Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:

Niedersachsen

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 16 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 8.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington D.C.

DLR Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

Programmdirektion Energie

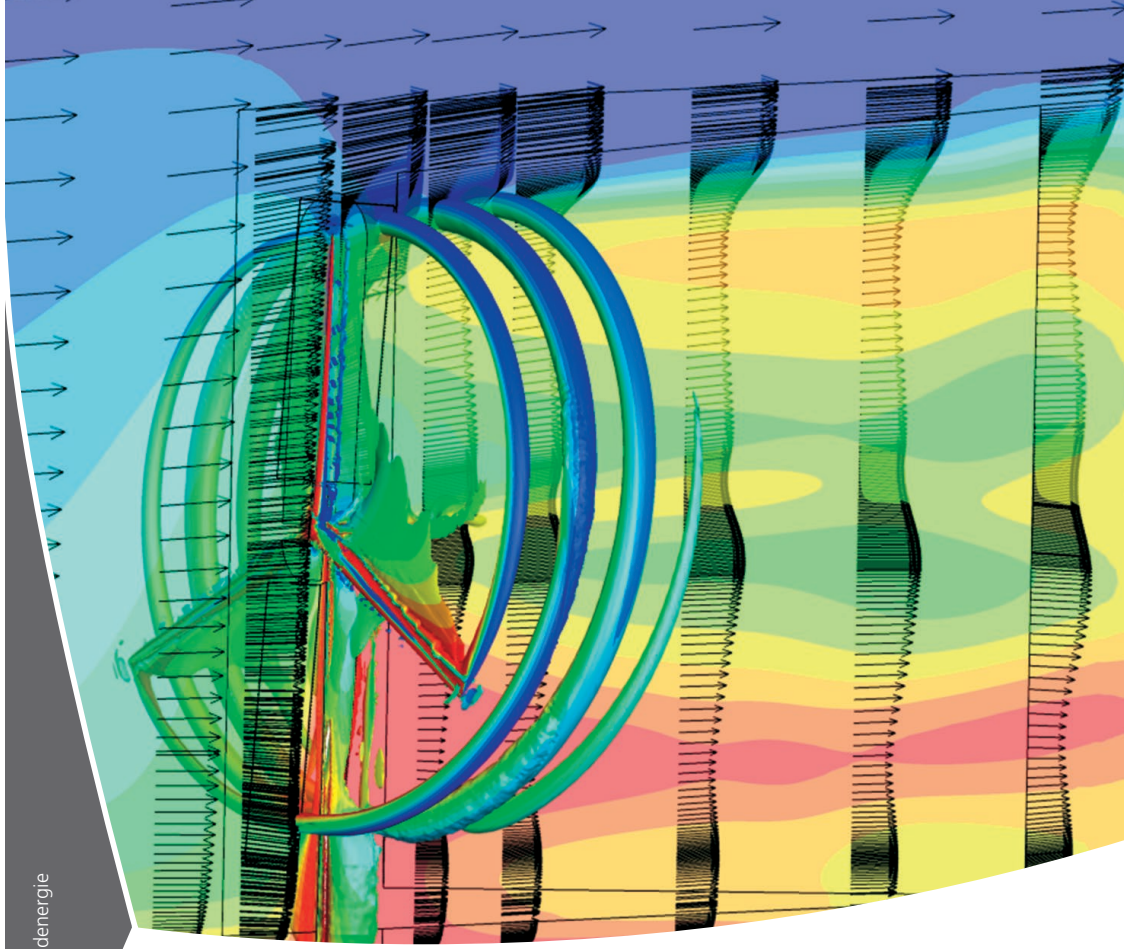
DLR Köln
Dr. Sarina Keller, Forschungsgebietskoordinatorin
(Solar- und Windenergie, Speichertechnologien)
Linder Höhe
51147 Köln

Telefon: +49 2203 601-4848
Telefax: +49 2203 601-3797
sarina.keller@dlr.de

DLR.de

Windenergie_A5_D_03-2015

Windenergie



Der Rotor der Zukunft

Windenergieforschung im DLR

DLR

Bild: Rainer Sturm/pixelio.de

»Deutsche Unternehmen, Universitäten und Forschungseinrichtungen gehören im Bereich der Windenergie weltweit zur Spitze. Innovationen sichern diese internationale Spitzenstellung auf dem Gebiet der erneuerbaren Energietechnologien. Forschung spielt hier eine entscheidende Rolle.«

Sigmar Gabriel,
Bundesminister für Wirtschaft und Technologie

Vorwort

Die Nutzung von Energie ist ein unverzichtbarer Teil unseres Lebens. Immer noch dienen uns aber überwiegend erschöpfliche Ressourcen wie Öl, Kohle und Gas als Energielieferanten. Sie belasten nicht nur die Atmosphäre mit klimaschädlichem Kohlendioxid, sondern führen auch zur Abhängigkeit von Importen. Um die Bevölkerung und die Wirtschaft langfristig und nachhaltig mit Energie zu versorgen, brauchen wir eine Transformation des Energiesystems.

Verschiedene Technologien spielen eine wichtige Rolle in einem solchen neuen Energiesystem. Insbesondere Erneuerbare Energien wie Wind- und Solarenergie leisten zunehmend einen wichtigen Beitrag zur Energieversorgung. Dabei zeigen uns zum Beispiel das andauernde Größenwachstum von Windenergieanlagen, dass noch vielfältige und umfassende Technologieentwicklungen auf uns warten.

Forschung kann und muss hierzu entscheidende Beiträge leisten. Die Windenergieforschung des DLR hat sich aus dem Wissen jahrzehntelanger Luft- und Raumfahrtforschung erfolgreich entwickelt. Diese vielfältigen Synergien nutzen wir nun, um für die Windenergie Technologiesprünge zu ermöglichen.

Ich lade Sie ein, sich auf den folgenden Seiten einen Überblick über die Themen und Forschungsprojekte, die bei uns in zahlreichen Instituten für die Windenergieforschung bearbeitet werden, zu verschaffen.

Dr.-Ing. Jan Teßmer
Koordinator für Windenergieforschung

»Es ist unsere Aufgabe, dafür zu sorgen, dass Europa seine weltweit führende Stellung in der Technologieentwicklung behaupten kann – das ist unser Trumpf.«

Andrew Garrad,
Aufsichtsratsmitglied DNV GL

Einleitung

Im DLR arbeiten Forscherinnen und Forscher aus unterschiedlichen Disziplinen an Windenergieanlagen der nächsten Generation. Die Herausforderungen für die Branche sind größere und effizientere Windenergieanlagen bei deutlich geringeren Kosten und Umwelteinwirkungen. Mit welchen Fragen wir dabei konfrontiert sind, erkennt man schnell bei einer einfachen technischen Abschätzung:
Im Verhältnis zum Radius des Rotors

- wachsen die aerodynamischen Kräfte im Quadrat (R^2),
- das Gewicht mit der dritten Potenz (R^3) und
- der Lärm nimmt mit der fünften Potenz der Blattspitzengeschwindigkeit zu (U_{Tip}^5).

Ein reines Upscaling der heutigen Technologien und Bauweisen ist daher schwierig. Hier sind Lösungen gefragt mit innovativen Technologiesprüngen, die gleichzeitig Kosteneinsparungen ermöglichen: Lastminderungskonzepte können aerodynamische und strukturelle Kräfte ausbalancieren. Das Gewicht lässt sich durch neue Materialien und Strukturen im Leichtbau reduzieren. Aktive und passive Lärmminderungsmaßnahmen können den emittierten Schall senken. Eine akkurate Planung sowie Kenntnisse der äußeren Einflüsse bei einer Windenergieanlage helfen, den Betrieb wesentlich zu verbessern.

Alle diese Themen werden von DLR-Forscherinnen und Forschern bearbeitet, dabei profitieren sie von jahrezehntelanger Erfahrung aus der verwandten Luft- und Raumfahrtforschung. Unser Kompetenzspektrum reicht von der Grundlagenforschung bis zur Weiterentwicklung einzelner Komponenten gemeinsam mit der Industrie. Als Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft ist es uns außerdem möglich, Ideen oder Anwendungen vom Labor über Prüfstände oder unsere zahlreichen Windkanäle bis zum Feldversuch zu testen. Insbesondere die geplante DLR-Forschungsplattform Windenergie mit mehreren hochinstrumentierten Test-Windenergieanlagen wird hier entscheidend dazu beitragen, eine Brücke zwischen der Forschung und der Industrie zu schlagen.

Smarter Rotor: Entwurf, neue Produktionsweisen und intelligente Regelung

Gut zu wissen

Die Eigenschaften von Faserverbundmaterialien entstehen erst während der Produktion. Kleinste Abweichungen der Prozessparameter wie Temperatur und Faserausrichtung verursachen große Abweichungen der Materialcharakteristiken und der geometrischen Form. DLR-Forscher arbeiten daher an Produktionsmethoden, um kosteneffizient hochpräzise Faserverbundbauteile herzustellen.

