreifend entwickelt und unter techno-ökonomischen Aspekten optimiert.

*Im Hydrogen Lab Leuna können Elektrolyseure im Industriemaßstab jeglichen Typs – ob PEM, AEL, AEM oder SOEC – im Dauerbetrieb 24/7 erprobt werden.*



### Unsere Leistungen:

- Vollumfängliche Validierung von Stackkomponenten bis hin zu gesamten Elektrolysesystemen, peripherer Infrastruktur und nachgelagerten Power-to-X-Prozessen
- Beschleunigte Lebensdauertests und Untersuchung des dynamischen Betriebsverhaltens
- Unabhängige Effizienzmessung
- Validierung von Entsalzungsanlagen
- Modellierung von Systemen, Unterstützung in der Auslegung und Betriebsführung von Elektrolyseuren im Zusammenspiel mit erneuerbaren Energiequellen
- Analyse der eingesetzten Elektrolyten sowie der entstehenden Produktgase
- Techno-ökonomische Betrachtungen des Gesamtsystems

## Kernkompetenz Netzintegrationstests

Für die Versorgungssicherheit ist ein stabiles Netz grundlegend. Nicht immer sind die Netze für hochgradig dezentrale Einspeisepunkte mit netzseitiger Umrichteranbindung und fluktuierende Energiezufuhr ausgelegt.

Bei einem Überangebot erneuerbarer Energien im Netz werden Windenergieanlagen oft abgeschaltet, um das Netz nicht zu überlasten – oder der Strom wird unter Preis ins Ausland verkauft. Eine Option ist, mithilfe des sogenannten »Überschuss-Stroms« Wasserstoff herzustellen, der als chemischer Energiespeicher dient. Mit steigender netzgekoppelter Elektrolyseurkapazität werden diese »Verbraucher« zukünftig, genauso wie auf der Erzeugerseite, Netzsystemdienstleistungen erbringen müssen. Die Durchführung von sogenannten Netzintegrationstests in den Hydrogen Labs helfen, diese Systemeigenschaften vor der großflächigen Marktintegration zu validieren.

## Co-Simulation von Nutzungsszenarien

Schlüsselkomponenten der Wasserstoffwertschöpfungskette werden modellbasiert abgebildet. Es wird ein kohärenter Daten- und Modellraum zur Co-Simulation von Nutzungsszenarien für eine zukünftige Wasserstoffwirtschaft aufgebaut.

Wir arbeiten daran, eine Referenzarchitektur für digitale Zwillinge so zu erweitern, dass sie die Modularität erneuerbarer Energiesysteme abbilden kann und eingetragene Veränderungen am System berücksichtigt. Damit wird die Basis für einen umfassenden generischen digitalen Zwilling von Wind- und Wasserstoffenergiesystemen geschaffen.

## Modellierung und Regelung dezentraler und lokaler Energiesysteme

Das Fraunhofer-Anwendungszentrum ILES des Fraunhofer IWES untersucht darüber hinaus gemeinsam mit den Partnern Competence Center für Erneuerbare Energien und EnergieEffizienz (CC4E) und der Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg systematische Aspekte der Herstellung von grünem Wasserstoff mittels Elektrolyse. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Modellierung und Regelung dezentraler und lokaler Energiesysteme. Diese Betrachtungen helfen, die technische Zuverlässigkeit und Systemwirkungsgrade zu verbessern und somit Kosten einzusparen.



# VIEL fälttig

## Gesamtanlagenvermessung und Simulationen: Wie das Fraunhofer IWES Windenergiesysteme optimiert und die Schifffahrt nachhaltiger gestaltet

Zuverlässige Aussagen zu Effizienz, Funktionstüchtigkeit und Lebensdauer von Windenergieanlagen sind für ihre Realisierung unverzichtbar. Zu diesem Zweck vermisst das Fraunhofer IWES im Anwendungszentrum für Windenergie-Feldmessungen (AWF) laufende Anlagen, prüft mechanische Beanspruchungen und bestimmt ihr Leistungsverhalten. Zur Erforschung der aero-servo-hydro-elastischen Simulation von Windenergieanlagen programmiert das Fraunhofer IWES das sogenannte MoWiT-Gesamtanlagensimulationsmodell zur Lastrechnung und Echtzeitsimulation. Das MoWiT dient der Optimierung von Windenergiesystemen und Entwicklung von KI-Modellen. Zudem unterstützt das Fraunhofer IWES die Entwicklung einer nachhaltigen Schifffahrt. In Kooperation mit der Hochschule Emden/Leer liegt der Fokus auf Windantriebssystemen, Designkonzepten und Emissionsreduzierung.



MEHR INFO

Umfangreiche Mess- und Modelldaten helfen bei der Verbesserung von Anlagendesigns.

### Unsere Leistungen:

- Vermessung von Windenergieanlagen
- Akkreditierte Last- und Leistungsmessungen (IEC61400-12 und 61400-13) nach ISO 17025
- Kundenspezifische Messungen an einzelnen Komponenten von Windenergieanlagen

## Windenergie-Feldmessungen Kundenspezifische und akkreditierte Vermessung von Windenergieanlagen

Der rasant wachsende Wettbewerb in der Windenergie verlangt hochqualitative, effiziente Prozesse, mit denen Prototypen und Altanlagen im Feld vermessen, analysiert und optimiert werden können. Entwickler, Hersteller, Betreiber und technische Dienstleister benötigen ebenso wie Banken und Versicherungen zuverlässige Aussagen über die Effizienz, Funktionstüchtigkeit und Lebensdauerperspektive ihrer Anlagen.

Das Anwendungszentrum für Windenergie-Feldmessungen (AWF), eine Kooperation des Fraunhofer IWES und der fk-wind: Institut für Windenergie der Hochschule Bremerhaven, führt Vermessungen laufender Anlagen im Feld durch, insbesondere als Partner in Forschungs- und Entwicklungsprojekten.

Das AWF verfügt über hochqualifiziertes wissenschaftliches und technisches Personal und ist als Prüflaboratorium nach ISO 17025 für die Prüfung mechanischer Beanspruchungen

und die Bestimmung des Leistungsverhaltens von Windenergieanlagen akkreditiert. Zudem kann auf die einzigartige Test- und Prüfinfrastruktur des gesamten Fraunhofer IWES zurückgegriffen werden.

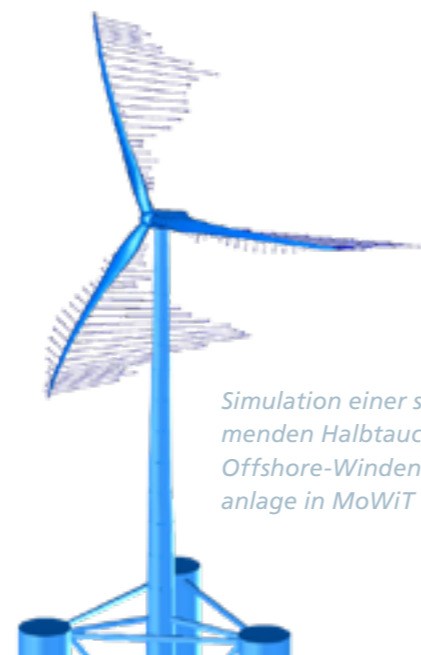
Das AWF am Fraunhofer IWES plant Vermessungen von Windenergieanlagen und führt diese durch. Dabei werden nach Absprache mit dem Kunden die relevanten nationalen und internationalen Normen und Richtlinien angewendet. Erfasst werden zum Beispiel meteorologische Größen und die produzierte Leistung nach IEC 61400-12 und/oder Beanspruchungsgrößen nach IEC 61400-13. Neben den normspezifischen Messungen der Gesamtanlage werden insbesondere auch Messungen von spezifischen Komponenten der Windenergieanlagen (z. B. Lager, Rotorblätter etc.) durchgeführt. Zur Auswertung und Interpretation der Messdaten werden außerdem die wichtigsten Betriebsdaten der Windenergieanlage, wie z. B. Azimutposition und Drehzahl, miterfasst.

# Gesamtanlagendynamik

## Simulative Analyse der Systemdynamik, Lasten und Frequenzen von Windenergieanlagen

Die Gruppe Gesamtanlagendynamik am Fraunhofer IWES forscht auf dem Gebiet der aero-servo-hydro-elastischen Simulation von Windenergieanlagen. Im Fokus steht die Verbesserung von Simulations- und Validierungsmethoden für On- und Offshore sowie für schwimmende Windenergieanlagen. Dafür wurde das MoWiT-Simulationsmodell (Modelica library for Wind Turbines) für die Lastrechnung und die Echtzeitsimulation programmiert. MoWiT bildet die Grundlage zur Optimierung von Windenergiesystemen mittels eines eigens entwickelten Python-basierten Optimierungs- und Automatisierungsframeworks sowie zur Entwicklung von KI-Modellen.

Durch kundenspezifische Simulationsstudien werden Fragen, wie die Fähigkeit schwimmender Windenergieanlagen zur Selbstausrichtung und Rückwirkung auf den Energieertrag, beantwortet und der Gültigkeitsbereich aktueller Simulationsmodelle durch Anwendung neuer Validierungsmethoden abgesichert.

