



**EXPERTENEMPFEHLUNGEN AUS DEN ARBEITSGRUPPEN
WINDENERGIE FÜR DEN KONSULTATIONSPROZESS
ZUM 7. ENERGIEFORSCHUNGSPROGRAMM**



**FORSCHUNGSNETZWERK
ENERGIE** ERNEUERBARE ENERGIEN

**Expertenempfehlungen aus den Arbeitsgruppen Windenergie
für den Konsultationsprozess zum 7. Energieforschungsprogramm**

FORSCHUNGSNETZWERK ERNEUERBARE ENERGIEN

Einleitung

Transparenz und Partizipation sind wichtige Ziele der Bundesregierung im 6. Energieforschungsprogramm. Die sieben Forschungsnetzwerke Energie sind somit ein wichtiges Instrument der Energieforschungspolitik des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Sie tragen maßgeblich dazu bei, alle wesentlichen Akteure eines Themenschwerpunkts der Energieforschung zu vernetzen und an Strategieprozessen zu beteiligen. Dazu erarbeiten die Mitglieder der Forschungsnetzwerke Expertenempfehlungen zum künftigen Forschungsbedarf sowie zu möglichen Förderschwerpunkten und -formaten.

Im Dezember 2016 hat das BMWi als federführendes Ministerium für die Energiewende den Konsultationsprozess für ein neues Energieforschungsprogramm gestartet. Dieser Prozess bindet alle relevanten Akteure der Energieforschung und -wirtschaft frühzeitig in die Diskussion zur Weiterentwicklung der Energieforschungsförderpolitik ein und soll bis Ende 2017 abgeschlossen werden. Die Mitglieder des Forschungsnetzwerks Erneuerbare Energien haben konkrete Expertenempfehlungen für den Konsultationsprozess zum 7. Energieforschungsprogramm erarbeitet, die in dieser Broschüre vorgestellt werden.

Themen des Forschungsnetzwerks – Bereich Windenergie

In vier Arbeitsgruppen sowie zwei gruppenübergreifenden Fachausschüssen thematisiert das Netzwerk im Bereich Windenergie Ansätze, um die Stromgestehungskosten weiter zu reduzieren und die Technologie optimal in das Energieversorgungssystem – und auch die Gesellschaft – einzubinden. Das Ziel ist der weitere Ausbau der Windenergie. Die Anlagentechnik ist eines der vier als zentral

angesehenen Forschungsgebiete. Sie widmet sich dem Spannungsfeld zwischen steigenden technischen Herausforderungen – etwa durch zunehmende Größe der Windenergieanlagen – einerseits und dem Wunsch nach weiterer Kostenreduktion andererseits. Ein Schlüsselthema sehen die Netzwerkteilnehmerinnen und -teilnehmer zudem in einem optimierten Anlagenbetrieb, der intelligent und flexibel sein soll. Für die Windenergie ebenso relevant ist die Frage nach den physikalischen Faktoren, die die Windenergieerzeugung beeinflussen, thematisiert in der dritten Arbeitsgruppe. Nicht zuletzt spielen verschiedene inter- und transdisziplinäre Themen der Akzeptanz in den weiteren Ausbau der Windenergie mit hinein, etwa die Entstehung und Ausbreitung von Schall oder Fragen der Bürgerbeteiligung beim weiteren Ausbau der Windenergienutzung. Die zwei Fachausschüsse ergänzen die vier beschriebenen Arbeitsgruppen um übergreifende Themenfelder. Hier werden Themen behandelt, die Einfluss auf mehrere Arbeitsgruppen haben und sich somit nicht in den einzelnen Gruppen wiederfinden. Eine Zuordnung der Themen erfolgt über die Bereiche der Onshore- oder Offshore-Windenergie.

AG1: Anlagentechnik

AG2: Betrieb

AG3: Physikalische Faktoren

AG4: Akzeptanz und Begleitforschung

FA1: Fachausschuss Offshore-Windenergie

FA2: Fachausschuss Onshore-Windenergie

Die Gruppen sind untereinander vernetzt, sei es in Form von personeller Überlappung oder gegenseitiger Unterstützung konkreter Fragestellungen.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

Herausgeber

Projektträger Jülich (PtJ)
Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich

Redaktion und verantwortlich für den Inhalt

Forschungsnetzwerk Erneuerbare Energien,
Einleitung: Projektträger Jülich (PtJ)

Gestaltung und Produktion

Projektträger Jülich (PtJ)
Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich

Stand

Oktober 2017

Gründung und Entwicklung des Forschungsnetzwerks

Die Gründung des Netzwerks Erneuerbare Energien fand am 6. April 2016 im Beisein von 150 Vertretern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie in Berlin statt. Mit den Themen Windenergie und Photovoltaik sind in dem Netzwerk zunächst die Technologien vertreten, die innerhalb Deutschlands den größten Anteil an Strom aus erneuerbaren Energiequellen liefern. Parallel zur Gründung wurde ein gemeinsames Intranet aufgebaut, das als Arbeitsgrundlage für den Ideenaustausch sowie die Organisation einer geeigneten Struktur dient. Mittlerweile sind 271 Expertinnen und Experten für den Themenbereich Windenergie registriert, sowohl aus der Forschung als auch aus der Industrie. Diese Zahlen machen das Wissens- und Erfahrungspotenzial deutlich, das in das Netzwerk eingebracht wird.

Die in einem Abstimmungsprozess mit allen Teilnehmenden definierten Arbeitsgruppen trafen sich zunächst im November 2016 beim Projektträger in Jülich. Hier wählten die Netzwerkenden für jede Arbeitsgruppe bzw. die beiden Fachausschüsse zwei Mentorinnen bzw. Mentoren, jeweils eine Person aus der Wirtschaft und eine aus der akademischen Forschung. Die Mentorinnen und Mentoren moderieren die Gruppen und organisieren weitere Treffen. Im Februar 2017 fand schließlich ein erstes Präsenztreffen aller Netzwerkmitglieder des Themenbereichs Windenergie in Hamburg statt.

Die Geschäftsstelle der Forschungsnetzwerke Energie beim Projektträger Jülich ist Ansprechpartner für alle aktiven oder an einer Mitgliedschaft interessierten Akteure. Für das Netzwerk Erneuerbare Energien stellt der PTJ-Geschäftsbereich „Energiesystem: Erneuerbare Energien/Kraftwerkstechnik“ (ESE) darüber hinaus Koordinatorinnen bzw. Koordinatoren als Ansprechpartner für fachliche Fragen zur Verfügung.