Der Ausbau der Windenergie in Deutschland birgt vielfältige technische Herausforderungen. Der Trend geht zu immer größer werdenden Rotorblättern bei einer effizienten Nutzung der Windpotenziale und Reduzierung hoher Wartungskosten. Aufgrund der inhomogenen Windverteilung sind die heute bereits bis zu 85 Meter langen Rotorblätter über der Rotorfläche einer sehr stark schwankenden Belastung ausgesetzt, die eine Herausforderung für die Struktur und Regelung der Windenergieanlage darstellt.

Zur Bewältigung dieser neu entstandenen Probleme können innovative Konzepte wie „Smart Blades“ einen bedeutenden Beitrag leisten. Die intelligenten Rotorblätter zeichnen sich dadurch aus, dass sie mittels verschiedener aktiver und/oder passiver Mechanismen auf veränderliche Anströmung so reagieren, dass die strukturellen Belastungen reduziert werden. Rotorblätter können so länger gebaut werden, ohne dass Sicherheit und Lebensdauer darunter leiden. Durch leichtere Rotorblätter verringert sich die Belastung und damit die Schadensanfälligkeit für die Gesamtanlage.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im DLR arbeiten neben dem lastgerechten Design an hochgenauen Simulations- und Testmethoden sowie an der Automatisierung und Qualitätssicherung in der Produktion für große Faserverbundbauteile. Insbesondere die Produktionsüberwachung und Bauteilbewertung mit Hilfe geeigneter berührungsloser Sensoriksysteme und Prüftechnik führen zu höherer Prozesssicherheit und Reproduzierbarkeit in beherrschbaren Toleranzgrenzen. Damit können Prozesszeiten reduziert sowie Fertigungsabfälle und Risiken im Betrieb minimiert werden. Structural Health Monitoring Systeme und Lastmessungen im Betrieb erhöhen zusätzlich die Betriebssicherheit.

Forschungsinfrastruktur

Standschwingversuchsanlage für strukturdynamische Untersuchungen
Marc Böswald, marc.boeswald@dlr.de

Kryo-Windkanal für hohe Reynoldszahlen
Dipl.-Ing. Rüdiger Rebstock, ruediger.rebstock@dlr.de

Hochdruck-Windkanal Göttingen für hohe Reynoldszahlen
Dr. Markus Jacobs, markus.jacobs@dlr.de

Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie

Variabler dynamischer Prüfstand für Komponententests im Bereich der Strukturuntersuchung

45m Rotorblattform

Dynamisches und Statisches Prüflabor zur Materialcharakterisierung
Dipl.-Ing. Birgit Wieland, birgit.wieland@dlr.de

Smart Blades:
Entwicklung und Konstruktion intelligenter Rotorblätter

Im Projekt Smart Blades werden die Möglichkeiten untersucht, wie Rotorblätter mit aktiven und passiven Systemen auf unterschiedliche Windlasten reagieren können. Ziel ist es, die Machbarkeit, die Effizienz und die Zuverlässigkeit von Smart Blades unter Beweis zu stellen. Passive Smart Blades werden so ausgelegt, dass sie sich bei aerodynamischen Laständerungen nicht nur biegen, sondern auch um ihre Achse verdrillen. Damit verändert sich der Anströmwinkel, die Rotorblätter können sich somit automatisch einer überhöhten Belastung entziehen. Aktive Smart Blades erreichen den gleichen Effekt mit Hilfe verformbarer Teile oder verstellbarer Klappen, die sich entweder an der Vorder- oder an der Hinterkante des Blattes befinden können.

Die große Herausforderung ist dabei, zu verhindern, dass die Rotorblätter sowie die anschließende Pitch- und Nabenkonstruktion durch aktive Mechanismen letztlich nicht fehleranfälliger, schwerer und wartungsintensiver werden. Im dem Projekt Smart Blades arbeiten das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), das Zentrum für Windenergieforschung der Universitäten Oldenburg, Hannover und Bremen (ForWind) und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) zusammen.

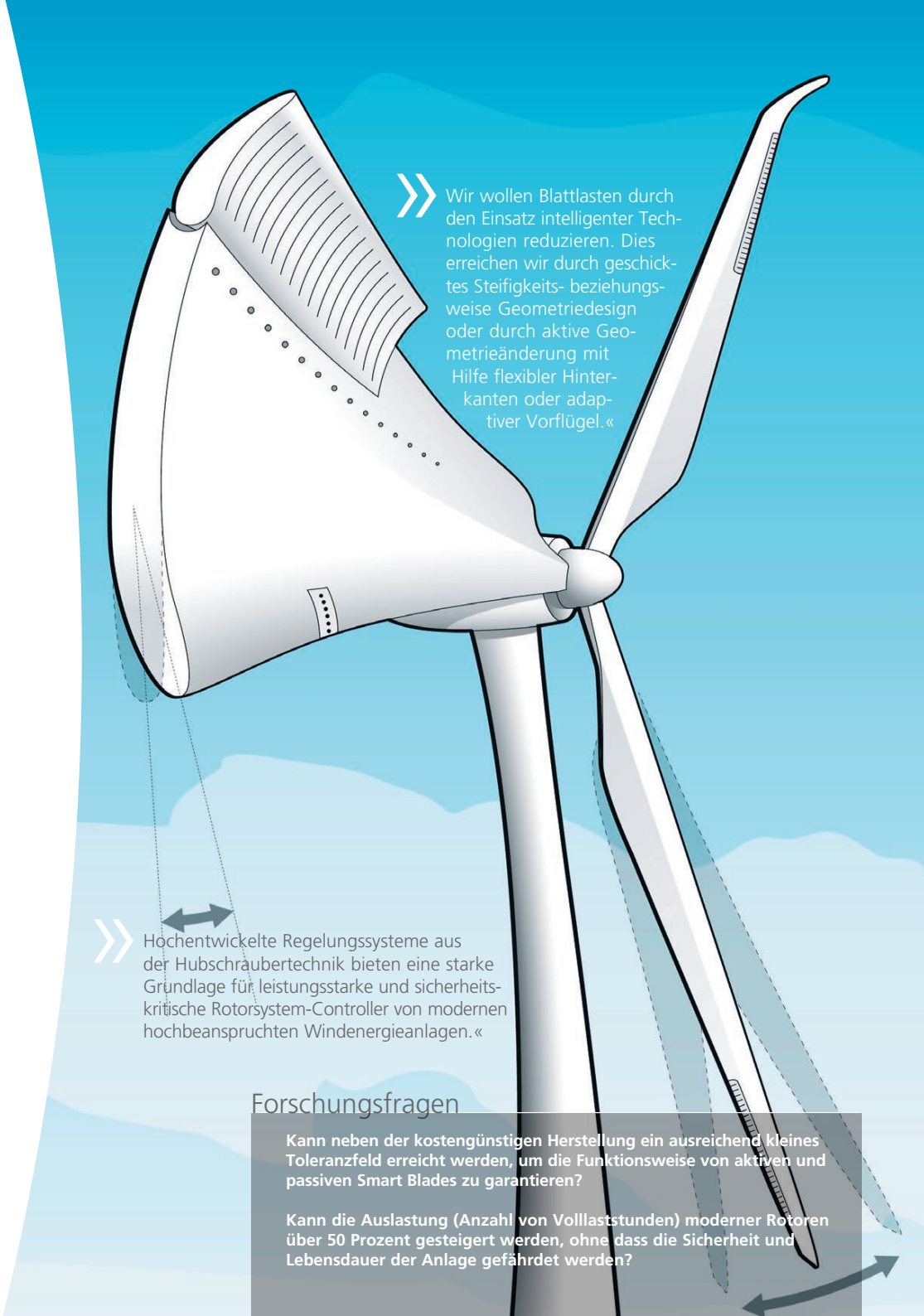
Dr.-Ing. Johannes Riemenschneider
Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik
johannes.riemenschneider@dlr.de

LARS: Optimierung von Windenergieanlagen: **La**streduktion bei Windenergieanlagen durch Einführung und **R**egelung von **S**ystemfreiheitsgraden

Im Projekt LARS wird ein Regler zur Reduktion von dynamischen Rotorkopflasten durch Anregung bestimmter Gondelfreiheitsgrade bei einer 2-Blatt-Windenergieanlage entwickelt. Dazu wird das Rotorsimulationsprogramm S4 für dynamische Simulationsuntersuchungen von Windenergieanlagen erweitert und mit der Mehrkörpersimulations-Software SIMPACK gekoppelt. Die gekoppelten Programme ermöglichen eine genauere Untersuchung der aeroelastischen Interaktionen unter angeregten Freiheitsgraden.

Eine Analyse des linearisierten Systemverhaltens im Frequenzbereich dient der Entwicklung eines Reglers zur Lastenreduktion (zum Beispiel mittels „individual pitch“ oder durch aktive Kopf-Kippverstellung). Außer einem Test des Reglers in der nichtlinearen Simulation wird auch eine Systembewertung vorgenommen und mit Ergebnissen einer Messkampagne am Technologieträger validiert.