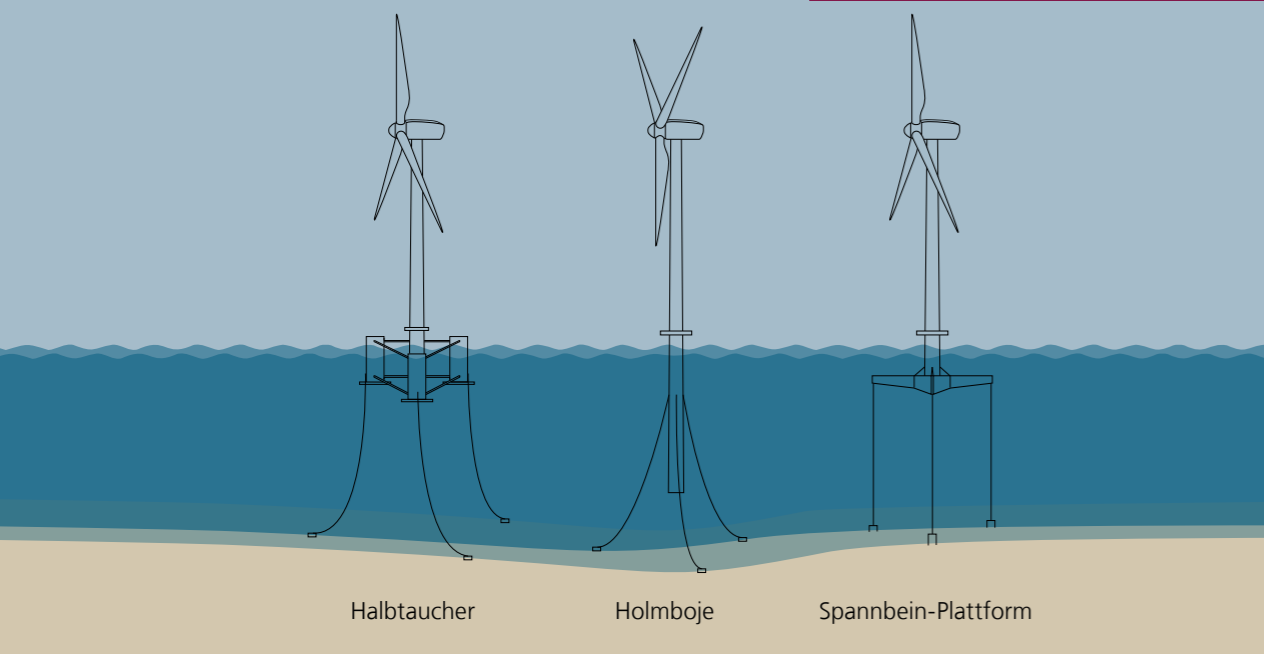


Simulation einer schwimmenden Halbttaucher Offshore-Windenergieanlage in MoWiT

### Unsere Leistungen:

- Kundenspezifische Simulationsstudien von On- und Offshore-Windenergieanlagen
- Analyse der gekoppelten Systemdynamik, Lasten und Frequenzen auch für künftige Anlagengrößen
- Bewertung des Gültigkeitsbereichs von Simulationsmodellen
- Erstellung von echtzeitfähigen Systemmodellen

Das Fraunhofer IWES forscht auf dem Gebiet der schwimmenden Windenergieanlagen und bietet Dienstleistungen von der Modellierung bis zur Validierung numerischer Simulationsmodelle an.



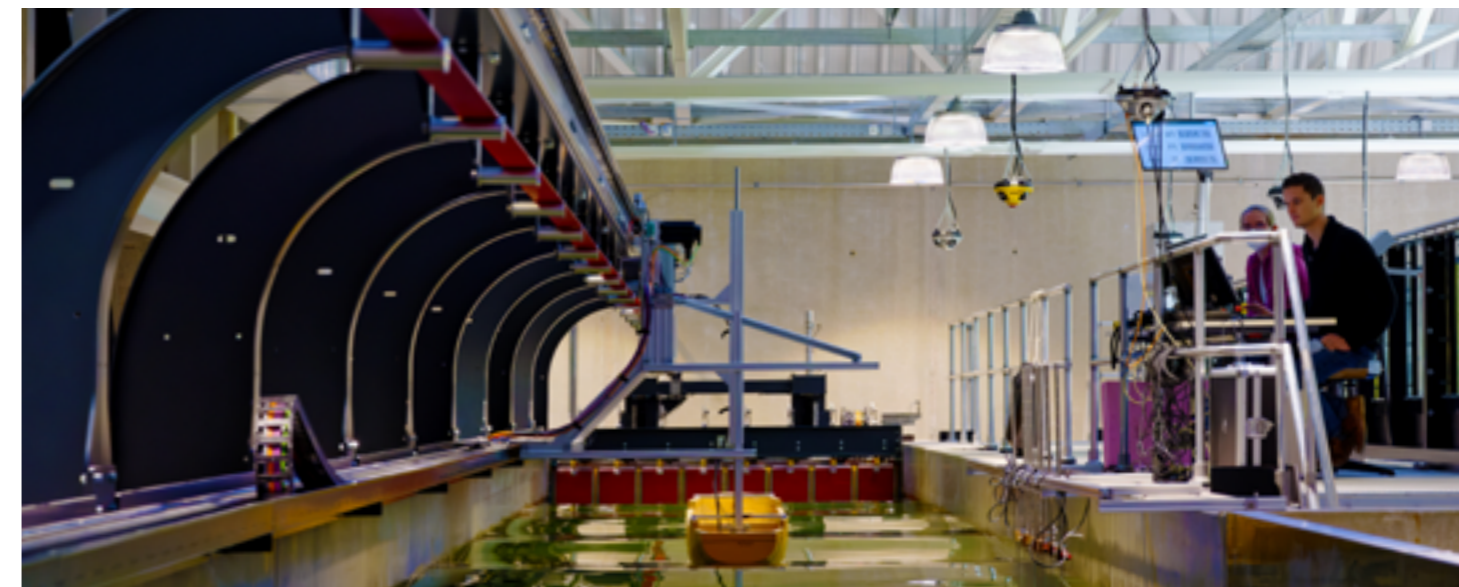
Halbttaucher

Holmboje

Spannbein-Plattform



MEHR INFO



Angesichts der Klimaschutzziele muss auch die Schifffahrt Emissionen reduzieren. Möglich wird dies durch Hybridschiffe mit Segelsystemen und wasserstoffbasierten Antrieben.

# Nachhaltige Maritime Mobilität

## Entwicklung, Bau und Betrieb zukunftsweisender Windantriebssysteme für die Schifffahrt



MEHR INFO

Die Fraunhofer Arbeitsgruppe »Nachhaltige Maritime Mobilität« (NMM) des Fraunhofer IWES stärkt die Forschung und Entwicklung für eine nachhaltige Schifffahrt. Unter gemeinsamer Leitung konzentrieren sich die Teams der Hochschule Emden/Leer in Leer und des Fraunhofer IWES in Bremerhaven auf Windantriebssysteme, Designkonzepte und wissenschaftliche Studien für eine emissionsfreie Schifffahrt.

### Systemunabhängige Forschungs- und Beratungsleistungen für die Berufsschifffahrt

Die Arbeitsgruppe NMM liefert systemunabhängige Forschungs- und Beratungsleistungen zu allen diskutierten Windantriebssystemen für die Berufsschifffahrt. Das Spektrum reicht von Flettnerrotoren, Wing- oder Dyna-Riggs bis zu Membran- und klassischen Tuchsegeln. Im experimentellen Bereich bildet das Maritime Technikum in Leer das Herzstück.

Die einzigartige Prüfinfrastruktur der weiteren Standorte des Fraunhofer IWES ergänzen die Validierungsmöglichkeiten bis zum Originalmaßstab. Durch die langjährige Erfahrung aus dem Bereich der Offshore-Windenergie werden in der Arbeitsgruppe Synergien geschaffen.

### Expertise durch Crossover- und Upscaling-Effekte

Die gemeinsamen methodischen Schwerpunkte liegen im Bereich der maritimen Hydro- und Aerodynamik, der Automatisierungs- und Systemtechnik und der Werkstofftechnologie. Hybride Modellkonzepte ergeben sich aus der Verschnidung leistungsfähiger Modellierung und Simulation mit Messtechnologie im Labor und auf See. Eine besondere gemeinsame Expertise liegt in der Nutzung sogenannter Crossover- und Upscaling-Effekte zwischen Segeltechnologie und klassischen Windenergiesystemen.

### Unsere Leistungen:

- Umfassende Modellierungsexpertise (CFD, FEM, FSI, MBS)
- Verfügbarkeit von Großlaboratorien für vielfältige ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen im Bereich der Schifffahrt und maritimen Technologie
- Hybride Modellkonzepte zur Leistungsprognose von Segelsystemen
- Schiffsführungssimulation für Schiffe mit Windantrieben
- Technische Risikoanalyse für Investoren, Banken und Versicherungsunternehmen

## Prüfung und Systemvalidierung mechanischer Großkomponenten: Fraunhofer IWES steigert die Zuverlässigkeit von Windenergie- anlagenkomponenten

Stochastische Lasten, Schmierstoffeigenschaften variierenden Drehzahlen, Schnittstellen mit komplexen Steifigkeitsprofilen: Die Lebensdauer von Wälzlagern in Windenergieanlagen hängt von zahlreichen Einflüssen ab. Mit dem Large Bearing Laboratory (LBL) verfügt das Fraunhofer IWES über eine einzigartige Methodenkompetenz sowie Prüf- und Forschungsinfrastruktur zur Zuverlässigkeitssteigerung der Großlager. Zur Absicherung von Produkteigenschaften kompletter mechanischer Windenergieanlagen-Antriebsstränge entwickelt und realisiert das Fraunhofer IWES Validierungsstrategien, Prüfkonzepte, Prüfstände, Messmethoden, Prüfkampagnen, CAE-Modelle uvm. Für die Absicherung der Standsicherheit der Turbine müssen bei den Windenergieanlagen-Tragstrukturen – z. B. Turm, Fundamente und notwendige Anbauteile – Design und Fertigung entsprechend der wachsenden Betriebslasten optimiert werden. Das Fraunhofer IWES entwickelt Angebote zur Reduzierung der wirtschaftlichen und technischen Risiken künftiger Tragstrukturen.