Expertenempfehlungen für den Konsultationsprozess

Im Rahmen der ersten Arbeitsgruppentreffen in Jülich entstanden zunächst Themenübersichten für die einzelnen Bereiche. Im Anschluss daran fassten die einzelnen Arbeitsgruppen die geführten Diskussionen zusammen und ergänzten diese zum Teil durch Umfragen in Verbänden. Die somit entstandenen Vorschläge wurden als Grundlage des Präsenztreffens für den Bereich Windenergie im Februar 2017 in Hamburg genutzt. In einzelnen AG-Workshops sichteten die Netzwerkteilnehmenden dort die Ergebnisse und priorisierten einzelne Forschungsschwerpunkte.

Die Mentoren verfassten hieraus für ihre jeweilige Arbeitsgruppe Entwürfe für Themenblätter, die die zukünftigen Schwerpunkte des Förderbedarfs abdecken. Diese Themenblätter wurden im Netzwerk von den Mitgliedern intensiv diskutiert und weiterbearbeitet.

Jede Arbeitsgruppe hat konkrete Forschungsziele erarbeitet, die zusammen genommen das weiterhin hohe Entwicklungspotenzial der Windenergie umsetzen sollen. Unterteilt in Motivation, Forschungsinhalte, erwartete Ergebnisse sowie eine Beschreibung der dafür benötigten Art von Forschung sind die einzelnen Themen übersichtlich strukturiert und gut nachzuvollziehen. Kurze Einleitungen führen in die jeweiligen Themen ein. Die Netzwerkmitglieder möchten mit ihren Empfehlungen Impulse für die künftige Forschungsförderung im Bereich Energie geben.

INHALT

AG 1 ANLAGENTECHNIK	2
AG 2 BETRIEB	6
AG 3 PHYSIKALISCHE FAKTOREN	12
AG 4 AKZEPTANZ UND BEGLEITFORSCHUNG	18
FA 1 FACHAUSSCHUSS OFFSHORE-WINDENERGIE	24
FA 2 FACHAUSSCHUSS ONSHORE-WINDENERGIE	28

AG 1 ANLAGENTECHNIK

Die Anlagentechnik – vom Rotor über den maschinenbaulichen Teil einer Windenergieanlage bis hin zur Netzanbindung – ist weiterhin maßgeblich entscheidend für die Höhe der Stromgestehungskosten. Diese werden wesentlich durch die Effizienz der Energieerzeugung, die Herstellungskosten aller Komponenten und des Gesamtsystems sowie die damit verbundenen Betriebskosten über den gesamten Lebenszyklus der Windenergieanlage beeinflusst.

Gleichzeitig steigen die technischen Herausforderungen an die einzelnen Bauteile und die Gesamtanlage stetig: Zunehmende Abmessungen, die bis an die Grenzen der Materialbelastbarkeit gehen, extremere Umweltbedingungen durch sehr anspruchsvolle Standorte und neue Anforderungen an das Systemverhalten charakterisieren das Anforderungsprofil.

Die nachfolgend vorgeschlagenen Forschungsschwerpunkte sollen diesem Spannungsfeld zwischen steigenden technischen Herausforderungen und dem hohen Kosteneinfluss der Anlagentechnik Rechnung tragen. Die Reduzierung der Energiegestehungskosten von Windenergieanlagen steht als grundlegende Motivation über jedem der förderungswürdigen Schwerpunkte wissenschaftlicher und industrieller Forschung und Entwicklung.

Die große Spannweite der hierfür relevanten Themen zeigt sich in der Auswahl der vier vorgeschlagenen Forschungsschwerpunkte. Im Fokus stehen die Großkomponenten wie Rotorblätter und Triebstränge, die den steigenden Anforderungen sowohl hinsichtlich ihrer Materialeigenschaften als auch hinsichtlich ihrer Auslegung gerecht werden müssen. Ergänzt wird dieses Thema durch die Entwicklung von Standardisierungsansätzen für sekundäre Baugruppen und Module, wie beispielsweise Flugbefehrerungen, Sensorik und Sicherheitstechnik. Hierdurch soll die Komplexität innerhalb der Lieferkette reduziert werden. Schließlich trägt die Erarbeitung von systemischen Ansätzen im Bereich der hochbeanspruchten Leistungselektronik sowie

der Netzanbindung dazu bei, der zunehmenden Anforderungsvielfalt und den steigenden Belastungen begegnen zu können.

Für alle vorgeschlagenen Schwerpunkte wird eine vorwettbewerbliche Gemeinschaftsforschung sowie die Überprüfung der Ergebnisse durch Validierungsprojekte bis hin zu Prototypen als zielführender Ansatz empfohlen.

THEMEN | AG 1:

AG 1 – 1. Zuverlässigkeit mechanischer Bauteile

AG 1 – 2. Komplexitätsreduktion

AG 1 – 3. Senkung der Life-cycle-cost von sehr großen Rotorblättern

AG 1 – 4. Leistungselektronik und Netzanbindung

Mentoren AG Anlagentechnik: Prof. Dr. Andreas Reuter und Jörg Scholle

AG 1 – 1. Zuverlässigkeit mechanischer Bauteile

In diesen Themenbereich fallen die Modellentwicklung zur Zuverlässigkeitsbestimmung von mechanischen Bauteilen, Systemmodelle zur Bestimmung von Alterung/Verschleiß/Versagen sowie die Entwicklung innovativer Triebstrangkonzepete.