Rainer Bartels
Institut für Flugsystemtechnik
rainer.bartels@dlr.de



» Wir wollen Blattlasten durch den Einsatz intelligenter Technologien reduzieren. Dies erreichen wir durch geschicktes Steifigkeits- beziehungsweise Geometriedesign oder durch aktive Geometrieänderung mit Hilfe flexibler Hinterkanten oder adaptiver Vorflügel.«

» Hochentwickelte Regelungssysteme aus der Hubschraubertechnik bieten eine starke Grundlage für leistungsstarke und sicherheitskritische Rotorsystem-Controller von modernen hochbeanspruchten Windenergieanlagen.«

Forschungsfragen

Kann neben der kostengünstigen Herstellung ein ausreichend kleines Toleranzfeld erreicht werden, um die Funktionsweise von aktiven und passiven Smart Blades zu garantieren?

Kann die Auslastung (Anzahl von Volllaststunden) moderner Rotoren über 50 Prozent gesteigert werden, ohne dass die Sicherheit und Lebensdauer der Anlage gefährdet werden?

SimBA: Simulationswerkzeug für die hochgenaue und effiziente aerodynamische **B**erechnung und **A**uslegung von Windenergieanlagen

Im Projekt SimBA wird mit THETA ein deutscher Forschungscode für die numerische Simulation von Strömungen an Windenergieanlagen aufgebaut. Mit einer effizienten und genauen Simulation können Windenergieanlagen dann unter aerodynamischen, aeroakustischen und strukturmechanischen Gesichtspunkten ausgelegt und optimiert werden.
Der sehr effiziente Strömungslöser THETA, der teilweise auf Komponenten des DLR-Codes TAU aufbaut, ermöglicht zeitlich hochaufgelöste Simulationen kompletter Windenergieanlagen. Mit der CHIMERA-Technik können gegeneinander bewegte Rechengitter integriert werden, was beispielsweise für die Drehung des Rotors und für die Blattverstellung notwendig ist. Auch Ablöseeffekte an Rotorblättern oder die Ausbreitung der Blattspitzenwirbel können berechnet werden. Die Bereitstellung von Schnittstellen erlaubt später eine einfache Integration in multidisziplinäre Gesamtanlagensimulationen.

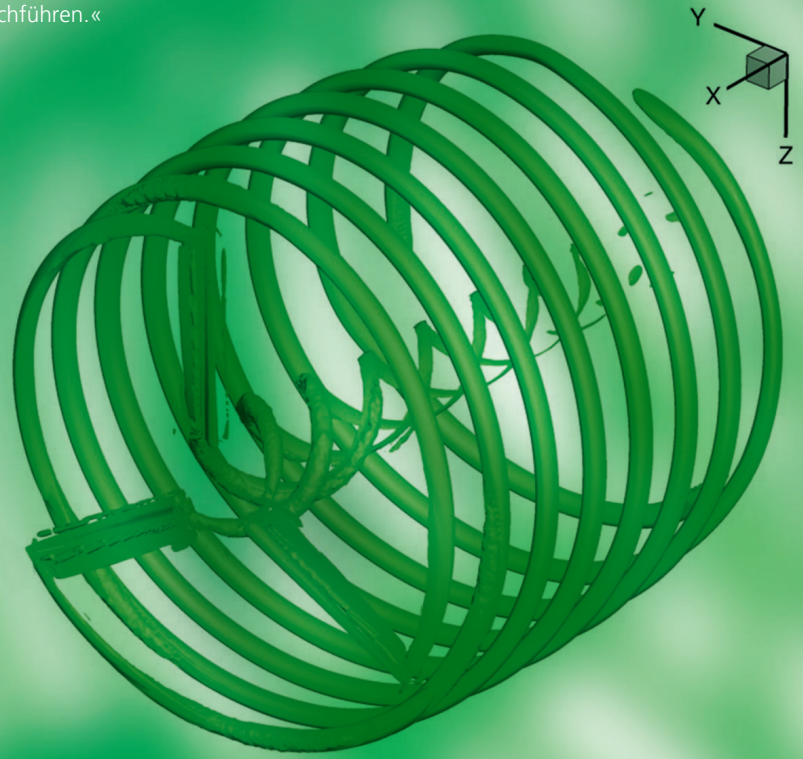
Dr.-Ing. Dieter Schwamborn
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
dieter.schwamborn@dlr.de

ELBA: Regelungssysteme zur Extremlastbegrenzung für große Windenergieanlagen

In dem Projekt ELBA soll ein neuartiges Regelungssystem zur aktiven Begrenzung von auslegungsrelevanten Extremlasten an großen Windenergieanlagen entwickelt werden. Diese Extremlasten – zum Beispiel Böen – treten innerhalb von Sekundenbruchteilen auf und erfordern eine dynamische Regelung. Dafür werden die relevanten Lasten messtechnisch erfasst, damit sie dann aktiv mit geeigneten Stellgliedern beeinflusst werden können. Diese können zum Beispiel Luftkraftaktuatoren sein, da Extremlasten größtenteils durch Änderungen der aerodynamischen Kräfte bewirkt werden. Die Entwicklung und Validierung von Modellen der instationären Aerodynamik für schnelle Luftkraftaktuatoren, speziell für den Reglerentwurf, stellt einen Aufgabenschwerpunkt dar. Das Projekt verspricht darüber hinaus ein tieferes Verständnis der Wechselwirkungen zwischen schnellen Luftkraftaktuatoren und der Aeroelastik von Windenergieanlagen. Gleichzeitig zielt das Projekt auf eine Kostenreduktion für mechanische Komponenten mit einem hohen Anteil an den Gesamtinvestitionen ab.

Dr.-Ing. Holger Hennings
Institut für Aeroelastik
holger.hennings@dlr.de

» Mit THETA können wir auf Basis jahrzehntelanger Vorentwicklungen in der Luftfahrt sehr schnell sehr genaue und komplexe Strömungssimulationen an Windenergieanlagen durchführen.«



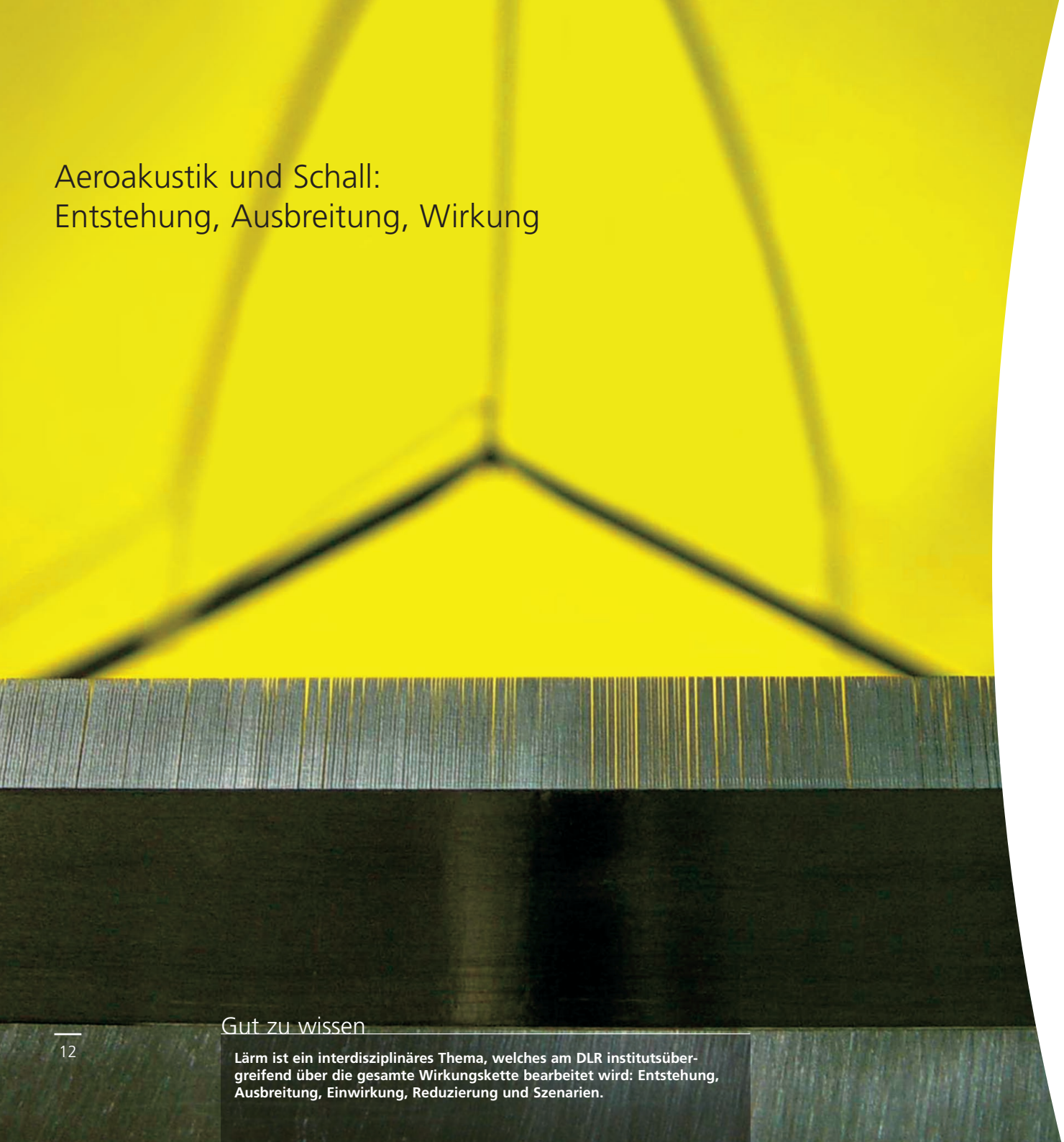
» Extremlasten sind für Rotorblätter und Turm dimensionierend. Die Reduktion dieser Lasten über schnelle Luftkraftaktuatoren ist eine erfolgversprechende Möglichkeit zur Reduktion von Kosten und zur Verbesserung der Anlagentechnik.«

Forschungsfragen

Wie lassen sich Schwingungen und Eigenfrequenzen in Abhängigkeit der aeroelastischen Lasterregungen für immer größere (und weichere) Blätter intelligent und sicher beeinflussen?