Für großmaßstäbliche Gondelprüfungen verfügt das Fraunhofer IWES mit dem Dynamic Nacelle Testing Laboratory über einen funktional weltweit einzigartigen Prüfstand. Er besitzt u.a. ein leistungsstarkes Lasteinleitungssystem (LAS), das als Hexapod mit einem großen Momentenlager ausgestattet ist, und ermöglicht für aus-sagefähige Labortests ein realitätsnahes Testumfeld im Multi-Megawatt-Bereich.

Ausfälle von Triebstrangkomponenten zählen zu den Hauptursachen von Stillstandszeiten. Virtualisierte Tests mittels Simulationsmodell und validierter Messdaten lassen bereits im Entwicklungsprozess kritische Belastungen erkennen. In der Erhebung und Verarbeitung entsprechender Messdaten bietet das Fraunhofer IWES außergewöhnliche Erfahrung.

EINDRUCKS voll



# Tragstrukturen

## Prüfung und Validierung von Tragstrukturen und Methoden

### Unsere Leistungen:

- Prüfung von Tragstrukturen und Komponenten – experimentell und virtuell
- Validierung von Bemessungsansätzen und Designmethoden
- Unterstützung bei der Entwicklung und Markteinführung (inkl. Zertifizierung) neuer Technologien

Die Tragstrukturen einer Windenergieanlage umfassen alle Komponenten, die die Statik der Turbine sicherstellen: Turm, Fundamente und notwendige Anbauteile, den sogenannten Secondary Steel. Sowohl onshore als auch offshore steigen dabei die mechanischen Abmessungen und die Nennleistungen der Anlagen kontinuierlich weiter und damit auch die Betriebslasten, die über die Tragstrukturen aufgenommen werden müssen. Die Komponenten, aus denen diese zusammengesetzt sind, gehören mittlerweile zu den größten Stahlbauteilen überhaupt. Hersteller und Designer sehen sich dabei mit einer Reihe von Herausforderungen konfrontiert: Beispielsweise müssen schwingfeste Schweißverbindungen mit sehr hoher Wandstärke (> 100 mm) sicher hergestellt und das Verhalten des Baugrunds über die Lebensdauer einer Anlage von mindestens 25 Jahren vorausgesagt werden. Das Fraunhofer IWES entwickelt hierfür viele Angebote, die das wirtschaftliche und technische Risiko von Tragstrukturen der nächsten und übernächsten Generation entscheidend senken können.

Mit den steigenden Nennleistungen von Windenergieanlagen nehmen auch die Anforderungen an deren Tragstrukturen kontinuierlich zu. Hersteller sind gefordert, für die wachsenden Betriebslasten Design und Fertigung der notwendigen Bauteile anzupassen. Das Fraunhofer IWES entwickelt zu diesem Zweck zahlreiche methodische Ansätze, die wirtschaftliche und technische Risiken von künftigen Tragstrukturen signifikant verringern können. Im Fokus dabei stehen ein fertigungsgerechtes Design, z. B. Untersuchungen des spezifischen Tragverhaltens von Saugbohrgründungen – sogenannte Suction Caissons – sowie die Entwicklung und Validierung von Materialmodellen, mit deren Hilfe sich der Baugrund z. B. in der Nordsee modellieren lässt. Design und Fertigung einer Tragstruktur für eine Windenergieanlage sind aufgrund der enormen Dimensionen dieser Bauteile immer eine Herausforderung. Wir unterstützen Kunden bei den Installationen on- und offshore.

*Strukturanalysen an Komponenten und Großmodellen*



MEHR INFO

# Großwälzlager

## Mit innovativen Testmethoden und Systemverständnis zu höherer Zuverlässigkeit

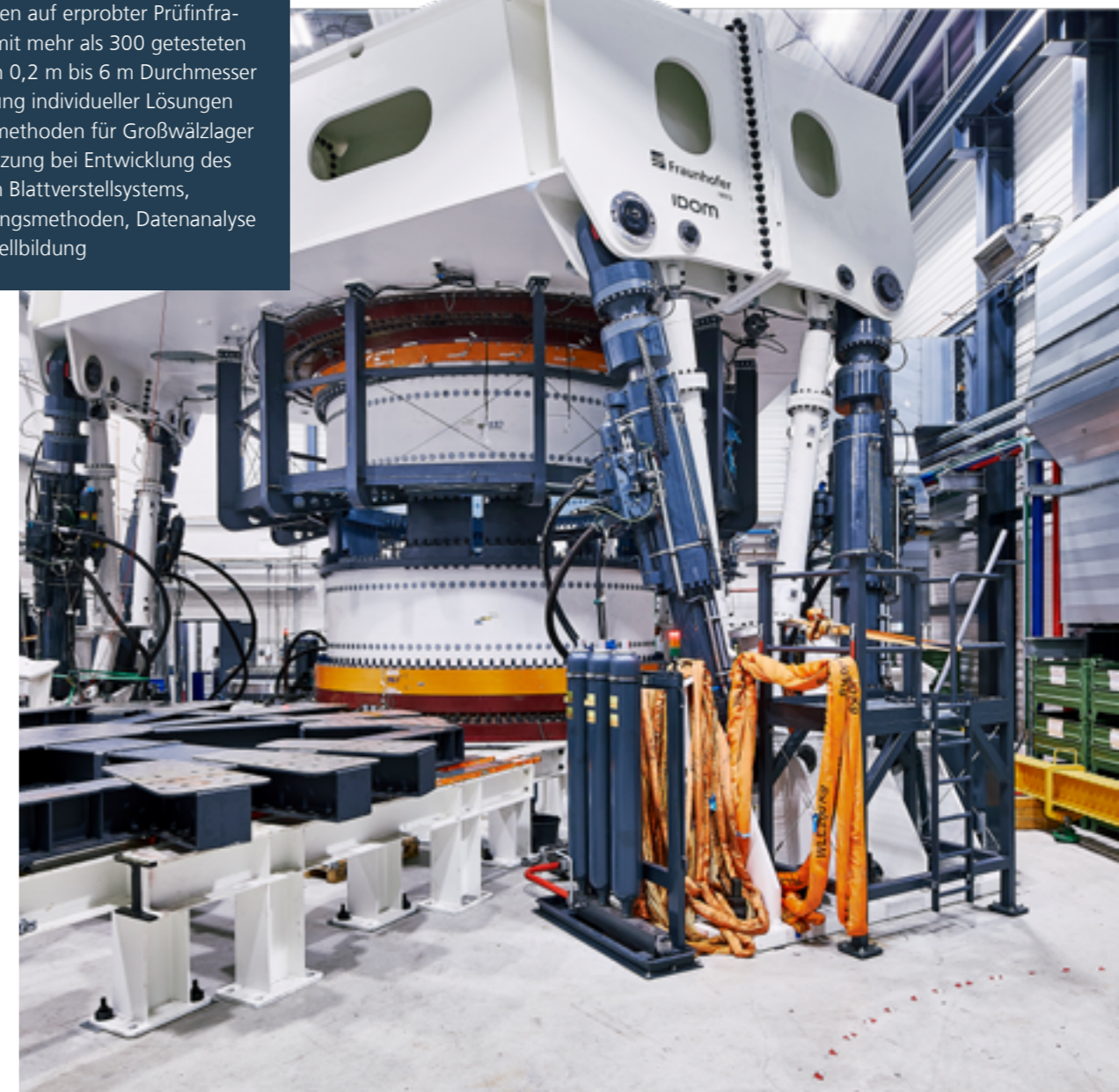
Wälzlager erreichen in den meisten industriellen Anwendungen eine sehr hohe Lebensdauer. Die Einsatzbedingungen für und die Anforderungen an die Wälzlager von Windenergieanlagen unterscheiden sich jedoch maßgeblich von Standardanwendungen: Hohe stochastische Lasten, oszillierende Schwenkbewegungen, ständig variierende Drehzahlen und Schnittstellen mit komplexen Steifigkeitsprofilen erschweren die Auslegung und können dazu führen, dass Ausfälle weit vor Ende der berechneten Lebensdauer nicht ungewöhnlich sind.

Insbesondere im Bereich der Rotorblattlager betreibt das Team des Fraunhofer IWES mit dem Large Bearing Laboratory (LBL) eine einzigartige Forschungsinfrastruktur und hat entsprechende Methodenkompetenz aufgebaut. Von validierten Berechnungsmethoden, der Ausfallursachenanalyse bis zu skalierten, realmaßstäblichen und dabei stets anwendungsnahen Prüfungen bietet das LBL alles an, um die Windenergiebranche bei Auslegung, Betrieb und Eigenschaftsvalidierung im Bereich dieser anspruchsvollen Komponenten zu unterstützen.