■ MOTIVATION

Trotz nun schon jahrzehntelanger Erfahrung mit dem Einsatz maschinenbaulicher Komponenten (Lager, Getriebe, Verschraubungen) in Windenergieanlagen können bestimmte Versagensmechanismen mit bisherigen Modellen nur teilweise beschrieben werden. Zunehmende Bauteilgrößen und komplexere Betriebsbedingungen, z. B. individual pitch control (IPC) im Zusammenhang mit Pitchlagern, verschärfen das Problem.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Vor diesem Hintergrund werden nachfolgende F&E-Schwerpunkte empfohlen:

- Entwicklung von Modellen zur Beschreibung/Bestimmung der Zuverlässigkeit des Gesamtsystems
- Versagensmodelle für Lager, Verzahnungen etc.
- Neue, zuverlässige und kostengünstige Triebstrangkonzepete

■ ERGEBNISSE

Als Ergebnis entstehen Simulationsmodelle zur Abbildung aller zuverlässigkeitsrelevanten Größen auf Systemebene (Windenergieanlage oder Triebstrang). Der Zeithorizont hierfür beträgt fünf Jahre. Ein weiteres Ergebnis sind Modelle zur Beschreibung von Alterung/Verschleiß/Versagen von Bauteilen für Komponenten des Triebstrangs. Der Zeithorizont beträgt ebenfalls fünf Jahre. Die Entwicklung und Validierung innovativer Triebstrangkonzepete wird als weiteres Ergebnis der genannten Forschungsinhalte ermöglicht. Der Zeithorizont hierfür beträgt fünf bis zehn Jahre.

ART DER FORSCHUNG

Angewandte Forschung und Demonstrations- bzw. Validierungsprojekte.

AG 1 – 2. Komplexitätsreduktion

Die Komplexität entlang der gesamten Wertschöpfungskette soll durch die Entwicklung von standardisierten Baukastensystemen und Modulkonzepten reduziert werden. Auch die Standardisierung von Komponentenschnittstellen trägt dazu bei.

■ MOTIVATION

Im Unterschied zu reiferen Industrien ist in der Windenergiebranche nur eine gering ausgeprägte branchenweite Standardisierung von Komponenten und Methoden anzutreffen. Hohe Entwicklungsaufwände und Bauteilkosten aufgrund eines hohen Individualisierungsgrades bedingt durch weitgehend fehlende Branchenstandards und Regulierungen belasten die Hersteller und Lieferanten. Die Realisierung von Skaleneffekten entlang der Wertschöpfungskette wird dadurch verhindert oder erschwert. Durch eine Reduktion der Komplexität und Vereinheitlichung von nicht wettbewerbsträchtigen Komponenten und Methoden könnten u. a. durch höhere Stückzahlen deutliche Kostenvorteile generiert werden. Dadurch würde die Wettbewerbsfähigkeit der gesamten Windenergiebranche gesteigert.

■ FORSCHUNGSINHALTE

- Entwicklung von Baukästen und Basiskonfigurationen für wettbewerbsneutrale Nebensystemen, wie bspw. Flugbefehrerungen, Sensorik, Schmierung, Turminneneinbauten und Sicherheitstechnik (Fallschutz, Service-Lift, etc.)
- Entwicklung von Modulkonzepten für Kernkomponenten und Nebensystemen
- Optimierung und Standardisierung von Komponentenschnittstellen

- Entwicklung optimierter Modellierung, Verknüpfung von Modellebenen

■ ERGEBNISSE

Herstellkosten gesenkt und branchenweite Reduzierungen des Cost of Energy ermöglicht. Der Zeithorizont beträgt drei bis fünf Jahre.

■ ART DER FORSCHUNG

Angewandte Forschung und Demonstrations- bzw. Validierungsprojekte.

AG 1 – 3. Senkung der Life-cycle-cost von sehr großen Rotorblättern

Neue Konzepte sollen die Kosten im Rahmen der Fertigung von sehr großen Rotorblättern reduzieren. Zudem werden zeit- und kosteneffiziente Validierungsmethoden benötigt. Entwickelt werden sollen weiterhin verbesserte Entwurfsmethoden und Modelle zur Aerodynamik/-elastik sowie Segmentierungs- und Verbindungskonzepte für Rotorblätter.

■ MOTIVATION

Rotorblätter sind die teuersten und komplexesten Bauteile einer Windenergieanlage. Mit Längen von bis zu 90 Metern, Gewichten bis 35 Tonnen und Lastspielzahlen von 109 werden derzeitige Technologiegrenzen für Verbundwerkstoffe erreicht. Demgegenüber stehen manufakturähnliche Fertigungsbedingungen und Kostenziele um zehn Euro pro Kilogramm. Sollen in diesem Gebiet Fortschritte erzielt werden, so müssen auf vielen Gebieten grundsätzlich neue Ansätze und Verfahren entwickelt werden.

■ FORSCHUNGSINHALTE

- Senkung der Fertigungskosten, Industrialisierung der Fertigung
- Test- und Validierungsmaßnahmen
- Aerodynamik/Aeroelastik
- Segmentierungs- und Verbindungskonzepte

■ ERGEBNISSE

Als Ergebnis der Forschung in den diversen Bereichen der Entwicklung optimierter Rotoren stehen reduzierte Life-cycle-costs, d. h., dass neben den Bauteilkosten auch Fragen der Effizienz, der Transport-, Montage- und Wartungskosten sowie die Entsorgung berücksichtigt werden. Der Zeithorizont hierfür beträgt fünf bis zehn Jahre.

■ ART DER FORSCHUNG

Weitestgehend angewandte Forschung, evtl. als vorwettbewerbliche Gemeinschaftsforschung. Für den Bereich Materialentwicklung ggf. Grundlagenforschung.

AG 1 – 4. Leistungselektronik und Netzanbindung

Im Bereich der Leistungselektronik sollen zuverlässigere Bauteile entwickelt und validiert werden. Windenergieanlagen sollen dazu befähigt werden, bedarfsgerecht und zuverlässig sowohl netzstützende als auch -stabilisierende Einspeiseleistungen zu erbringen. Aussagekräftige Nachweisverfahren für Netzeigenschaften werden benötigt.

■ MOTIVATION

Aus zwei Gründen nimmt der Einsatz von leistungselektronischen Bauteilen in Windenergieanlagen zu: Zum einen werden zunehmend komplexe Regelungsaufgaben zur Lastoptimierung elektronisch gelöst und zum anderen erfordert die Netzanbindung von großen Mengen an Windenergie netzstützende oder -stabilisierende Eigenschaften der Anlagen, die ebenfalls durch Leistungselektronik realisiert werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass diese Anforderungen und die komplexen Umweltbedingungen in der Windenergie nicht mit konventionellen Lösungen anderer Branchen – z. B. aus der Bahnindustrie – mit der erforderlichen Zuverlässigkeit umgesetzt werden können. Auch sind die derzeitigen Nachweisverfahren für die netzrelevanten Eigenschaften der Windenergieanlagen sehr umständlich und oft nicht aussagekräftig. Daher muss dieser Themenbereich den Anforderungen entsprechend deutlich weiterentwickelt werden.