Sind gute Ideen auch kostengünstig realisierbar und produzierbar?

Aeroakustik und Schall: Entstehung, Ausbreitung, Wirkung



Gut zu wissen

Lärm ist ein interdisziplinäres Thema, welches am DLR institutsübergreifend über die gesamte Wirkungskette bearbeitet wird: Entstehung, Ausbreitung, Einwirkung, Reduzierung und Szenarien.

Der kontinuierliche Ausbau der landgebundenen Windenergieerzeugung stellt Anlagenbetreiber in der Nähe bewohnter Gebiete vor zunehmende Herausforderungen hinsichtlich der Akzeptanz seitens der Anlieger. Für die Konzeption von Windparks sind einerseits verlässliche Vorhersagen der wetter- und topografieabhängigen Schallimmissionen in der Umgebung von Windenergieanlagen unentbehrlich. Andererseits liefert die quellseitige physikalische Modellierung der Umströmungsgeräusche des Rotors die Grundlage für verbesserte Regelungsstrategien sowie für den Entwurf neuer, geräuschoptimierter Rotorblattgeometrien beziehungsweise geräuschreduzierender Nachrüstmaßnahmen für existierende Blätter. Eine zeitgenaue Auflösung turbulenter Umströmungsgeräuschquellen erfordert allgemein sehr rechenintensive Verfahren wie beispielsweise die Direkte Numerische Simulation (DNS) oder eine Grobstruktursimulation (LES).

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im DLR setzen daher für den Entwurf ressourcensparende stochastische Ansätze ein. So können instationäre Schallquellen auf Basis einer numerischen Lösung der zeitlich gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen (RANS) rekonstruiert werden. Für die Berechnung des Schallfeldes stehen eine Vielzahl von numerischen Verfahren der Aeroakustik (CAA) zur Verfügung, zum Beispiel das Integralverfahren nach Ffowcs Williams und Hawkings, oder Verfahren basierend auf den Linearisierten Euler-Gleichungen (LEE) beziehungsweise den Akustischen Störungsgleichungen (APE). Mittels stochastischer Quellmodelle lassen sich innovative Entwurfsvarianten aeroakustisch bewerten und komplexe 3-D-Strömungseffekte können berücksichtigt werden. Im aeroakustischen Experiment nachgewiesene Effekte von Geräuschminderungsmaßnahmen wurden bereits simuliert. Basierend auf einer umfangreichen Messdatenbasis für Hinterkantenschall wird ebenfalls an der Entwicklung sehr schneller semi-empirischer Schallvorhersagemethoden gearbeitet.

Forschungsinfrastruktur

(Aeroakustischer) Niedergeschwindigkeits-Windkanal Braunschweig (DNW-NWB)
Dr.-Ing. Andreas Bergmann, andreas.bergmann@dnw.aero

Lokalisierung von stationären und bewegten Schallquellen mit Mikrofonarrays
Dr. Henri Siller, henri.siller@dlr.de

Akustischer Windkanal Braunschweig (AWB), Großflächenbodenmikrofonsystem für Direktivitätsmessungen im Feldversuch
Dipl.-Ing Michael Pott-Pollenske, michael.pott-pollenske@dlr.de

BELARWEA:
Blattspitzen für **E**ffiziente und **L**ärm**A**rme **R**otoren von **W**ind**E**nergie**A**nlagen

Im Projekt BELARWEA sollen effiziente und gleichzeitig geräuscharme Windenergierotoren durch spezifische 3-D-Gestaltung des Blattaußenbereichs entworfen werden. Hierzu werden CFD (Computational Fluid Dynamics) und CAA (Computational Aeroacoustics) Simulationsverfahren aus der Luftfahrt eingesetzt und im Hinblick auf Windenergieanwendungen erweitert. Darüber hinaus werden auch im 2-D-Versuch positiv vorerprobte passive Geräuschminderungstechnologien (poröse Kantenmodifikationen wie zum Beispiel Bürstenfortsätze, Hinterkantenschlitze oder entsprechende Derivate) auf den 3-D-Blattaußenbereich von Windenergierotoren übertragen. Der experimentelle Nachweis erfolgt an ausgewählten 3-D-Blattspitzenentwürfen im statischen Windkanalversuch. Experimente werden sowohl im Akustischen Windkanal Braunschweig (AWB) als auch im Niedergeschwindigkeitswindkanal Braunschweig (DNW-NWB) durchgeführt. Insgesamt ist eine Geräuschminderung um mindestens 3 Dezibel bei gegebener Rotorleistung angestrebt.

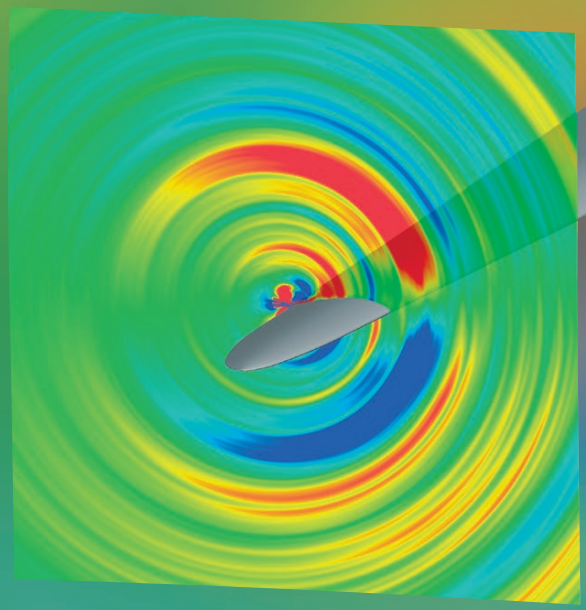
Dr.-Ing. Michaela Herr
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
michaela.herr@dlr.de

Lips:
Wetterabhängige Charakterisierung der Schallimmission in der Umgebung von Windenergieanlagen in topografisch gegliedertem Gelände

In dem Projekt Lips werden in einem Arbeitspaket Schallimmissionen im Umfeld von Windenergieanlagen in Abhängigkeit von der Betriebssituation, den meteorologischen Bedingungen und der Topografie quantifiziert. Unter Berücksichtigung der berechneten und gemessenen Vor- und Nachlaufströmung soll mittels numerischer Schallausbreitungsmodelle die Wirkung der Emissionsreduktionen von hörbarem Schall und auch Infraschall in der Umgebung abgeschätzt werden. Das für Strömung und Schall gekoppelte Modellsystem kann dann zur Bestimmung von Schallausbreitungsklassen, zur Ableitung von Parametrisierungen für vereinfachte Lärmprognoseverfahren und zur Bewertung von Simulation und Messung angewendet werden.

Dr. Arthur Schady
Institut für Physik der Atmosphäre
arthur.schady@dlr.de

» Wir wollen deutlich messbare Geräuschminderungen durch aeroakustisch optimierte Rotorblattgeometrien ermöglichen. Ein beigeordnetes Beratergremium aus Vertretern führender Anlagenhersteller garantiert hierbei, dass eingeschlagene Entwicklungsstränge hinsichtlich ihrer technischen Realisierbarkeit stets bewertet werden können.«



» Unter Einsatz moderner Mess- und Simulationsmethoden können wir Grundlagen schaffen, um für Betreiber und Kommunen einfach handhabbare Lärm-Abschätzungsverfahren und Klassifizierungen zu erarbeiten.«