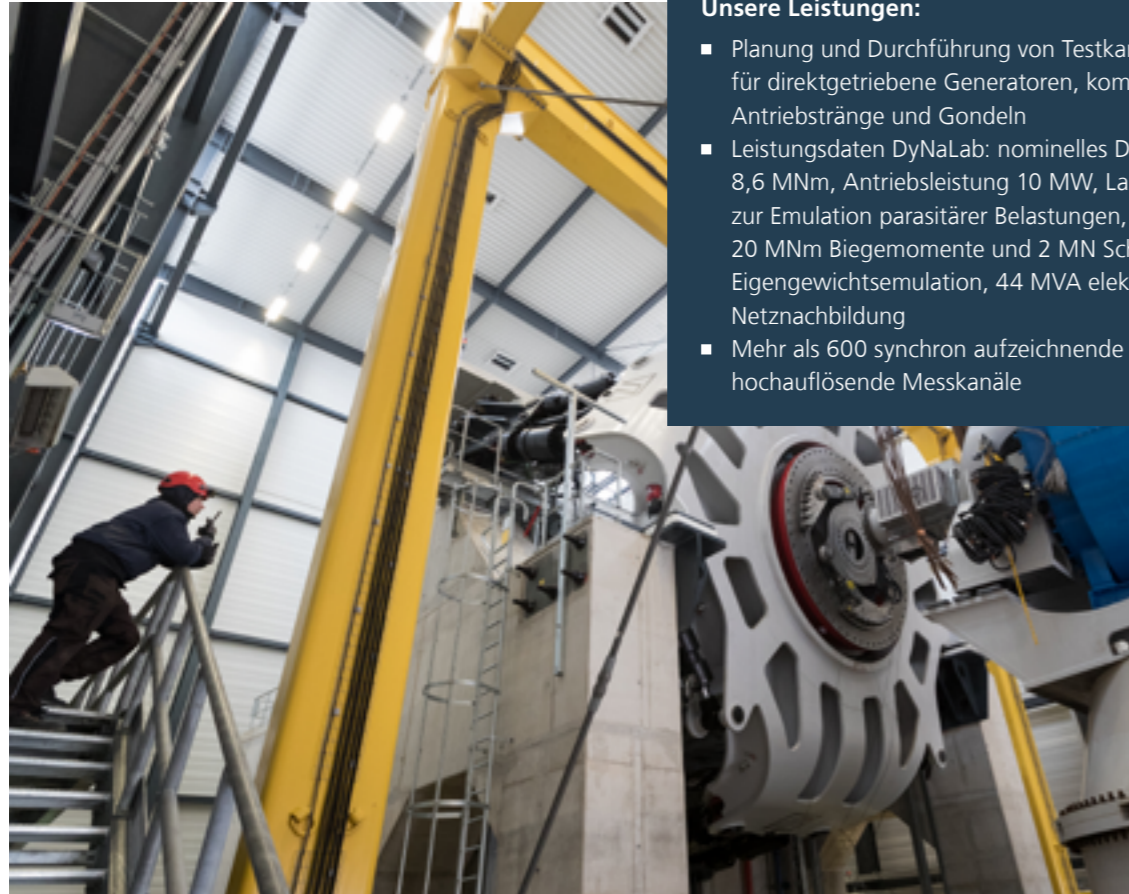
### Unsere Leistungen:

- Anwendungsnahe Forschung und Entwicklung im Bereich großer Wälzlager von Windenergieanlagen
- Planung und Durchführung von Testkampagnen auf erprobter Prüfinfrastruktur mit mehr als 300 getesteten Lager von 0,2 m bis 6 m Durchmesser
- Entwicklung individueller Lösungen und Testmethoden für Großwälzlager
- Unterstützung bei Entwicklung des gesamten Blattverstellungssystems, Berechnungsmethoden, Datenanalyse und Modellbildung

*Mit dem BEAT 6.1 prüft das Fraunhofer IWES Wälzlager mit 6 m Lagerdurchmesser.*



MEHR INFO



Supraleitender Generator auf dem Prüfstand

#### Unsere Leistungen:

- Planung und Durchführung von Testkampagnen für direktgetriebene Generatoren, komplette Antriebstränge und Gondeln
- Leistungsdaten DyNaLab: nominelles Drehmoment 8,6 MNm, Antriebsleistung 10 MW, Lasteinleitung zur Emulation parasitärer Belastungen, bis zu 20 MNm Biegemomente und 2 MN Schubkraft, Eigengewichtsemulation, 44 MVA elektronische Netznachbildung
- Mehr als 600 synchron aufzeichnende hochauflösende Messkanäle



MEHR INFO

## Mechanische und elektrische Gondeleigenschaften

### Untersuchung und Prüfung

Wettbewerbsdruck und zunehmende Professionalisierung der Branche erhöhen die Anforderungen an Windenergieanlagengondeln. Neue Designs der Anlagen müssen bereits mit dem Serienstart zuverlässig laufen.

Vor der Finanzierungszusage verlangen Investoren zu meist den Nachweis umfangreicher Betriebserfahrung. Für Hersteller bedeuten Modifikationen sowie Neuentwicklungen erhebliche wirtschaftliche Risiken. Eine experimentelle Validierung von Prototypen und Nullserienanlagen auf Großprüfständen verringert diese Risiken, beschleunigt die Zertifizierung und sorgt für bessere Planbarkeit.

Der höhere Anteil regenerativer Quellen in den Verteil- und Übertragungsnetzstrukturen lässt die Anforderungen an die

Netzintegration von Windenergieanlagen weiter steigen. Normen und Richtlinien müssen diese Entwicklung berücksichtigen. Zwingend erforderliche Anlagenzertifikate für Neu- und Weiterentwicklungen gewährleisten einen netzkonformen Betrieb und garantieren den dauerhaften Netzanschluss und Erhalt von Einspeisevergütungen.

Mit effizienten Testmethoden unterstützt das Fraunhofer IWES Anlagenhersteller dabei, steigenden Anforderungen gerecht zu werden. Das DyNaLab bietet realitätsnahe Prüfbedingungen im Multimegawattbereich. Die Kombination aus mechanischen Tests mit einem Netzemulator zur Prüfung von Windenergieanlagen mit einer Nennleistung von bis zu 10 MW ist in dieser Konfiguration weltweit einzigartig.

## Antriebstrang

### Modellentwicklung, -validierung und virtuelle Prüfung von Triebsträngen von Windenergieanlagen



MEHR INFO

Antriebstränge von Windenergieanlagen sind im Betrieb komplexen dynamischen Belastungen ausgesetzt. Ausfälle in diesem komplexen Teilsystem zählen zu den Hauptursachen von Stillstandszeiten. Moderne Simulationstools wie Mehrkörpersimulation (MKS), finite Elemente Methode (FEM) sowie die Integration Multi-Domain-Modelle erhöhen das Systemverständnis. Auslegungsprozesse können so verbessert, die Zuverlässigkeit des Triebstrangs erhöht werden.

Virtuelle Tests mittels Simulation lassen bereits im Entwicklungsprozess Belastungen erkennen. Kostenintensive physikalische Prüfungen lassen sich so ergänzen, gegebenenfalls erweitern und Optimierungsansätze mit Hilfe von Parametervariationen überprüfen. Zur Sicherstellung der Gültigkeit der verwendeten Modelle ist eine Validierung mit Messdaten wichtig. Das Fraunhofer IWES greift dazu auf jahrelange Erfahrung in der Erhebung und Verarbeitung entsprechender Messdaten zurück. Nur validierte Simulationsmodelle erlauben verlässliche Aussagen über bestehende und neue Triebstrangkonzepete.

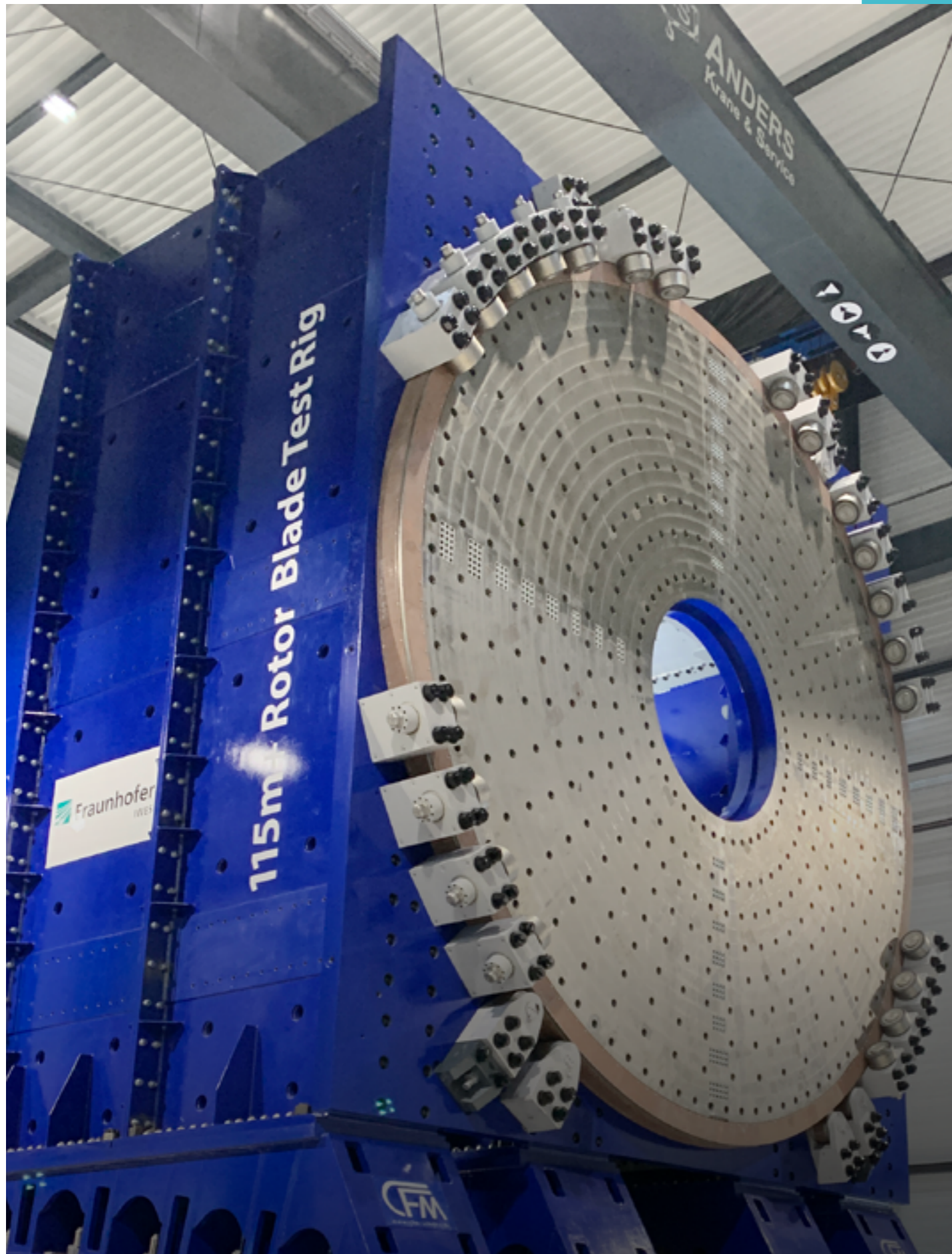
Aufgrund des ständigen Leistungs- und Größenwachstums von Anlagen und ihren Antriebsträngen, sind viele der heute noch aktuellen Systemprüfstände in immer kürzeren Zeiträumen in einigen ihrer technischen Parameter nicht mehr ausreichend, um die zukünftigen Turbinen in ihrem gesamten Betriebsbereich vollständig zu testen. Um dieser Herausforderung zu begegnen, entwickeln wir am Fraunhofer IWES den methodischen Ansatz des hybriden Testens. Dieser kombiniert physikalische Prüfungen mit modernen Simulationmethoden, um so z. B. die komplette Prüfung von Antriebsträngen auch oberhalb der Maximallast des Prüfstands zu ermöglichen.