■ FORSCHUNGSINHALTE

- Zuverlässigkeit leistungselektronischer Bauteile
- Systemintegration
- Verbesserte Nachweisverfahren für Netzeigenschaften

■ ERGEBNISSE

Als Ergebnis wird eine zuverlässige und kostengünstige Leistungselektronik mit optimierten Schnittstellen geschaffen. Die Netz- und Kraftwerkeigenschaften von Windparks werden verbessert. Die Netzeigenschaften können beschleunigt und reproduzierbar vermessen werden. Der Zeithorizont, die genannten Ergebnisse zu erreichen, beträgt drei bis fünf Jahre.

■ ART DER FORSCHUNG

Angewandte Forschung. Unterstützung von vorwettbewerblicher Verbundforschung und von Demonstrationsprojekten, evtl. auch Prototypen.



AG 2 BETRIEB

Kostenreduktion und Integration der Windenergie in das Energiesystem sind wichtige Ziele der Forschung, die in der „Strategic Research and Innovation Agenda 2016“ der European Technology and Innovation Platform on Wind Energy (ETIP Wind) herausgestellt werden. Der optimale, intelligente und flexible Betrieb von Windenergieanlagen und -parks ist ein Schlüssel, um diese Ziele zu erreichen.

Die hohe Anzahl bereits installierter Windenergieanlagen stellt im Prinzip eine breite Basis gemessener Betriebsdaten bereit. Indem eine globale Forschungsdatenbasis geschaffen wird, kann das darin gespeicherte Wissen der Forschung zugänglich gemacht werden. Automatisierte Verfahren können dazu genutzt werden, die anfallenden großen Datenmengen zu verarbeiten und zu analysieren. Im Anschluss können die gewonnenen Erkenntnisse in den Entwurfsprozess rückgespiegelt werden, um einen optimierten Betrieb und eine zustandsorientierte Instandhaltung zu ermöglichen.

Ein optimaler Betrieb von Windparks zielt dabei zum Beispiel auf Flexibilität hinsichtlich variierender Betriebsmodelle sowie auf eine vorausschauende Regelung. Die Integration von Windparks in das gesamte Energiesystem kann wie folgt optimiert werden: durch verbesserte Vorhersagemodelle der Einspeiseleistung sowie durch eine modellprädiktive Regelung von Windparks in hybriden Kraftwerksverbänden.

Es wird eine zustandsorientierte Instandhaltung statt der klassischen reaktiven oder präventiven Instandhaltung benötigt. Hierfür müssen sowohl automatisierte, sensitive und fehlalarmfreie Monitoringsysteme, als auch zuverlässige Prognosetools sowie stark verbesserte und automatisierte Instandhaltungsmethoden und -prozesse geschaffen werden.

THEMEN | AG 2

AG 2 – 1. Datenzugang und -management

AG 2 – 2. Optimierte Betriebsführung und Regelung von Windparks

AG 2 – 3. Betriebsführung von Windparks im Kraftwerksverbund

AG 2 – 4. Zustandsorientierte Instandhaltung

Mentoren AG Betrieb: Prof. Dr. Raimund Rolfes und Jens Demtröder

AG 2 – 1. Datenzugang und -management

Das Thema Datenzugang und Datenmanagement beinhaltet die Schaffung einer globalen Datenbasis, die Vereinheitlichung von Datenformaten und Datentransferprotokollen, die Entwicklung zuverlässiger zielorientierter Messketten, die Entwicklung automatisierter Verfahren zur Datenvorverarbeitung und -analyse großer Datenmengen sowie die Wissensrückführung in Entwicklung und Betrieb

■ MOTIVATION

Der Betrieb von Windenergieanlagen ist durch eine große und weiter steigende Anzahl von Einzelanlagen geprägt. Für eine sichere Installation, eine optimale Betriebsführung sowie für die Instandhaltung wird schon heute eine Vielzahl von physikalischen Größen von Anlagen- und Umgebungsdaten erhoben. Im Kontext von z. B. zustandsorientierten Instandhaltungsstrategien wird sich dieser Trend weiter verstärken. Derzeit werden die Daten bei weitem noch nicht optimal genutzt, um einen kosten- und ertragsoptimierten Betrieb zu gewährleisten. Es bestehen keine hinreichenden systematischen und automatisierten Verfahren zur Vorverarbeitung, Anonymisierung und Analyse großer Datenmengen. Dem wirtschaftlichen Interesse, diese Daten nutzbar zu machen, stehen steigende Anforderungen an die Datensicherheit gegenüber. Auch hier gibt es noch keine hinreichenden Verfahren, Windenergieanlagen gegen unautorisierten Zugriff zu schützen.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Die Inhalte können gegliedert werden in:

- Datenzugang: Schaffung einer globalen und gut dokumentierten Datenbasis als Grundlage zur Entwicklung von Methoden sowie harmonisierter Schnittstellen
- Datenaufnahme: Entwicklung zuverlässiger, wirtschaftlicher, zielorientierter Messketten und Methoden der automatischen Synchronisation von Daten

- Datenvorverarbeitung: Vorbereitung der Daten für eine Datenanalyse durch Klassifikation, statistische Selektion, Filterung, Datenreduktion
- Datenerweiterung: Erweiterung von Messdaten anhand geeigneter Methoden zur Extrapolation gemessener Größen auf weitere Strukturpunkte, z. B. mit Hilfe numerischer Modelle
- Datenanalyse: Methoden zur automatischen Analyse großer Datenmengen, z. B. hinsichtlich Datenzusammenhängen, Fehlererkennung und Fehlereliminierung
- Wissensmanagement: Nutzung der Daten zur Validierung und Weiterentwicklung von Entwurfsverfahren, Nutzung der Daten zur Optimierung von Betrieb und Instandhaltung sowie Bereitstellung der Daten auf einer anonymen Plattform zur Nutzung durch Betreiber, Hersteller und die Forschungsgemeinschaft
- Realisierung von Demonstrationsanlagen im technisch relevanten Maßstab (je nach Branche)
- Umfassende Bewertung der ökonomischen Aspekte und der Umweltauswirkungen

■ ERGEBNISSE

Das Ziel der Forschungsaktivitäten ist es, eine globale Forschungsdatenbasis zu schaffen sowie geeignete Messketten und automatisierte Verfahren zur Datenvorverarbeitung und -analyse großer Datenmengen zu entwickeln. Die Erkenntnisse sollen in den Entwurfsprozess sowie den Betrieb und die Instandhaltung rückgeführt werden. Der Zeithorizont beträgt etwa fünf Jahre.