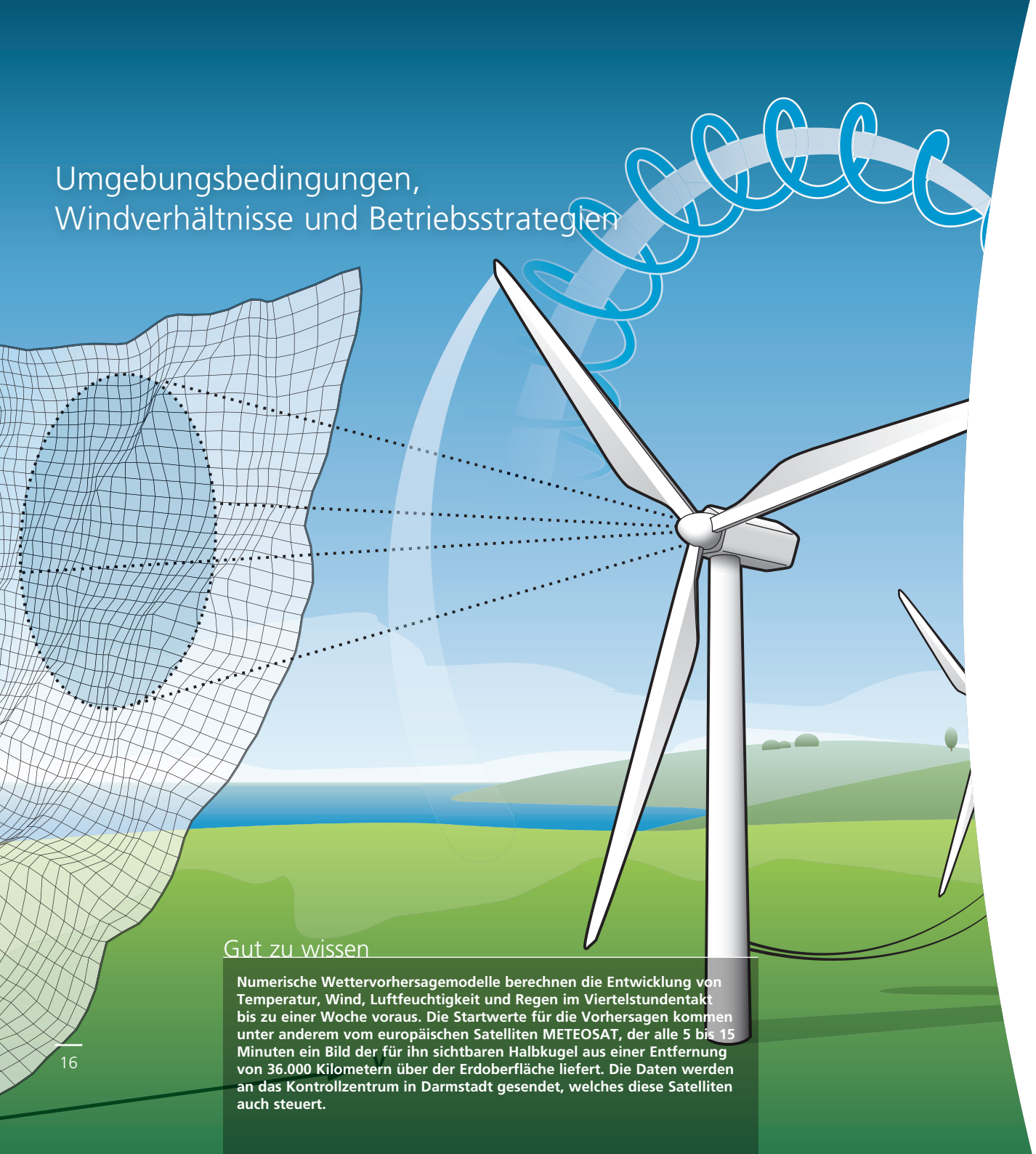
Forschungsfragen

Wie lassen sich Windenergieanlagen optimal regeln, damit Anwohner auch bei nächtlich starkem Low-Level-Jet gut schlafen können?

Könnte man passgenau die richtige Blattspitze für eine optimale Lärm-/Leistungs-Performance auswählen?

Können wir aus Fluglärm-Reduktionsmaßnahmen Nutzen für den Einsatz von Windenergieanlagen ziehen?

Umgebungsbedingungen, Windverhältnisse und Betriebsstrategien



Gut zu wissen

Numerische Wettervorhersagemodelle berechnen die Entwicklung von Temperatur, Wind, Luftfeuchtigkeit und Regen im Viertelstundentakt bis zu einer Woche voraus. Die Startwerte für die Vorhersagen kommen unter anderem vom europäischen Satelliten METEOSAT, der alle 5 bis 15 Minuten ein Bild der für ihn sichtbaren Halbkugel aus einer Entfernung von 36.000 Kilometern über der Erdoberfläche liefert. Die Daten werden an das Kontrollzentrum in Darmstadt gesendet, welches diese Satelliten auch steuert.

Zur Bestimmung und Charakterisierung von Windverhältnissen und Umgebungsbedingungen stehen im DLR verschiedene Technologien und Kompetenzen zur Verfügung. Wind-LIDAR (Light Detection and Ranging) kann sowohl für einzelne Windenergieanlagen als auch für Windparks genutzt werden, um hochaufgelöste und genaue Messungen der turbulenten Anströmungen auf Skalen zwischen etwa 100 Metern und einigen Kilometern zu bekommen. Durch den Offshoreausbau und intensivere Nutzung auch von schwierigem Gelände für Windenergie wird gerade die Windcharakteristik bei rauen Oberflächen wie Bergen oder im Wald wichtiger.

Als weitere Technologie wird Radar, der unabhängig von Wolken oder Tageslicht arbeitet, für die Gewinnung von besonders hochaufgelösten Bildern der Meeresoberfläche genutzt. Mit der SAR-Ozeanografie (Synthetic Aperture Radar), die Daten von den Satelliten ERS und ENVISAT oder dem deutschen Satelliten TerraSAR-X nutzt, kann man das großräumige, regionale Windfeld und Seegangshöhen berechnen.

Zusammen mit hochentwickelter In-situ-Messtechnik für Turbulenznachweise auf der Zentimeter- bis Meterskala können die Einwirkungen des Windes auf Anlagen und Parks und somit die Lastsituationen sehr viel zuverlässiger vorhergesagt werden. Eine bessere Lastregelung führt zu besserer Netzintegration und leistet damit einen Beitrag für weitere Kostenreduktionen. Numerische Verfahren zur Beschreibung der Interaktion zwischen dem globalen Windfeld, Gelände und mehreren Turbinen liefern Input für lokale Berechnungen an einer Einzelturbine. Damit wird eine optimale Betriebsführung und Leistungsvorhersage ermöglicht.

Forschungsinfrastruktur

LIDAR
Dr. Oliver Reitebuch, oliver.reitebuch@dlr.de

Satellit TerraSAR-X mit Radarsensor für SAR-Daten im X-Band-Frequenzbereich
Dr. Susanne Lehner, susanne.lehner@dlr.de

Lips:
Simulation und Messung der Strömung in der Umgebung von Windenergieanlagen in topografisch gegliedertem Gelände

In dem Projekt Lips wird – neben akustischen Themen – in einem zweiten Arbeitspaket die dreidimensionale instationäre Strömung vor und hinter einer Windenergieanlage mittels LES (Large Eddy Simulation) bei unterschiedlichen meteorologischen, topografischen und orografischen Bedingungen und zu verschiedenen Tageszeiten berechnet. Damit bekommt man die meteorologischen Eingangsdaten und Randbedingungen für weiterführende Schallausbreitungsberechnungen. Für experimentelle Messungen und Validierung der Simulationsberechnungen erfolgt die Vermessung des dreidimensionalen Windfeldes im Bereich mehrerer Kilometer vor und hinter einer Windenergieanlage mittels gepulster Wind-LIDAR-Technologie (Light Detection and Ranging).

Dr. Thomas Gerz
Institut für Physik der Atmosphäre
thomas.gerz@dlr.de

SAR:
Synthetic-**A**perture-**R**adar: Windfeldanalyse

Die DLR-Satelliten TerraSAR-X und TanDEM-X bieten neue Möglichkeiten für flächendeckende Untersuchungen der Meeresoberfläche. Das SAR (Synthetic-Aperture-Radar) an Bord der Zwillingssatelliten nimmt Daten mit einer sehr hohen räumlichen Auflösung von bis zu einem Meter Genauigkeit auf und ist im Gegensatz zu optischen Methoden nahezu unabhängig von Wetter, Wolkenbedeckung und Sonnenlicht.

Über die Intensität der Radarrückstreuung an der aufgerauten Meeresoberfläche liefern die Sensoren Informationen über die ozeanografischen und meteorologischen Prozesse, wie Seegang und Windfelder. Die Methoden zur Ableitung entsprechender Parameter werden beim DLR entwickelt. Mit bestimmten Algorithmen konnten erstmalig sehr kleinräumige atmosphärische Phänomene, zum Beispiel im Bereich von Windenergieanlagen, aufgelöst und untersucht werden.