#### Unsere Leistungen:

- Entwicklung und Validierung detaillierter Simulationsmodelle von Triebsträngen
- Untersuchung von Triebstrangdynamik und -belastung auf Basis virtueller Prüfungen
- Virtualisierung von Prüfungen und neuartige Prüfansätze wie z. B. das hybride Testen
- Entwicklung neuer Prüfstände und Messmethoden
- Planung und Durchführung von Prüfkampagnen und messtechnischen Auswertungen
- Versuchsbegleitende CAE-Modellentwicklung und -validierung
- Unterstützung bei der Bauteiloptimierung (konstruktiver Leichtbau usw.)



Zur Steigerung der Zuverlässigkeit von Antriebsträngen ist ein genaues Verständnis der wirkenden dynamischen Belastungen und Betriebszustände erforderlich.



# GROSSartig

## Rotorblätter

### Von innovativen Testmethoden bis zum effizienten Prozess

Rotorblätter großer Offshore-Windenergieanlagen haben mittlerweile die 100-Meter-Marke deutlich überschritten. Weiteres Wachstum bringt die strukturellen Lastreserven der Designs an ihre Grenzen. Das gründliche Verständnis des komplexen mechanischen Verhaltens von Verbundwerkstoffen unter Ermüdungsbeanspruchung ist daher unerlässlich. Für die zuverlässige, effiziente Fertigung von Rotorblättern dieser Größenordnung sind Fortschritte in den Produktionstechniken und in der Automatisierung erforderlich.

Das Fraunhofer IWES kann mit Hilfe seiner einzigartigen Forschungsinfrastruktur die Windenergiebranche skalenübergreifend und in allen technischen Domänen unterstützen. Das Institut bietet alles, was für die Forschung an und Entwicklung von Rotorblättern benötigt wird. Von den Micro-CT-Scans der Faserorientierung bis zur Ganzblattprüfung der Rotorblätter, von innovativen Fertigungstechnologien bis zur Wiederverwertung von End-of-Lifetime (EoL)-Rotorblättern und vieles mehr.

*Der moderne Prüfstand bietet umfassende Testmöglichkeiten für Rotorblätter mit einer Länge von mehr als 115 Metern.*

### Hohe Verlässlichkeit dank intensiver Validierung

Um zu gewährleisten, dass Windenergieanlagen-Rotorblätter mehr als 20, 25 oder sogar 40 Jahre verlässlich funktionieren, ist eine skalenübergreifende intensive Validierung erforderlich. Das Fraunhofer IWES betreibt ein IECRE-anerkanntes Labor zur Prüfung von Rotorblättern, das mit drei Prüfständen für Zertifizierungstests nach IEC 61400-23 ausgestattet ist. Der größte Prüfstand ist dabei für eine maximale Amplitude von 140 MNm für das Ermüdungsbiegemoment ausgelegt.

Nach mehr als 40 erfolgreich abgeschlossenen Ganzblattprüfungskampagnen ist das Fraunhofer IWES branchenweit für sein hohes Maß an Verlässlichkeit, Flexibilität und Reaktionsfähigkeit bekannt. Unter den führenden Forschungsinstituten ist das Fraunhofer IWES Pionier bei der Anwendung innovativer Methoden zum Testen von Rotorblättern. So steht z. B. das biaxiale Testen in einer 1:1-elliptischen Exzitation für kommerzielle Tests zur Verfügung. Gleiches gilt für den sequenziellen Ansatz zur segmentierten Prüfung von sehr langen Rotorblättern.

Modulare Prüfstände, die verschiedene Blattspitzensegment- und 1:1-Subkomponentenprüfungen ermöglichen, komplettieren das Dienstleistungsportfolio. Bei der Entwicklung neuer Testmethoden setzt das Fraunhofer IWES ein selbstentwickeltes Softwaretool zur Vorbereitung und Optimierung der Prüfaufbauten ein. Dieses Tool steht auch unseren Kunden zur Verfügung.



### Tiefes Verständnis von Werkstoffen und Fertigungsprozessen

Die präzise Vorhersage des Ermüdungsverhaltens von Verbundwerkstoffen erfordert ein tiefes Verständnis von Werkstoff und Fertigungsprozessen. Das Fraunhofer IWES betreibt daher ein DAkkS-akkreditiertes Werkstofflabor. Natürlich bieten wir auch Standard-Werkstoffprüfungen an, unsere eigentliche Stärke ist allerdings die Entwicklung neuer Prüfaufbauten für Sonderanforderungen. Im Leading Edge Lab (LEP) werden Systeme bezüglich Regenerosion und der Entstehung von Eisansatz getestet.

Das Fraunhofer IWES ist das einzige Institut, das Prüfkörper von der Größe eines Coupons bis hin zu einem Ganzblatt fertigen kann. Dies hilft bei der Aufgabe, die Verarbeitung neuartiger Werkstoffe zu prüfen, und unterstützt die reibungslose Markteinführung. Gleichzeitig ermöglicht die Fertigung großer Komponenten die Validierung fertigungszentrierter Werkstoffmodelle, wie z. B. fortgeschrittenere Modelle der Aushärtungskinetik.

### Unterstützung kundenspezifischer Lösungen

Automatisierte Fertigungsprozesse sind bei Windenergieanlagen-Rotorblättern stets eine fallbasierte Entscheidung. Es kommt dabei insbesondere darauf an, eine optimale Balance zwischen Investitionskosten, Fertigungsgeschwindigkeit, Flexibilität der Fertigung, Betriebskosten und Verlässlichkeit des Rotorblattes im Feld zu erzielen.

Das Fraunhofer IWES bietet Unterstützung bei der Suche nach optimalen Lösungen für Fertigungsherausforderungen. Dabei kombinieren und integrieren wir existente kommerzielle Produkte unter Berücksichtigung individueller, kundenspezifischer technologischer Entwicklungen. Das BladeMaker-Demonstrationszentrum ist eine ideale Entwicklungslandschaft sowohl für uns als auch für unsere Kunden. Zusätzlich arbeitet das Fraunhofer IWES selbstständig an Prozessentwicklungen, wie z. B. der einstellbaren Klebstoffführung.



### Unsere Leistungen:

- Forschung, Entwicklung, Validierung, Prozessentwicklung
- IECRE-anerkanntes Labor
- DAkkS-akkreditiertes Werkstofflabor
- Prüfstände für notwendige (Zertifizierungs-)Tests
- Lösungen für kundenspezifische Fertigungsprozesse