■ ART DER FORSCHUNG

Angewandte Forschung, Gemeinsame Pilotanlagen von Industrie und Wissenschaft.

AG 2 – 2. Optimierte Betriebsführung und Regelung von Windparks

Es werden Regelungsstrategien benötigt, um den Betrieb von Windparks auf multiparametrische, zeitlich veränderliche Zielsetzungen hin zu optimieren.

■ MOTIVATION

Der wirtschaftliche Betrieb von Windparks stellt ein multiparametrisches Optimierungsproblem mit vielen, teilweise gegenläufigen Zielsetzungen dar. Diese Zielsetzungen können je nach Geschäftsmodell des Betreibers variieren. In vielen Fällen werden sie sich auch über die Lebensdauer des Windparks verändern. Während klassische Betriebsführungsstrategien auf die Maximierung des Energieertrages abzielen, werden zukünftig andere Zielsetzungen an Bedeutung gewinnen, u. a.: Maximierung des Umsatzes (z. B. bei variablem Einspeisetarif), Maximierung der Verfügbarkeit, Ausbalancierung der Belastung oder der Restlebensdauer, Minimierung der Wartungs- und Instandhaltungskosten, Minimierung der Gesamt- oder Energieentstehungskosten, Angleichung der Erzeugungsleistung an den Bedarf, Optimierung der Stromqualität, Minimierung des Umwelteinflusses (z. B. Geräusch).

■ FORSCHUNGSINHALTE

Zur Entwicklung von Regelungslösungen, die diese vielfältigen Optimierungsziele flexibel bedienen können, ergeben sich drei wesentliche Forschungsschwerpunkte:

- Dynamische Parkleistungskurve: verbesserte Windfeldsimulation (macro, meso und micro-scale), Berücksichtigung von Klimaparametern (z. B. Vereisung), aerodynamische/strukturmechanische/elektrische Wechselwirkungen der einzelnen Anlagen in einem Windpark und zwischen benachbarten Windparks, Vorhersage der erwarteten Anlagenverfügbarkeit aus dem aktuellen Anlagenzustand, Berücksichtigung von Betriebseinschränkungen (z. B. geräuschreduzierter Betrieb)
- Vorausschauende Regelalgorithmen: Prädiktive Sensorik (z. B. LiDAR), dezentrale Windmessung, dezentrale Lastmessung, Modellierung von Windparks als cyber-physikalische Systeme, Rückführung der Messdaten in die Regelung der Windparks und die Regelung der einzelnen Anlagen eines Windparks

- Optimierungsmethoden: selbstlernende Systeme (machine learning), modellprädiktive Regelung, Fuzzy Logics, lineare Parametervariation, Einbindung von betriebswirtschaftlichen Modellen

■ ERGEBNISSE

Forschungsziele sind die Weiterentwicklung von Modellen zur exakten Vorhersage der Leistungskurve eines Windparks, die Entwicklung von physischen und virtuellen Sensoren und Algorithmen zur vorausschauenden Regelung von Windparks, und die Etablierung von robusten Methoden zur Optimierung des Parkbetriebes nach multiplen, zeitlich variablen Zielparametern. Die Forschungsergebnisse sollen innerhalb eines Zeitraumes von fünf Jahren im Feld demonstriert werden.

■ ART DER FORSCHUNG

Vorlauftforschung und Pilotprojekte zur Demonstration der entwickelten Lösungen im Feld.

AG 2 – 3. Betriebsführung von Windparks im Kraftwerksverbund

Es werden Regelungs- und Betriebsführungsstrategien benötigt, mit denen Windparks zuverlässig und steuerbar in Stromnetze und Energiesysteme integriert werden können, und mit denen Windparks in hybriden Kraftwerksverbunden geregelt werden können.

■ MOTIVATION

Die steigende Durchdringung verteilter, umrichterbasierter Erzeugungsquellen erfordert (vorrangig) regelungstechnische Lösungen zur Integration von Windparks in die Übertragungsnetzwerke. Die aus natürlichen Schwankungen der Windressourcen resultierende Diskontinuität der Einspeiseleistung erfordert (nachrangig) verbesserte Vorhersagemodelle und regelungstechnische Lösungen zur Steuerung von Windparks im Energiesystem. In zunehmenden Umfang wird dabei das Zusammenspiel von Windparks im Verbund mit anderen Energieträgern wie Photovoltaik und Speicherlösungen zu optimieren sein.

■ FORSCHUNGSINHALTE

In diesem Spannungsfeld ergeben sich drei wesentliche Forschungsschwerpunkte:

- Netzintegration: Verbesserte Vorhersagemodelle für die kurzfristig verfügbare aktive und reaktive

Leistung, regelungstechnische Lösungen zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen auf Parkebene, Parkregelung zur Verbesserung der Systemstabilität, Integration von Kurzzeitspeichern in die Parkregelung, dezentrale Regelbarkeit von Windparks bei optimierter Auslastung der Einzelanlagen

- Energiemarktintegration: Verbesserte Vorhersagemodelle für die mittel- und langfristig verfügbare Parkleistungsabgabe, Einbeziehung vielfältiger Klima- und Betriebsparameter in die Vorhersage, Parkregelungskonzepte zur Stabilisierung und Bedarfsanpassung der Einspeiseleistung, Integration von hybriden Kraftwerken und Speichern in die Parkregelung
- Modellprädiktive Parkregelung: Analyse und Synthese von Reglerstrukturen für die multiparametrische und multivariable Optimierung des Windparkbetriebes, Entwicklung einer Regelungsarchitektur für das Zusammenspiel von Park- und Anlagenregelung, Definition von echtzeitfähigen Kommunikationsprotokollen für die Regelparameter (extern und parkintern), Nachweis der Netzsicherheit der Kommunikationsprotokolle und Regelungskreise, Demonstration von Regelungslösungen im Labor, Demonstration von Regelungslösungen im Feld

■ ERGEBNISSE

Forschungsziele sind weiterentwickelte Modellen, mit denen die Einspeiseleistung in Zeitskalen von Sekunden bis Wochen vorhergesagt werden kann, sowie Regelungsalgorithmen zur Integration von Windparks in Stromnetze und Energiesysteme. Ein weiteres Ziel sind Regelungsalgorithmen, mit denen Windparks in hybriden Kraftwerksverbunden gesteuert werden können. Die Forschungsergebnisse sollen mit einem Zeithorizont von fünf Jahren im Feld demonstriert werden.