Dr. Susanne Lehner
Institut für Methodik der Fernerkundung
susanne.lehner@dlr.de

» Die LIDAR-Technik ermöglicht es uns heute, sehr genaue und detaillierte Auflösungen der Windbedingungen im gesamten Einflussbereich von Windenergieanlagen zu ermitteln und damit Simulationsmethoden zu validieren.«

» Mit SAR erkennen wir Wirbelstraßen hinter den Turbinen von Alpha Ventus, die sich bis zu einer Entfernung von 20 Kilometern vom Windpark nachweisen lassen.«

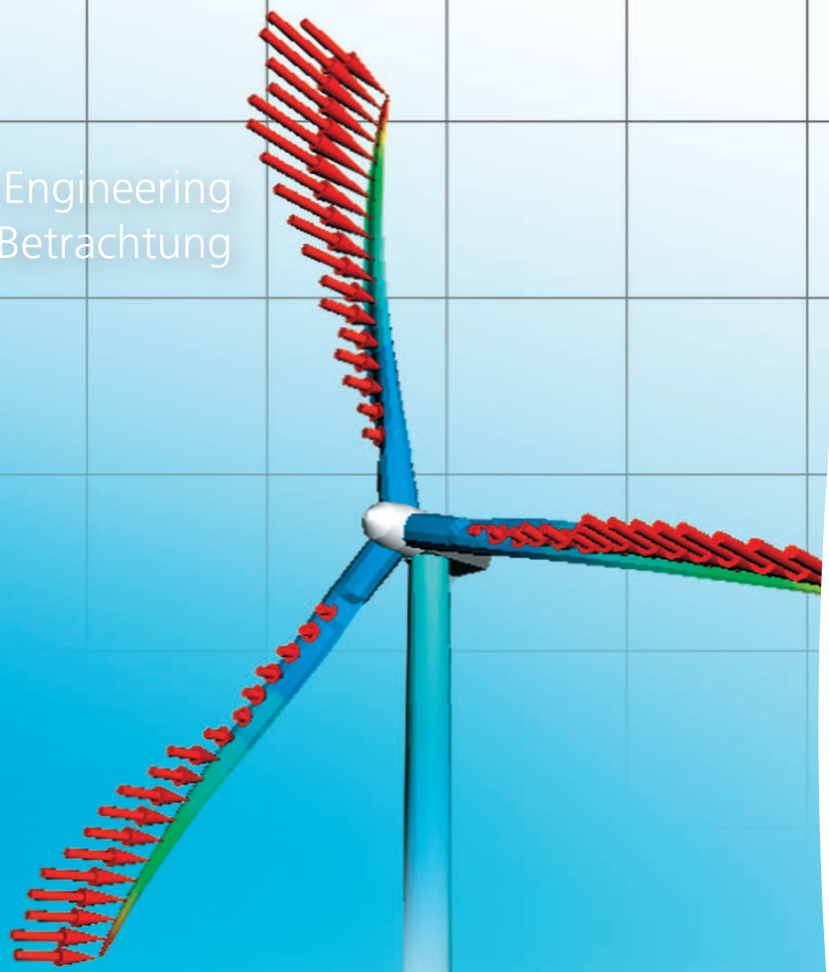
Forschungsfragen

Wie kann die Onsite-Instrumentierung durch Satelliten und andere Technologien optimal ergänzt werden?

Wie koppelt man effizient globale und lokale Simulations- und Analyseverfahren für akkurate Echtzeitanalysen und Prognosen?

Wie können Daten vom Satelliten TerraSAR-X helfen, durch Extremwellen verursachte Beschädigungen an Offshore-Anlagen zu vermeiden?

Computer Aided Engineering und systemische Betrachtung



FreeGreenius
freegreenius.DLR.de

Global Atlas IRENA
www.irena.org/GlobalAtlas

Gut zu wissen

Fortschrittliche Berechnungsmethoden und moderne Computertechnologie machen aufwändige Simulationen möglich. Dafür steht im DLR Europas größter Hochleistungsrechner für die Luftfahrtforschung, der C²A²S²E²-Hochleistungsrechner bereit. Die Anlage bietet in einem Kasten von drei mal acht Metern 1.120 Prozessoren mit 13.440 Rechenkernen und einer Leistungsfähigkeit von 262 TeraFlops pro Sekunde.

Mit dem Wissen des DLR in der Energiesystemmodellierung, der Fernerkundung und der Verarbeitung von Geodaten wurde der weltweit erste globale Atlas für erneuerbare Energieressourcen veröffentlicht (www.irena.org/GlobalAtlas).

Ebenso stellen unsere Forscher das Simulationsprogramm FreeGreenius als Freeware-Version zur Verfügung, um Potenziale von Kraftwerksprojekten vorab zu bestimmen. Das Programm kann berechnen, welchen Ertrag ein Kraftwerksprojekt mit Erneuerbaren Energien an einem bestimmten Standort einbringt. Außerdem ermittelt es, wie eine Anlage aufgebaut und ausgelegt sein muss, damit sie die angestrebte Menge an Strom ins Netz einspeist (http://freegreenius.DLR.de).

Bei einer Windenergieanlage bestehen erhebliche Wechselwirkungen zwischen der aerodynamischen Wirksamkeit der Rotorblätter, dem strukturellen Aufbau der Anlage, den Schwingungsformen der Anlage, der Anlagenregelung, den fertigungsbedingten Abweichungen und den Windbedingungen am Standort. Zur genauen Abbildung einer realen Anlage im Computer ist daher eine gesamtheitliche Simulation notwendig. Sind die Wechselwirkungen genau erfasst, können Anlagen damit optimal ausgelegt werden. Damit sinken letztendlich die Stromgestehungskosten. Beim DLR werden verschiedene Modellierungsgenauigkeiten für die Gesamtanlagensimulation eingesetzt. Einzelne Phänomene können hochgenau erfasst werden, während andere Simulationen mit approximativen Daten in Echtzeit arbeiten. Erst mit einer ganzheitlichen Modellierung der Aerodynamik und Struktur ist ein Verständnis von Rotorstrukturdynamik möglich. Damit können Windenergieanlagen und Windparks simuliert werden und Rückschlüsse auf Optimierungen oder modellbasierte Regelungsmethoden werden möglich. Mit diesen Mitteln lassen sich auch Machbarkeitsstudien von ganz neuen Bauweisen und Konzepten für Windenergieanlagen durchführen. Außerdem arbeitet das DLR an einheitlichen Industriestandards, um den Austausch von Turbinen- und Modelldaten zu verbessern.

Forschungsinfrastruktur

C²A²S²E²-Hochleistungsrechner
Dr. Dieter Schwamborn, dieter.schwamborn@dlr.de
Prof. Dr. Norbert Kroll, norbert.kroll@dlr.de

Die Systemanalyse und Technikbewertung, im DLR am Institut für Technische Thermodynamik verortet, entwickelt und nutzt Methoden und Werkzeuge, die auf die spezifischen Fragestellungen der Systemanalyse und Technikbewertung im Bereich der Energieversorgung zugeschnitten sind. Es werden energiewirtschaftliche Top-down-Analysen des gesamten Energiesystems auf regionaler, nationaler und europäischer Ebene mit technologieorientierten Bottom-up-Studien in relevanten Teilbereichen wie zum Beispiel Potenzial- und Wirtschaftlichkeitsanalysen kombiniert. Die angewandten Methoden reichen dabei von der Bestimmung der Potenziale Erneuerbarer Energien durch Erdbeobachtung über die Modellierung der Integration Erneuerbarer Energien in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung bis hin zu Szenariostudien zur Analyse und Entwicklung von Implementierungsstrategien für die Energiewende.

Institut für Technische Thermodynamik
Carsten Hoyer-Klick, carsten.hoyer-klick@dlr.de

MERWind: Multidisziplinäre **E**ntwurfsgrundlagen für **R**otoren von **Wind**energieanlagen

In dem Projekt MERWind wird eine multidisziplinäre Simulationsumgebung mit High Fidelity – hochgenauen Methoden – für Windenergieanlagen aufgebaut. Somit können Richtlinien für den integrierten Entwurf von Windenergieanlagen erarbeitet und Sensitivitäten auf Basis von Ersatzmodellen berechnet werden. Dabei werden zugleich die Disziplinen Aerodynamik, Struktur, Aeroelastik, Akustik und Produktion mit dem Schwerpunkt Rotor berücksichtigt. Methoden der CFD (Computational Fluid Dynamics) für die aerodynamische Berechnung, FEM (Finite-Elemente-Methode) zur Strukturberechnung, Mehrkörpersimulation für eine aeroelastische Analyse mit Fluid-Struktur-Kopplung, akustische Bewertung auf Basis von CAA-Berechnungen (Computational Aeroacoustics) und ein parametrischer Blattmodellgenerator werden zusammengeführt. Durch Variation geometrischer und struktureller Eigenschaften einer Referenzanlage wird die Bedeutung verschiedener entwurfsrelevanter Parameter auf die Leistungsfähigkeit der Windenergieanlage abgeleitet. Dabei werden auch Fertigungsaspekte und Kosten berücksichtigt. Der genutzte TAU-Code, ein unstrukturierter RANS-Löser (Reynolds-Averaged-Navier-Stokes), soll mittelfristig von dem schnelleren inkompressiblen THETA-Code (Turbulent Heat Release Extension) abgelöst werden.