MEHR INFO



Rotorblattfertigung am Fraunhofer IWES

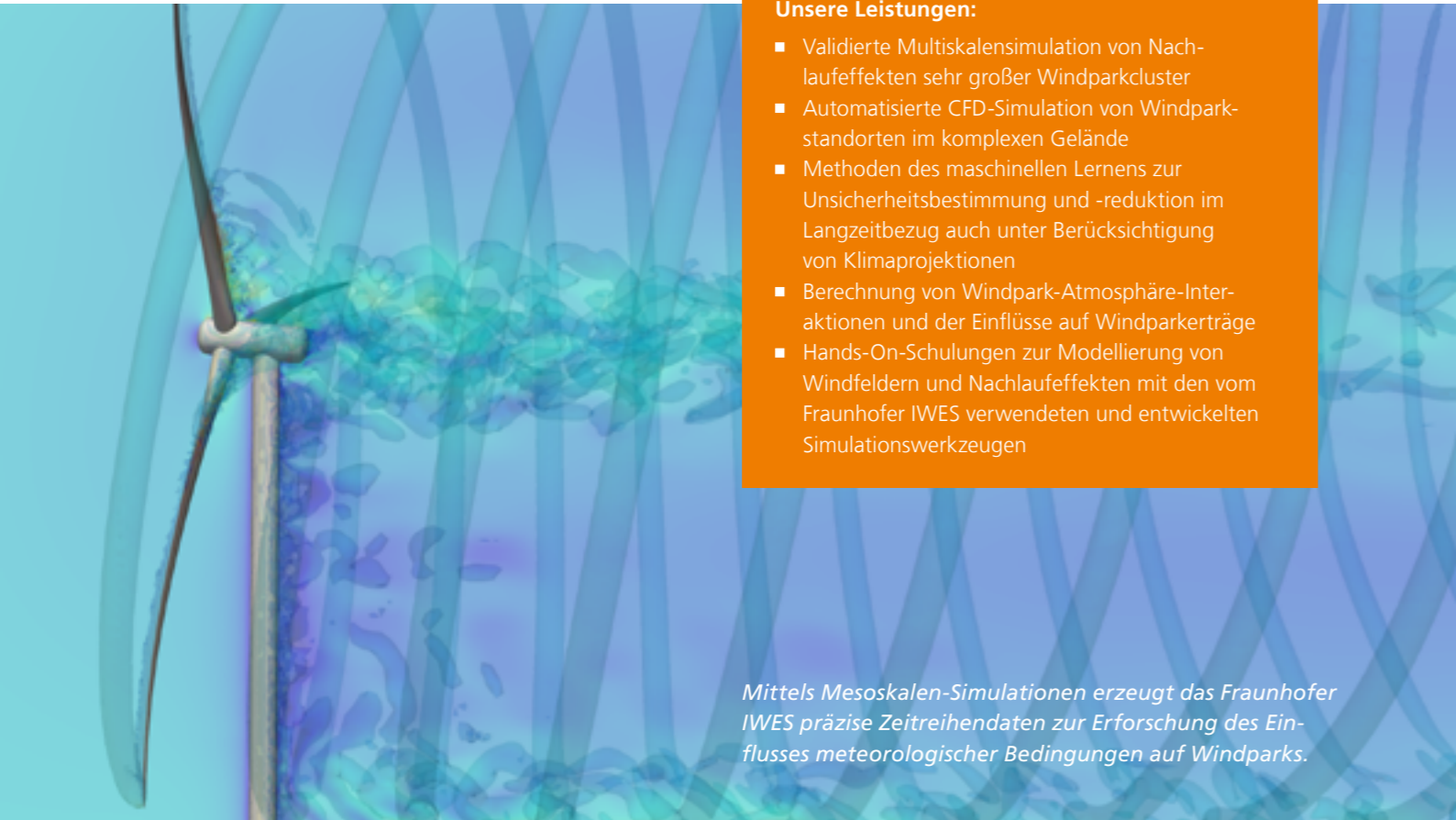
# WINDschnittig

## Windmessung und -modellierung: Standorte bewerten – von der punktuellen Windmessung bis hin zur Modellierung großskaliger Windfelder

Onshore wie offshore sind Windenergieanlagen komplexen Bedingungen ausgesetzt. Entsprechend unterschiedlich sind die Herausforderungen an die numerische Simulation und Bewertung potenzieller Standorte, entsprechend unverzichtbar sind exakte Modellierungen von Windfeldern. Das Fraunhofer IWES ist bei der Optimierung numerischer Methoden und Datensätze auf allen relevanten Skalen aktiv, um den Anforderungen der Industrie gerecht zu werden. So beeinflussen die Windparameter etwa bei der Errichtung von Offshore-Windparks Design und Auslegung der Windenergieanlagen sowie ihrer Komponenten inklusive der Fundamente und Türme. Um die numerischen Modelle passgenau für die Standorte zu machen, führt das Fraunhofer IWES Offshore-Lidar-Messungen durch. Dafür haben wir Lidar-Messbojen entwickelt, die auf hoher See meteorologische und ozeanografische Messdaten aufnehmen. Mit innovativen Messkonzepten – unter Verwendung verschiedener Remote-Sensing-Technologien – erfasst das Fraunhofer IWES die Windverhältnisse.



*Schnell, zuverlässig und kostengünstig liefert die Lidar-Boje die erforderlichen Messdaten für die Planung eines Offshore-Windparks.*



- Unsere Leistungen:**
- Validierte Multiskalensimulation von Nachlaufeffekten sehr großer Windparkcluster
  - Automatisierte CFD-Simulation von Windparkstandorten im komplexen Gelände
  - Methoden des maschinellen Lernens zur Unsicherheitsbestimmung und -reduktion im Langzeitbezug auch unter Berücksichtigung von Klimaprojektionen
  - Berechnung von Windpark-Atmosphäre-Interaktionen und der Einflüsse auf Windparkerträge
  - Hands-On-Schulungen zur Modellierung von Windfeldern und Nachlaufeffekten mit den vom Fraunhofer IWES verwendeten und entwickelten Simulationswerkzeugen

Mittels Mesoskalen-Simulationen erzeugt das Fraunhofer IWES präzise Zeitreihendaten zur Erforschung des Einflusses meteorologischer Bedingungen auf Windparks.

## Aerodynamik

### Windfeldmodellierung: Multiskalensimulation von Wind- und Nachlaufeffekten



MEHR INFO

Der globale Ausbau der Windenergie findet unter unterschiedlichen Umweltbedingungen statt. Während an Land, onshore, Windparks vermehrt in sehr komplexem Gelände geplant und gebaut werden, werden auf See, offshore, große „Kraftwerke“ mit mehreren hundert von Windenergieanlagen errichtet, die mit der marinen atmosphärischen Grenzschicht interagieren. Die Herausforderungen in der numerischen Simulation und Bewertung der Standorte sind entsprechend unterschiedlich.

Die Modellierung von Windfeldern wird vor allem zur Ergänzung von Windmess- und Ertragsdaten in Raum und Zeit oder aber zur Simulation zukünftiger Planungszustände benötigt. Das Fraunhofer IWES ist seit mehr als zehn Jahren in der Weiterentwicklung, Verbesserung und Anwendung von numerischen Methoden und Datensätzen auf allen relevanten Skalen aktiv. Dabei werden vor allem Open-Source-Modelle und Methoden verwendet.

Die numerische Simulation von Windenergiestandorten erfordert die Anwendung unterschiedlicher Methoden, um den Anforderungen der Industrie an Genauigkeit und Geschwindigkeit, aber auch den unterschiedlichen assoziierten Skalen gerecht zu werden. Zu diesem Zweck wurden am Fraunhofer IWES in den vergangenen Jahren verschiedene Werkzeuge zur numerischen Standortbewertung zur Berechnung von Windfeldern und Windparkerträgen bei komplexen Geländegeometrien sowie zur Berechnung von Windenergieanlagen und Windparknachläufen entwickelt.



## Windmessung

### Punktuelle Windmessung



MEHR INFO

Offshore-Windparks werden zunehmend an Standorten meist fernab der Küste errichtet, an denen die Windverhältnisse nicht in ausreichender Genauigkeit bekannt sind. Selbst an in der Vergangenheit vermessenen Standorten führen nachträglich gebaute Windparks mit ihren Nachlaufeffekten zu einer Veränderung der vorherrschenden Windressource. Die verschiedenen Windparameter sind nicht nur zur Bestimmung des Windpotenzials notwendig und somit für die Wirtschaftlichkeitsberechnung eines Windparks, sondern auch für das Design bzw. die Auslegung der Windenergieanlage und ihrer Komponenten inklusive der Fundamente und Türme. Genaue Messdaten, geringe Messunsicherheiten und zudem eine hohe Verfügbarkeit sind meist unverzichtbar. Das Fraunhofer IWES hat hierfür eine eigene Messboje entwickelt, welche auf hoher See für die Windindustrie relevante meteorologische und ozeanografische Messdaten aufnimmt. Ebenso erstellt das Fraunhofer IWES innovative Messkonzepte unter der Verwendung einer Vielzahl verschiedener Remote-Sensing-Technologien.

Das Fraunhofer IWES beschäftigt sich seit 2009 mit der Entwicklung von Floating-Lidar-Systemen sowie mit Methodiken zur Korrektur der Messdatenverfälschung aufgrund der Eigenbewegung der Lidar-Boje. Der erste Prototyp der Fraunhofer IWES Wind-Lidar-Boje wurde 2013 erstmals offshore getestet und seit 2017 auch für die kommerzielle Messung zur Bestimmung des Offshore-Windpotenzials eingesetzt. Das Fraunhofer IWES übernimmt neben der Datenanalyse auch die Planung der Messkampagne samt Installation, Betrieb und Wartung der Lidar-Boje.

Messkampagne mit einer Lidar-Boje zur Windpotenzialermittlung



- Unsere Leistungen:**
- Innovative Messkonzepte und Messstrategien
  - Durchführung von komplexen Messkampagnen
  - Charakterisierung von Windfeldern
  - Lidar-Bojen-Technologie

# WEITreichend

## Zuverlässigkeit, Monitoring und Ertragsanalyse: Wie das Fraunhofer IWES die Effizienz von Offshore-Windparks signifikant steigert

Gemeinsam mit anderen Akteuren hat das Fraunhofer IWES die Installation und den Betrieb zahlreicher Windenergieanlagen unterstützt. Dabei ist, neben der einmaligen Expertise, eine einzigartige Felddatensammlung entstanden. Sie trägt wesentlich dazu bei, die Zuverlässigkeit von Windenergieanlagen-Komponenten signifikant zu steigern, Kosten und Risiken effektiv zu verringern, OPEX-Modellierungen und Kosten-Nutzen-Analysen zu realisieren. Wir entwickeln für die Ausfallfrüherkennung und eine Restlebensdauerabschätzung, gekoppelte physikalische und felddatenbasierte Modelle und Methoden. Das Fraunhofer IWES realisiert zudem numerische Strömungssimulationen (CFD) zum Schutz der elastischen Rotorblätter. So lassen sich Anfälligkeiten der Blätter für Schwingungen – etwa bei Stillstand oder Trudeln der Anlage – erkennen und reduzieren. Für ein leistungsfähiges Projekt- und Risikomanagement bietet das Fraunhofer IWES Projektplan- und Wetterrisikoanalysen an, um frühzeitig potenzielle Risiken zu bewerten. Mittels Post-Construction- und Performance-Analysen beurteilt das Fraunhofer IWES Leistung und Effizienz bestehender Offshore-Windparks. Ebenfalls im Portfolio: optimierte Instandhaltungskonzepte, Beurteilung bestehender Konzepte und Optimierung der O&M-Logistik, um maßgeschneiderte, kosteneffiziente Lösungen zu kreieren.