■ ART DER FORSCHUNG

Vorlauftforschung insbesondere auf dem Gebiet der modellprädiktiven Regelung, Angewandte Forschung und Pilotprojekte zur Demonstration der entwickelten Reglerlösungen im Labor und im Feld.

AG 2 – 4. Zustandsorientierte Instandhaltung

Neue weitgehend automatisierte Diagnose- und Prognoseverfahren sollen entwickelt werden. Auch die Weiterentwicklung von Instandhaltungsstrategien sowie automatisierten und verbesserten Instandhaltungsmethoden fällt unter dieses Thema.

■ MOTIVATION

Der Betrieb von Windenergieanlagen ist durch eine große und weiter steigende Anzahl von Einzelanlagen geprägt, die zum Teil nur schwer und unter hohen Kosten zugänglich sind. Klassische reaktive oder präventive Instandhaltungsstrategien müssen daher um zustandsorientierte Strategien erweitert oder durch sie ersetzt werden. Die Ziele bestehen in der Reduktion der Instandhaltungskosten, der Maximierung des Ertrages, der Optimierung der Verfügbarkeit und insbesondere der Systemstabilität sowie der Erhöhung der Lebensdauer. Deren relative Gewichtung hängt vom jeweiligen Betriebskonzept ab.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Die Inhalte können gegliedert werden in:

- Diagnostik: Neue Methoden zur Fehleridentifikation, -lokalisierung und -quantifizierung, sowie zum Lastmonitoring (SHM, CMS) und fehlertoleranten Weiterbetrieb, Optimierung von Sensorik und Konzepte für virtuelle Sensorik, Vernetzung verschiedener Monitoringsysteme
- Prognostik: Entwicklung erweiterter Degradations- und Restlebensdauermodelle, Schaffung eines digitalen Anlagenabbaus, Entwicklung stochastischer Zuverlässigkeitsmodelle und modellbasierter wahrscheinlichkeitstheoretischer Entscheidungssysteme
- Instandhaltungsstrategien: Weiterentwicklung und situationsabhängige Kombination von Instandhaltungsstrategien (reaktiv, präventiv, prädiktiv)
- Instandhaltungsmethoden und -prozesse: Entwicklung autonom agierender Robotiksysteme, Weiterentwicklung von Korrosions- und Erosionsschutzsystemen, verbesserte zerstörungsfreie Prüfverfahren, Entwicklung standardisierter Betriebsprozesse

■ ERGEBNISSE

Das Ziel sind automatisierte, sensitive und fehlalarmfreie Monitoringsysteme, zuverlässige Prognosetools sowie stark verbesserte und automatisierte Instandhaltungsmethoden und -prozesse mit einem Zeithorizont von etwa fünf Jahren.

■ ART DER FORSCHUNG

- Vorlauftforschung (insbesondere für Degradations- und Restlebensdauermodelle sowie SHM-Algorithmen)
- Angewandte Forschung
- Prototypenhafte Installation von Monitoring-systemen, Erprobung von Instandhaltungsmethoden



AG 3 PHYSIKALISCHE FAKTOREN

Bei allen Bestrebungen, natürliche Windverhältnisse für die nachhaltige Energieversorgung unserer Gesellschaft nutzbar zu machen, müssen physikalische Faktoren als grundlegende Randbedingungen miteinbezogen werden. Je besser die Eigenschaften der Energieressource Wind bekannt sind, umso effektiver wird man diese Ressource nutzen können. Die präzise Beschreibung und Vorhersage von Windverhältnissen ist unweigerlich mit den grundlegenden Schwierigkeiten der nichtlinearen und turbulenten Strömungsphysik konfrontiert. Sowohl die Einwirkungen der im Allgemeinen turbulenten Strömungsverhältnisse als auch die Auswirkungen der Wandlungsprozesse von Windenergieanlagen sind zu verstehen. Hierbei geht es im Konkreten um die Bereiche der Aerodynamik, Aeroelastik und Aeroakustik von Windenergieanlagen und speziell ihrer Rotorblätter. Auswirkungen sind ebenfalls die durch die Windenergieanlagen veränderten Windverhältnisse, die für weitere im Abwind stehende Anlagen oder andere Umweltaspekte von Bedeutung sind. Die physikalischen Faktoren umfassen aber nicht nur die Strömungsaspekte, sondern auch prinzipielle Materialeigenschaften, die für einen effektiven und kostengünstigen Anlagenbau von zentraler Bedeutung sind.

All dies unterliegt zwar bekannten physikalischen Gesetzen. Es ist jedoch prinzipiell bekannt, dass die Komplexität und die Nichtlinearität der hier zur Anwendung kommenden physikalischen Gesetze dazu führt, dass weder allgemeine analytische Lösungen bestimmt werden können noch eine exakte Berechnung – auch mit den größten uns zur Verfügung stehenden Computern – möglich ist. Die erforderlichen Methoden zur Erstellung vereinfachter Modelle, zur Modellreduktion und zur Datenbearbeitung sind daher auf der Basis der physikalischen Gesetzmäßigkeiten zu entwickeln und zu untersuchen.

THEMEN | AG 3:

- AG 3 – 1. Big data – Modellreduktion
- AG 3 – 2. Materialforschung für Bauteile von Windenergieanlagen
- AG 3 – 3. Schall und Lärm
- AG 3 – 4. Windfelder und Turbulenzen
- AG 3 – 5. Rotor-aerodynamik und -aeroelastik

Mentoren AG physikalische Faktoren: Dr. Dominic von Terzi und Prof. Dr. Joachim Peinke

AG 3 – 1. Big data – Modellreduktion

Beim Betrieb von modernen Windenergieanlagen werden heutzutage enorme Mengen an Daten mit Raten bis zu Kilohertz meist nur für Dokumentationszwecke erhoben. Für den laufenden Betrieb wird somit ein großes Potenzial von Informationen nicht genutzt.