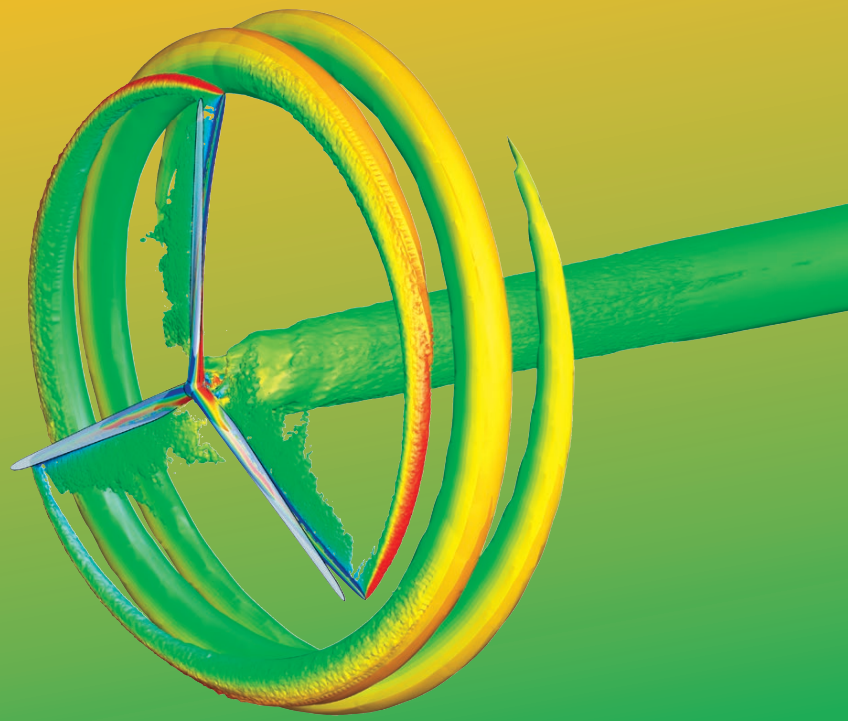
Dr.-Ing. Manfred Imiela
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
manfred.imiela@dlr.de

WindMUSE:
Wind Turbine in a **Mu**ltidisciplinary **S**imulation **E**nvironment

In der Luftfahrt hat sich seit Jahrzehnten bewährt, vor jedem realen Flugversuch eine Simulation am Boden durchzuführen, um den Versuchsablauf sowie die erarbeiteten Methoden und Konzepte ganzheitlich zu optimieren und Risiken während des Versuchs zu minimieren. Die im DLR-Luftfahrtbereich etablierten Simulationsmodelle und -werkzeuge sollen nun für die Windenergie einsetzbar gemacht werden, sodass mittels der hier entwickelten multidisziplinären Simulationsumgebung eine ganzheitliche Simulation realer Windenergieanlagen ermöglicht wird. Dabei kommen Modelle von sehr schnellen und ausreichend genauen bis rechenzeitintensiven und hochgenauen Verfahren zum Einsatz. Die Simulationsumgebung WindMUSE wird in der Forschung für unterschiedliche Aufgaben eingesetzt werden, die von Vorhersagen von beispielsweise Lasten bis hin zur Vorbereitung oder Einbindung von Realversuchen für die Durchführung von Hardware-in-the-Loop-Tests reichen. Speziell für diese Anwendung muss WindMUSE somit auch Echtzeitanforderungen erfüllen.
In diesem Projekt sollen die Simulationswerkzeuge des DLR erstmalig mit OneWind® vom Fraunhofer-Institut IWES durch eine Werkzeug-zu-Werkzeug-Kopplung verknüpft werden, um die Erfahrungen und Potenziale beider Verbundpartner optimal zu bündeln.

Holger Schumann
Institut für Flugsystemtechnik
holger.schumann@dlr.de

» Wir verbinden die neuesten Verfahren aus Wissenschaft und Forschung zu einer multidisziplinären Simulationsumgebung, um die Auslegung von Rotoren von Windenergieanlagen zu verbessern und so unsere Partner in der Industrie zu unterstützen.«



» Multidisziplinäre Simulation ist notwendig, um komplexe Systeme ganzheitlich betrachten und verstehen zu können.«

Forschungsfragen

Welche Rolle spielt die Betriebsführungssimulation bei Extremwetterlagen?

Wie können wir die Fähigkeit zur Gesamtsystemanalyse gewinnbringend einsetzen?

Wie können wir mit ganzheitlicher Modellierung die Wirkung neuer Technologien abschätzen?

Weitere interdisziplinäre DLR-Forschungsthemen mit hoher Relevanz für die Windenergie

Power-to-Gas – Elektromobilität und Energiespeicher

Im Institut für Technische Thermodynamik wird unter anderem an der Entwicklung effizienter elektrochemischer Energiewandler und Energiespeicher, vornehmlich Brennstoffzellen, Elektrolyseure sowie fortschrittliche Batterien geforscht. Auch deren Bedeutung und Integration in zukünftigen Energiesystemen in der stationären Energieversorgung und für die Elektromobilität wird untersucht. Dies umfasst zum Beispiel die Untersuchung aller Aspekte der Wasserstoffproduktion aus intermittierenden Überschüssen der Windenergie sowie die Entwicklung effizienter gekoppelter Systeme. Zusätzlich werden Betriebsstrategien und -management für Batteriesysteme erforscht und entwickelt. Für die besonders flexible und effiziente Polymer-Membran-Elektrolyse werden kostengünstige Komponenten entwickelt und die Systemintegration untersucht. Mit dieser Technologie realisiert E.ON Hanse AG in Hamburg eine Power-to-Gas-Anlage, die Wasserstoff im Großmaßstab in ein Erdgasnetz einspeisen soll. Im Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik können zur mobilen Speicherung kostengünstig Wasserstofftanks hergestellt werden.

Institut für Technische Thermodynamik
Prof. Dr. K. Andreas Friedrich, andreas.friedrich@dlr.de

Offshore-Betriebsunterstützung durch Hubschrauber

Der Betrieb von Offshoreanlagen stellt die Industrie vor große Herausforderungen. Nicht nur der Transport zu den immer weiter von der Küste entfernten Offshoreanlagen, sondern auch die effiziente Bergung von möglicherweise verletztem Personal sind Herausforderungen, die in den nächsten Jahren gelöst oder optimiert werden müssen. Menschenleben hängen hier von funktionierenden, also sicheren und schnellen Bergemanövern und einer durchgehenden Rettungskette ab. Im Institut für Flugsystemtechnik bietet zum Beispiel der AVES (Air Vehicle Simulator) in Kombination mit dem ACT/FHS (Fliegender Hubschrauber-Simulator) die einzigartige Möglichkeit, operationelle Verfahrensweisen zu konzipieren, im Simulator zu untersuchen und zu optimieren und neue Ansätze zur Unterstützung und Entlastung der Besatzung im Flug zu erproben.

Institut für Flugsystemtechnik
Dr.-Ing. Christoph Keßler, christoph.kessler@dlr.de

Forschungskooperationen

In der Windenergie müssen wir noch einige aerodynamische Aspekte wirklich begreifen – allerdings schätze ich diese auch komplizierter ein: Wir haben es mit hochturbulenten Strömungen, sich schnell verändernden Anströmwinkeln und radialen Druckgradienten zu tun. Nichtsdestotrotz hat die Luftfahrt sich mit diesen Phänomenen bereits deutlich länger beschäftigt und hierfür große Forschungsbudgets nutzen können. Es sollte demnach eine Menge von deren Methoden zu lernen sein.

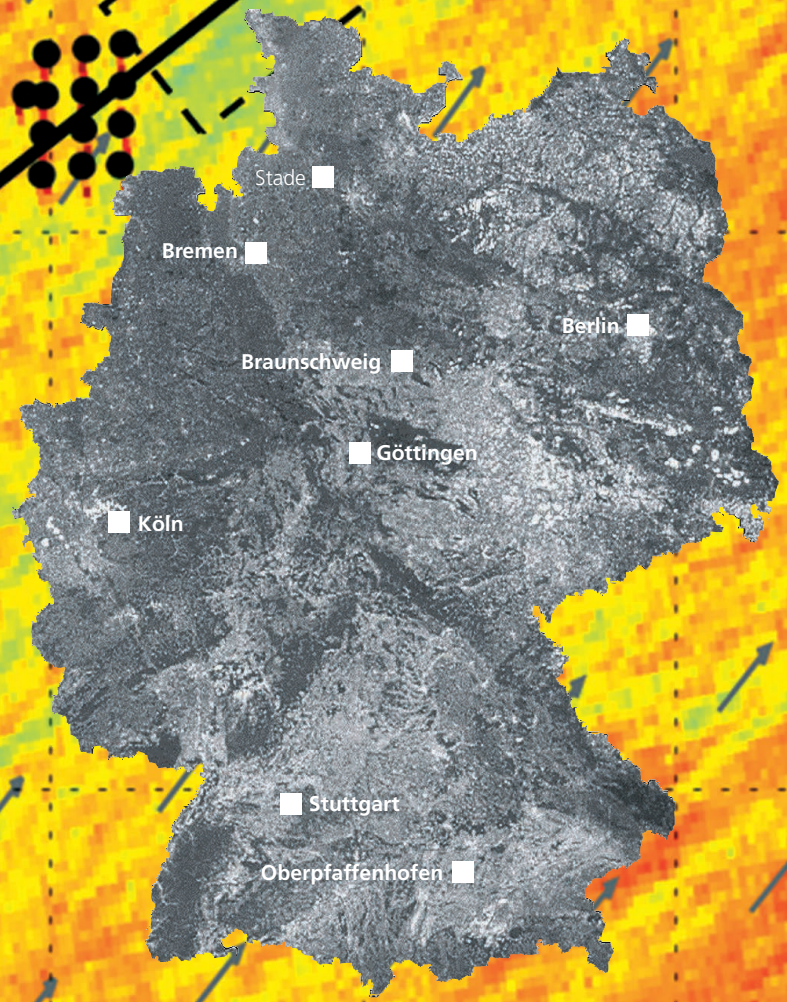
Andrew Garrad,
Aufsichtsratsmitglied DNV GL