*Die intelligente und optimierte Steuerung  
führt zu mehr Energieerträgen im Windpark.*

## Technische Zuverlässigkeit

### Besseres Verständnis und Verbesserung von O&M-Aktivitäten



MEHR INFO

Das Fraunhofer IWES weist eine lange Erfolgsgeschichte bei öffentlich geförderten Projekten zu den Themen Zuverlässigkeit von Leistungsumrichtern, Ursachenanalyse, Zustandsüberwachung und Digitalisierung von O&M-Daten vor. Zusätzlich verfügt das Fraunhofer IWES über Erfahrungen in der O&M-Modellierung, Kosten-Nutzenanalyse und Optimierung von O&M-Strategien auf der Basis von Felddaten.

#### Verlässlichere Komponenten dank einzigartiger Felddatensammlung

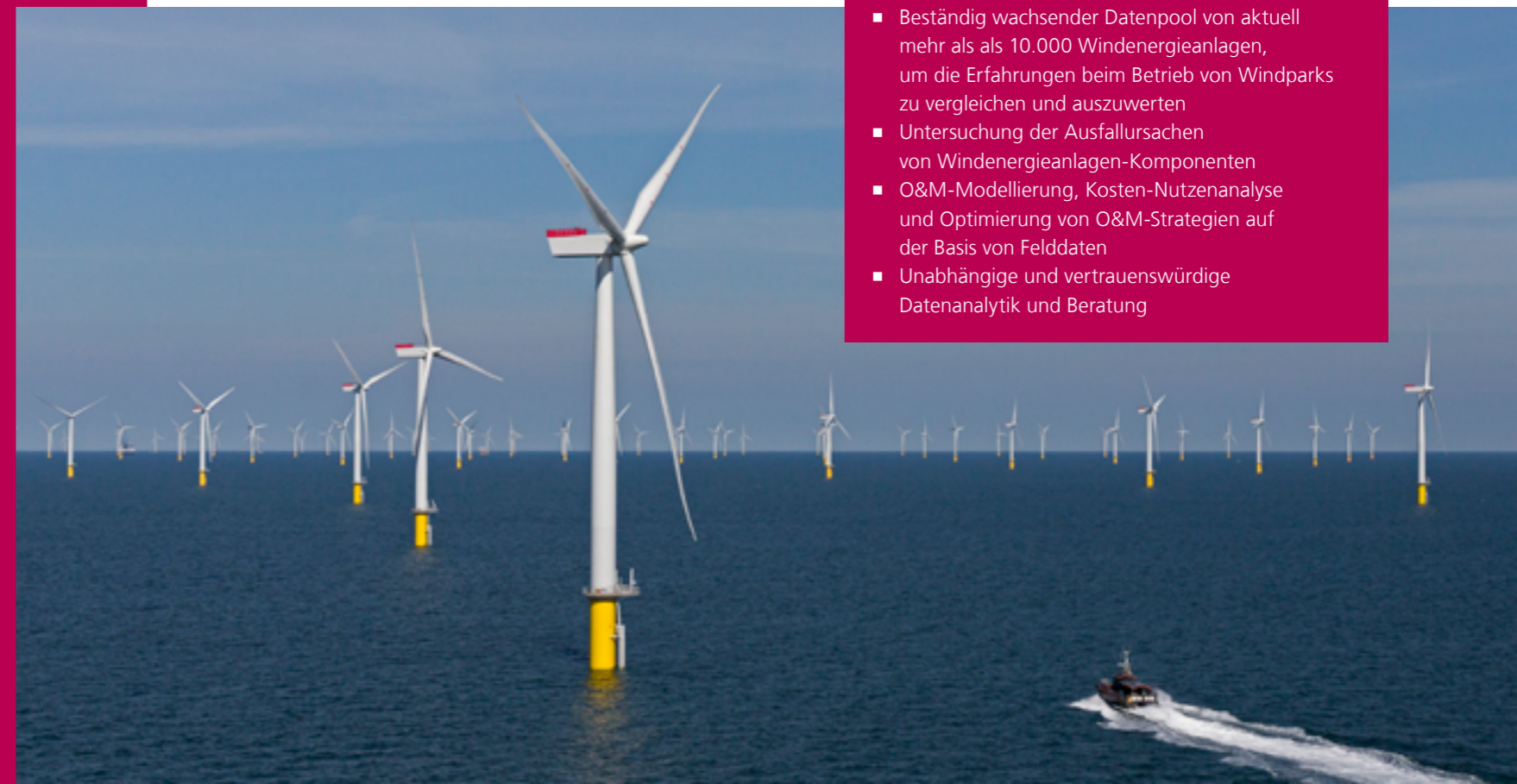
Durch viele Jahre Forschung hat das Fraunhofer IWES eine umfangreiche Fachkompetenz im Bereich der Untersuchung von Ausfallursachen von Komponenten erworben. Dies geschieht in enger Zusammenarbeit mit Akteuren aus allen Teilen der Wertschöpfungskette. Ziel dabei ist, die Zuverlässigkeit zu verbessern und sowohl Kosten als auch verknüpfte Risiken zu verringern.

In Projekten hat das Fraunhofer IWES eine umfangreiche, stetig wachsende Sammlung an Felddaten von mehr als 10.000 Windenergieanlagen generiert. Aufgrund seiner Größe, Vielfalt und Aktualität ist dieser Datensatz einzigartig und deckt eine Vielzahl von Windenergieanlagen-Altersklassen, -Herstellern und -Aufstellungsorten ab. Auf Basis dieses Datensatzes liefert das Fraunhofer IWES Zuverlässigkeitsdaten für die OPEX-Modellierung und Kosten-Nutzen-Analyse. Zusätzlich bietet das Fraunhofer IWES Lösungen für die Ausfallfrüherkennung und führt Ausfallursachenanalysen auf der Basis von Felddaten durch.

Die Post-Construction-Analyse liefert zusätzlich Ertrags- und Performanceinformationen. Durch die Kombination von Windpark-Ertragsdatenanalysen mit numerischen Methoden und Modellen können die Ursachen für die Performance eines Windparks isoliert betrachtet werden.

#### Unsere Leistungen:

- Beständig wachsender Datenpool von aktuell mehr als 10.000 Windenergieanlagen, um die Erfahrungen beim Betrieb von Windparks zu vergleichen und auszuwerten
- Untersuchung der Ausfallursachen von Windenergieanlagen-Komponenten
- O&M-Modellierung, Kosten-Nutzenanalyse und Optimierung von O&M-Strategien auf der Basis von Felddaten
- Unabhängige und vertrauenswürdige Datenanalytik und Beratung



Das Fraunhofer IWES nutzt sein langjähriges Know-how im Bereich der Hochleistungsrechnungen, um die CFD-Berechnungen optimiert und effizient durchzuführen.

#### Unsere Leistungen:

- Komplexe aeroelastische Systemanalysen
- Simulation von im Stillstand schwingender Rotorblätter
- Untersuchungen von Schwingungen an trudelnden Anlagen
- Simulationsbasierte Validierung von technischen Konzeption zur Schwingungsreduktion
- Umfassende, praxisnahe Schulungen zur Nutzung von OpenFoam für Strömungsanalysen in gekoppelten Systemen



MEHR INFO

## Numerische Ertrags- und Standortanalyse

### Gegenmaßnahmen bei zu starken Schwingungen: Anfälligkeiten von Rotorblättern identifizieren

Ein Stillstand oder Ausfall einer Windenergieanlage kann zum Trudeln der Anlage führen. Dies wiederum kann zur Folge haben, dass Wind bei sehr hohen Anstellwinkeln auf die Rotorblätter trifft. Dabei kommt es zu Wirbelablösungen, welche stark wechselnde Lasten an den Blättern auslösen und die Rotorblätter in Schwingungen versetzen können. Je nach Intensität der Schwingungen können sie das Blatt oder die Anlage beschädigen oder gar zerstören. Weil es für diesen Vorgang noch keine zuverlässigen Modelle gibt, führt das Fraunhofer IWES numerische Strömungssimulationen (engl. Computational Fluid Dynamics – CFD) an elastischen Rotorblättern durch. Damit wird es möglich, die Anfälligkeit eines Rotorblattes für solche Schwingungen unter bestimmten Szenarien zu identifizieren und ggf. Gegenmaßnahmen einzuleiten.

**Numerische Strömungssimulation als Lösungsansatz**  
Rotorblätter von Windenergieanlagen werden aktuell schlank und flexibel gebaut. Dies hat verschiedene, auch aerodynamische, Vorteile. Ein Nachteil ist, dass sich durch die Flexibilität ungewünschte Schwingungen aufbauen können. In der Auslegung der Blätter kann für den Standardbetrieb der Anlagen das Verhalten der Rotorblätter recht gut bestimmt und berechnet werden. Dies ist jedoch nicht der Fall, wenn das Strömungsverhalten an den Blättern stark instationär wird, z. B. aufgrund von Wirbelablösungen. Das passiert bei hohen Windgeschwindigkeiten oder in Fällen, in denen die Anlage nicht im Betrieb ist oder, im Extremfall, nicht mehr gesteuert werden kann. Numerische Strömungssimulationen erlauben genau dieses Problem durch einen physik-basierten Ansatz der Strömungsrechnung zu untersuchen. Das Fraunhofer IWES hat in dem Open-Source-Code OpenFoam die Möglichkeit einer Strömungsstruktur-gekoppelten Simulation geschaffen.