■ MOTIVATION

Modellierungsmethoden mit hochauflösenden Berechnungen können zu noch größeren Datenmengen führen. Daher ist die Reduktion auf wichtige Daten von zentraler Bedeutung. Zum einen ist dieses Problem eng mit „big data“ verwandt, zum anderen gilt es grundlegende Vorgehensweisen zu erforschen, die eine möglichst exakte Modellreduktion zulassen, bzw. die Informationsverluste bei Modellreduktion erfassen. Diese Vorgehensweise ist essenziell um Gesamtsystemmodelle aufzustellen, mit denen sich Wechselwirkungen und Kopplungen von Einzelkomponenten bzw. Teildisziplinen von der Rotor-aerodynamik bis zum Netzanschlusspunkt untersuchen lassen.

■ FORSCHUNGSINHALTE

„Big data“ und Modellreduktion sind schon seit einiger Zeit bestehende Forschungsfelder in etlichen Anwendungsbereichen. Nun gilt es, diese Methoden für die Windenergiethematik weiterzuentwickeln. Besondere Herausforderungen, die auch neue Methoden erforderlich machen, ergeben sich beispielweise aus den Arbeitsbedingungen: Starkes nichtlineares (turbulentes) Rauschen erfordert Methoden basierend auf komplexen statistischen Maßen. Weitere Herausforderungen ergeben sich aus den Anlagengrößen: Große Windenergieanlagen als größte aerodynamische Maschinen weisen eine gekoppelte Gesamtdynamik auf, wobei fast alle Bauteile als elastisch anzunehmen sind. Gekoppelte, nichtlineare Schwingungszustände sind zu erfassen. Das gängige Vorgehen, Messdaten und Modellierungsergebnisse stark zu mitteln, ist durch Verfahren zu ersetzen, die es erlauben den maximalen Informationsgehalt zu nutzen.

■ ERGEBNISSE

Eine bessere Auswertung der Messdaten wird eine bessere Anlagenbewertung zulassen. Dadurch ist es möglich, im Entstehen begriffene Fehler frühzeitig zu erkennen. Präventive Wartungen oder Reparaturen können eingesetzt werden, um Stillstandzeiten zu vermeiden. Der Zeithorizont für „big data“ und Herausstellen der Spezifika der Windanwendung beträgt ca. drei Jahre. Grundlegende Innovationen hinsichtlich „big data“ sind dahingegen ein langfristiges Thema.

Ein weiteres Ziel besteht darin, bessere, also kostengünstigere und genauere Modellierungsmethoden zu erstellen, die dann neue Entwicklungen von verbesserten Anlagen ermöglichen. Der Zeithorizont variiert: Modellreduktion ist ein langfristiges grundlegendes Forschungsthema, wobei jeder Erkenntnisgewinn wichtige wertvolle Fortschritte bedeuten kann. Für spezifische Fragestellungen können durchaus auch kurzfristig (ca. innerhalb eines Jahres) Ergebnisse erzielt werden.

■ ART DER FORSCHUNG

Methodenentwicklung für „big data“ und „Modellreduktion“ ist eher Vorlaufforschung, wobei es gilt, angewandte Methoden gezielt für Windenergiefragestellungen zu entwickeln.

AG 3–2. Materialforschung für Bauteile von Windenergieanlagen

Die Materialforschung für Bauteile von Windenergieanlagen ist facettenreich. Rotorblätter bestehen aus Kompositmaterialien, Faserverbund- und Hybridmaterialien, magnetische und elektrische Komponenten bestehen aus Metallen und Legierungen, Turm und Fundament schließlich bestehen aus Stahl und Beton.

■ MOTIVATION

Mit zunehmender Größe moderner Windenergieanlagen kommen immer mehr Bauteile an die Grenzen der Materialeigenschaften. Die Verwendung und die Haltbarkeit der Materialien, z. B. beim Bau der Rotorblätter, stellen einen entscheidenden Kostenfaktor für die Windenergie dar. Es bestehen große Unsicherheiten bezüglich der Ermüdungsvorhersagen (wie Rissbildung), die oft Faktoren von 10 entsprechen. Gefordert ist daher eine verbesserte Kenntnis der physikalischen Wirkungszusammenhänge des Materialversagens, um quasi-statische Belastbarkeit und Ermüdungsverhalten sicher vorhersagen zu können. Faserverbund- und Hybridmaterialien stellen eine besondere Herausforderung dar.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Das Materialverhalten von Rotorblättern, Betontürmen und deren Bauteilen soll besser erfasst werden. Es wird neue Messtechnik benötigt, um Materialeigenschaften und deren Ermüdungsverhalten unter Lasten zu erfassen. Des Weiteren muss die Funktionalität von Oberflächenbeschichtungen hinsichtlich ihres Einflusses auf das Langzeitverhalten, bzw. hinsichtlich eines Abschirmens von Umwelteigenschaften erforscht werden. Neue physikalisch basierte Modelle sind erforderlich. Auch muss die Abstimmung zwischen Modell und realem Verhalten verbessert werden, um damit verbesserte und zuverlässigere Ermüdungs- und Verformungsmodelle zu erhalten.

■ ERGEBNISSE

Es entstehen neue Modelle und neue Messmethoden, um Materialbelastbarkeit und -ermüdung zu bestimmen. Die Vorhersage limitierender Materialfaktoren wird verbessert, Lebenszeiten von Bauteilen, u. a. auch für Oberflächenbeschichtungen, verlängert.

■ ART DER FORSCHUNG

- Materialforschung: Ermüdung und Rissbildung, Oberflächenbeschichtungen
- Messtechniken zur Lebenszeitbestimmung und Monitoring (angewandte Forschung)
- Materialmodelle für effektiveren/kostengünstigeren Bau von Bauteilen

Dies sind alles grundlegende Themen mit mittel- bis langfristigen Perspektiven.