FVWE-Kolloquium

Das DLR bearbeitet mit zahlreichen Industrieunternehmen in Forschungsprojekten relevante Aspekte für die Weiterentwicklung der Windenergienutzung. Darüber hinaus stimmen wir uns intensiv mit anderen Forschungseinrichtungen national und international ab: Der **ForschungsVerbund Erneuerbare Energien** (FVEE) ist eine bundesweite Kooperation von Forschungsinstituten und das größte koordinierte Forschungsnetzwerk für Erneuerbare Energien in Europa. Die **Europäische Energieforschungsallianz** (European Energy Research Alliance EERA) ist ein unabhängiger Verbund mit über 250 europäischen Forschungszentren und Universitäten. In sogenannten Joint Programmes werden technologiespezifisch langfristige Forschungsaktivitäten koordiniert. Die Internationale Energieagentur (IEA) als selbstständige Organisation der OECD-Länder bündelt Aktivitäten der Mitgliedsländer im Bereich Forschung, Entwicklung und Einsatz Erneuerbarer Energien in der Renewable Energy Working Party (REWP). In sogenannten **„Implementing Agreements" der IEA** arbeiten nationale Experten und Industrieakteure gemeinsam an technologiespezifischen Forschungsprojekten. Außerdem bestehen Verbindungen innerhalb der **Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren**, zum Beispiel über den Wissenstransfer aus dem Forschungsbereich Luftfahrt.

Der 2013 gegründete **Forschungsverbund Windenergie** (FVWE) bündelt das Know-how von rund 600 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, um wegweisende Impulse für die Energieversorgung der Zukunft zu geben. Die drei Partner ForWind – Zentrum für Windenergieforschung der Universitäten Oldenburg, Hannover und Bremen, das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) Nordwest und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) sind durch ihre personelle Stärke und Vernetzung mit Industrie, Politik und Forschung in der Lage, langfristige und strategisch wichtige Großprojekte erfolgreich zu bearbeiten. Mit dieser breiten Kompetenzbasis wird der effiziente und gesellschaftlich akzeptierte Einsatz von Windenergieanlagen optimiert und die deutsche Windenergieindustrie dabei unterstützt, ihre Technologieführerschaft auch im internationalen Wettbewerb zu behaupten. Das gemeinschaftliche Auftreten im Forschungsverbund besitzt eine große internationale Ausstrahlung und erschließt Synergien für anstehende Großprojekte in der Windindustrie.

Weiterführende Informationen zur Windenergieforschung im DLR



DLR MessTec:
Die Messtechnik- und Anlagendatenbank des DLR

Die Datenbank „MessTec" bietet einen gebündelten Überblick über das Know-how im Bereich der Messtechnik und über die Versuchsanlagen des DLR. Sie umfasst gegenwärtig über 220 im DLR verfügbare Messtechniken und über 250 Versuchsanlagen, welche auch interessierten Anwendern aus der Industrie zur Verfügung stehen. Die Informationen in der Datenbank umfassen unter anderem eine Beschreibung der jeweiligen Messtechnik/Anlage, eine Definition der erfassbaren Messgrößen und eine Darstellung des Anwendungsgebiets.

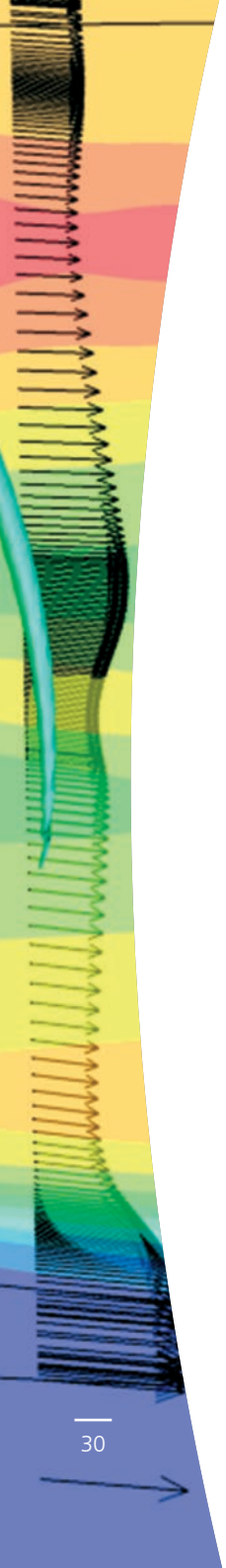
messtec.DLR.de

DLR ELIB:
Verzeichnis der elektronischen Publikationen des DLR

elib.DLR.de

DLR Köln
Dr. Sarina Keller
Forschungsgebietskoordinatorin
(Solar- und Windenergie, Speichertechnologien)
Linder Höhe
51147 Köln
Telefon: +49 2203 601-4848
sarina.keller@dlr.de

DLR Braunschweig
Dr.-Ing. Jan Teßmer
Koordinator Windenergie
Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig
Telefon: +49 531 295-3217
jan.tessmer@dlr.de



Ansprechpartner der DLR-Institute

Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
Simulationsmethoden (CFD, CAA, FSC), Profildesign, Aeroakustik am Blatt

Dr.-Ing. Thorsten Schwarz
Telefon: +49 531 295-2040
thorsten.schwarz@dlr.de

DLR.de/as

DLR-Standort Braunschweig
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig

Institut für Aeroelastik
Strukturdynamik, Aeroelastische Stabilität, Aeroelastic Tailoring, Lasten

Dr.-Ing. Holger Hennings
Telefon: +49 551 709-2459
holger.hennings@dlr.de

DLR.de/ae

DLR-Standort Göttingen
Institut für Aeroelastik
Bunsenstraße 10
37073 Göttingen

Institut für Antriebstechnik
Akustische Messungen unter Freifeldbedingungen, Mikrofonarraytechnik für stationäre und bewegte Schallquellen
Simulationsmethoden, Blattdesign und automatisierte Optimierung

Prof. Dr.-Ing. Lars Enghardt
Telefon: +49 30 310006-28
lars.enghardt@dlr.de

DLR-Standort Berlin
Institut für Antriebstechnik
Abteilung Triebwerksakustik
Müller-Breslau-Straße 8
10623 Berlin

Dr.-Ing. Eberhard Nicke
Telefon: +49 2203 601-2057
eberhard.nicke@dlr.de

DLR.de/at

DLR-Standort Köln
Institut für Antriebstechnik
Abteilung Fan und Verdichter
Linder Höhe
51147 Köln

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik
Blattdesign, Fatigue, Produktionsprozesse, Automatisierung in der Herstellung, Qualitätssicherung in der Produktion, Sensorsysteme für Structural Health Monitoring, Smarte Materialien, Aktive Strukturen

Birgit Wieland
Telefon: +49 531 295-2911
birgit.wieland@dlr.de

DLR.de/fa

DLR-Standort Braunschweig und DLR-Standort Stade
Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik
Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig

Institut für Flugsystemtechnik
Lastregelung, Betriebsstrategien, Virtuelle Windenergieanlage, Hubschraubereinsatz für Offshorebetrieb

Dr.-Ing. Christoph Keßler
Telefon: +49 531 295-2690
christoph.kessler@dlr.de

DLR.de/ft

DLR-Standort Braunschweig
Institut für Flugsystemtechnik
Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig

Institut für Methodik der Fernerkundung IMF
Hochaufgelöste Bilder, Radarozeanografie

Dr. Susanne Lehner
Telefon: +49 421 24420-1850
susanne.lehner@dlr.de

DLR.de/eoc

DLR-Standort Bremen
Institut für Methodik der Fernerkundung IMF
Henrich-Focke-Straße 4
28199 Bremen

Institut für Physik der Atmosphäre
Windfeldmessungen (LIDAR) und Simulation (LES), Schalltransmission und -immission, Site Assessment

Dr. Thomas Gerz
Telefon: +49 8153 28-1333
thomas.gerz@dlr.de

DLR.de/pa

DLR-Standort Oberpfaffenhofen
Institut für Physik der Atmosphäre
Oberpfaffenhofen
82234 Weßling

Institut für Technische Thermodynamik
Energiesystemanalyse,
Energiespeicher, Brennstoffzellen und Elektrolyse

Carsten Hoyer-Klick
Energiesystemanalyse
Telefon: +49 711 6862-728
carsten.hoyer-klick@dlr.de

Prof. Dr. K. Andreas Friedrich
Brennstoffzellen, Elektrolyse, Batterien
Telefon: +49 711 6862-278
andreas.friedrich@dlr.de

DLR-Standort Stuttgart
Institut für Technische Thermodynamik
Pfaffenwaldring 38–40
70569 Stuttgart

DLR.de/tt