## Offshore-Logistik

### Projekt- und Risikomanagement für Offshore-Windparks: Kosten minimieren und Effizienz steigern

#### Unsere Leistungen:

- Projektplananalysen und qualitative Beurteilung von Ablaufplanungen in der Projektlogistik
- Identifizierung, Analyse und Bewertung von Wetterrisiken
- Post-Construction- und Performance-Analysen sowie KPI-Evaluierung von Offshore-Windparks und deren Assets
- Beurteilung und Optimierung der O&M-Prozesse eines Offshore-Windparks
- Consulting im Bieter- und Claim-Management von Offshore-Projekten

Ein leistungsfähiges Projekt- und Risikomanagement bildet die Grundlage für eine erfolgreiche und kosteneffiziente Planung, Errichtung und Betrieb von Offshore-Windparks. In der Planungs- und Ausführungsphase bietet das Fraunhofer IWES Projektplan- und Wetterrisikoanalysen an, um potenzielle Risiken frühzeitig zu identifizieren und zu bewerten. Dank seiner Expertise kann das Fraunhofer IWES dabei helfen, Risiken zu minimieren und die Effizienz der Projektlogistik zu optimieren.

Für bereits errichtete Offshore-Windparks lassen sich mit den Post-Construction- und Performance-Analysen Leistung und Effizienz des Parks bewerten. Basierend auf den Ergebnissen kann das Fraunhofer IWES Empfehlungen zur Optimierung geben. Durch die konzeptionelle Auslegung von Instandhaltungskonzepten für Offshore-Windparks sowie die Beurteilung bestehender Konzepte hilft das Fraunhofer IWES, die optimale Betriebsstrategie für Windparks zu finden und Kosten zu minimieren.

Darüber hinaus bietet das Fraunhofer IWES die Optimierung der O&M-Logistik an, um Betrieb und Instandhaltung der Offshore-Windparks effizienter zu gestalten. Das Fraunhofer IWES analysiert die logistischen Prozesse und entwickelt maßgeschneiderte Lösungen, um die Verfügbarkeit der Turbinen zu maximieren und die Betriebs- und Instandhaltungskosten zu optimieren.



MEHR INFO

*Das Projekt- und Risikomanagement  
von Offshore-Windparks minimiert  
Kosten und steigert die Effizienz.*







**Das Fraunhofer IWES:  
einmalige Infrastruktur, Erfahrung  
und Innovationsgeist unter einem Dach.  
Fit für alle Herausforderungen der  
Wind- und Wasserstoffbranche!«**

Prof. Dr.-Ing. Andreas Reuter  
Institutsleiter



## Angewandte Forschung für Kunden

Das Fraunhofer IWES steht für starke Kooperationen und inhaltliche Zusammenarbeit. Wir haben stets die Lösung des Problems und die Einführung der Innovation in den Betrieb oder in den Markt zum Ziel. Passende Lösungsansätze für Unternehmen mit technologischen Herausforderungen zu entwickeln, ist unsere Stärke. Gern unterstützen wir Sie bei allen Fragen rund um die Planung, Realisierung und Optimierung von Windenergieanlagen oder der Wasserstoffherzeugung. Sprechen Sie uns an!

Machen Sie sich auf die Suche nach den passenden Kartenpaaren. Einfach ausschneiden und losspielen. Beim Fraunhofer IWES ist jeder Match ein Treffer.

|         |          |
|---------|----------|
| WISSENs | bar      |
| stark   | FORSCHER |
| MESS    | gründig  |
| voll    | ANTRIEBs |
| WIND    | geist    |



|           |           |
|-----------|-----------|
| schnittig | ZUKUNFTs  |
| VIEL      | weisend   |
| fällig    | WEIT      |
| LEISTUNGs | artig     |
| wert      | EINDRUCKs |
| GROSS     | reichend  |
| stark     | TIEF      |





# Impressum

## Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES  
Am Seedeich 45 | 27572 Bremerhaven

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

Stand: August 2024

## Redaktion

Inna Eck, Leiterin Kommunikation

## Layout

Fraunhofer IWES

## Druck

UmweltDruckhaus Hannover GmbH | 30851 Langenhagen  
www.umweltdruckhaus.de  
Gedruckt im Offsetdruck mit Bio-Farben  
auf Circle Offset Premium Whitematt 100 % Altpapier



## Bildnachweis

Seite 1: Paul Langrock  
Seite 2-5: Fraunhofer IWES  
Seite 6: Timo Lutz  
Seite 7: Jens Meier  
Seite 8/9: Fraunhofer IWES/gobasil  
Seite 10: Fraunhofer IWES/Gerrit Wolken-Möhlmann  
Seite 11: Frank S. Bauer,  
klein von links oben nach rechts unten:  
Jan Meier, Hermann Kolbeck, Marcus Heine,  
Fraunhofer IWES/Thomas Viergutz,  
Frank S. Bauer  
Seite 12: Fraunhofer IWES  
Seite 13: Brazhyk - stock.adobe.com  
Seite 14/15: Paul Langrock  
Seite 17-19: Frank S. Bauer  
Seite 20/21: Fraunhofer IWES  
Seite 22: Frank S. Bauer  
Seite 23: Windenergieanlage - istockphoto instamatics,  
Diagramm - Pixabay Buffik  
Seite 25: iStock\_inkoly

Seite 26: Wenger Engineering GmbH  
Seite 27: Till Schuster/Linde GmbH - Anlage in Leuna,  
Hydrogen Lab Fraunhofer IWES  
Seite 29: Jens Meier  
Seite 30: Fraunhofer IWES  
Seite 31: HSEL/Tobias Trapp  
Seite 32/33: Fraunhofer IWES/Gerrit Wolken-Möhlmann  
Seite 34: Fraunhofer IWES  
Seite 35: Marcus Heine  
Seite 36/37: Jan Meier  
Seite 38: Fraunhofer IWES  
Pages 40/41: PORT OF ESBJERG-CHRISTER HOLTE  
Seite 41: Jan Meier  
Seite 43: Fraunhofer IWES  
Seite 44: Fraunhofer IWES, erstellt mit ParaView  
Seite 45: Fraunhofer IWES  
Seite 47: Paul Langrock  
Seite 48: Fraunhofer IWES  
Seite 49: Paul Langrock  
Seite 51+54: taviphoto/photocase

## Zertifizierung

Unser Qualitäts-, Arbeitsschutz- und Umweltmanagementsystem ist zertifiziert gemäß ISO 9001, ISO 45001 und ISO 14001.

## Akkreditierung

Unser akkreditiertes Labor mit den Bereichen Rotorblatt, Materiallabor und Feldmessungen ist von der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkkS) nach ISO/IEC 17025 mit flexiblem Geltungsbereich der Akkreditierung Kategorie III\* und Kategorie I\*\* akkreditiert.

Damit erhalten unsere akkreditierten Laborbereiche einen objektiven und international anerkannten Nachweis über ihre Kompetenz.



\* Kategorie III: In diesem Bereich ist es dem Labor gestattet – ohne vorheriger Zustimmung der DAkkS – die in der Urkunde gelisteten Prüfverfahren mit unterschiedlichen Ausgabeständen der Normen anzuwenden.

\*\* Kategorie I: Diese nächsthöhere Kategorie erlaubt dem Labor – ohne vorheriger Zustimmung der DAkkS – die freie Auswahl von genormten oder ihnen gleichzusetzenden Prüfverfahren innerhalb des definierten Prüfbereiches.

## Die Fraunhofer-Gesellschaft

Das Fraunhofer IWES ist eins von 76 Instituten und Forschungseinrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland und ist eine der führenden Organisationen für anwendungsorientierte Forschung. Im Innovationsprozess spielt sie eine zentrale Rolle – mit Forschungsschwerpunkten in zukunftsrelevanten Schlüsseltechnologien und dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie zur Stärkung unseres Wirtschaftsstandorts und zum Wohle unserer Gesellschaft.

### Die Fraunhofer-Gesellschaft gehört zu den beliebtesten Arbeitgebern

Die aktuellen Studien von Randstad, trendence und Universum belegen:

Fraunhofer steht nicht nur für Forschung auf Spitzenniveau, sondern gehört auch zu den beliebtesten Arbeitgebern in Deutschland. Fraunhofer ist stolz auf die vorderen Plätze in den Rankings und tut alles dafür, noch besser zu werden.



## Gute Gründe für das Arbeiten am Fraunhofer IWES gibt es genug!

Am Fraunhofer IWES warten spannende Forschungsfragen auf dich. Das Institut verfügt über einzigartige Prüfstände und Messinfrastruktur sowie modernste Technologien. Bei uns realisierst du experimentelle Versuche und Tests und genießt bei der Gestaltung deiner Projekte Freiheiten. In Sachen Wind- und Wasserstofftechnologien finden wir gemeinsam Lösungen für aktuelle und künftige Herausforderungen. Zu diesem Zweck arbeitest du eng mit unseren Kundinnen und Kunden sowie Partnerinnen und Partnern zusammen und bringst innovative Lösungen mit deinen Kolleginnen und Kollegen in die Anwendung.

Veränderung startet mit uns!



MEHR INFO

## Kontakt

---

Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES  
Am Seedeich 45 | 27572 Bremerhaven

Telefon: +49 471 14290-100  
E-Mail: [info@iwes.fraunhofer.de](mailto:info@iwes.fraunhofer.de)



[www.iwes.fraunhofer.de](http://www.iwes.fraunhofer.de)