AG 3–3. Schall und Lärm

Die Schallemission geht über Luft, Boden und Wasser und umfasst einen großen spektralen Bereich, beginnend im Infraschall. Schall kann durch mechanische und aerodynamische Effekte oder durch Materialschwingungen entstehen. Aeroakustik als die aerodynamische Schallentstehung ist sehr komplex und daher nur ungenau vorhersagbar. Neben der physikalischen Schallausbreitung mit komplexen Randbedingungen (z. B. turbulente Strömungsschichten oder inhomogenes Gelände) ist das bessere Verständnis der Schallwahrnehmung (Psychoakustik) bei Mensch und Tier von ebenso großer Bedeutung.

■ MOTIVATION

Die soziale Akzeptanz von Windenergieanlagen ist durch die Schallausstrahlung dieser Anlagen mitbestimmt. Die Entstehung des Lärms wird langfristig ein herausforderndes Thema bleiben, auch wenn teilweise große und nicht veröffentlichte Kompetenz bei den Anlagenherstellern besteht. Es wäre wichtig, dass das akademische Umfeld mit diesen Entwicklungen Schritt hält und zusätzliche Beiträge liefert. Verbesserungen der technischen Richtlinien sind nötig.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Die Erforschung der Prinzipien der Schallentstehung, -ausbreitung und -wahrnehmung muss vorangetrieben werden, um diese besser vorhersagen und modellieren zu können. Hierbei sind typische windenergiespezifische Faktoren, meteorologische oder orographische, einzubeziehen. Wie lassen sich Infraschall und generell (im Windkanal schwer oder nicht messbare) niedere Frequenzen vorhersagen und quantifizieren, welche Bedeutung hat die Schallausbreitung im Boden oder

im Wasser? Für diese Forschung sind genaue Messverfahren und Methodenentwicklungen nötig, sowie die Bewertung der Auswirkung von Schall auf Mensch und Tier (Wann ist Schall nicht störend, wann störend und wann gesundheitsschädlich?).

■ ERGEBNISSE

Es entstehen verbesserte Berechnungsverfahren für Lärmemission, Schallausbreitung und Wahrnehmung von Windenergieanlagen, sowie Methoden zur Vermeidung von Lärm. Die verbesserten Modelle können zur Identifizierung von Betriebsbedingungen (z. B. atmosphärisch oder topographisch bedingt) genutzt werden, die besonders „riskant“ für Lärmbelästigung sind. Für Fragestellungen hinsichtlich konkreter Schallaspekte von Windenergieanlagen können Lösungen oft in Zeiträumen von bis zu fünf Jahren erarbeitet werden. Die Forschungsergebnisse werden in Modellen, Verfahren, Richtlinien (auch Standardisierung) umgesetzt.

■ ART DER FORSCHUNG

Prinzipien der Lärmstehung, der Ausbreitung und der Wahrnehmung sind eher Aspekte der Grundlagenforschung.

Lärmstehung, Ausbreitung und Wahrnehmung in typischen Situationen von Windenergieanlagen gehören zur angewandten Forschung.

Angewandte wie grundlegende Forschungsarbeiten benötigen sowohl experimentelle als auch numerisch/theoretische Bearbeitungen.

AG 3–4. Windfelder und Turbulenzen

Windenergieanlagen arbeiten fast ausschließlich unter turbulenten Windbedingungen und wandeln die Windverhältnisse innerhalb von Sekundenbruchteilen in Kräfte um. Die auf industriellen Standards basierenden Beschreibungen der Windverhältnisse sind in diesem Zeitbereich nicht vollständig und erfassen folglich viele Details der Windfelder nicht. Der zeitliche Bereich entspricht Größen von Windstrukturen im Bereich von einem Meter bis über hundert Meter.

■ MOTIVATION

Die ungenaue Charakterisierung der Ressource Wind hat Unsicherheiten in vielen Bereichen der Windenergieanwendungen zur Folge, die von der Leistungsabgabe

bis hin zu Materiallasten und Ausfällen führen. Eine Übertragung der standardisierten Windcharakterisierung auf neue Standorte, wie über Wäldern oder im komplexen Gelände, ist nicht problemlos möglich. Eine verbesserte Charakterisierung der turbulenten Windfelder...

- ...führt zur effizienteren und kostengünstigeren Auslegung von Windenergieanlagen,
- ...erlaubt Ermüdungslasten besser vorherzusagen und Wartungsarbeiten zu optimieren,
- ...kann zu erheblichen Leistungssteigerungen im Betrieb der Anlagen führen und damit signifikant die Energieerzeugungskosten senken.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Die Charakterisierung turbulenter Windfelder muss verbessert werden. Es ist herauszuarbeiten, welche Aspekte (räumliche/zeitliche Skalen, Kohärenz/Inkohärenz) der Windfelder wesentlichen Einfluss haben. So soll z. B. ein verbessertes Verständnis von Windböen, extremen Strömungsscherungen oder auch Freistrom vs. Bedingungen innerhalb eines Windparks erreicht werden. Aus den neuen Charakterisierungen, die nur im Zusammenspiel von Messdaten und numerisch erzeugten Daten erzielt werden können, sollen neuartige Windfeldmodelle abgeleitet werden. Diese kommen mit geringem numerischen Aufwand für die Entwicklung von Windenergieanlagen zum Einsatz und ermöglichen auch Langzeituntersuchungen – z. B. lassen sich Lastkollektive für mehrere Jahre Laufzeit bestimmen. Das turbulente Windfeld muss z. B. auch in topografisch und orografisch komplexem Gelände besser verstanden werden, um der verstärkten Nachfrage nach Windenergieerzeugung im Binnenland gerecht zu werden.

■ ERGEBNISSE

Es entstehen neue (experimentelle und numerische) Modelle, die die raumzeitlichen Strukturen der turbulenten Windfelder z. B. am Rand und innerhalb eines Windparks oder im komplexen Gelände besser wiedergeben. Mit diesen Modellen soll es ermöglicht werden, neuartige Langzeituntersuchungen von Lasten an Anlagen durchzuführen und Anlagenauslegungen zu optimieren. Der Zeithorizont für die Charakterisierung von Windfeldern für spezielle Situationen (wenn Daten vorliegen) beträgt ca. drei Jahre, neuartige Windfelder und allgemeine Übertragbarkeit sind längerfristige Themen.

■ ART DER FORSCHUNG

Die Charakterisierung der raumzeitlichen Turbulenzaspekte von Windfeldern und der Auswirkung auf Windenergieanlagen und deren Dynamik kann der Vorlauforschung (Grundlagenforschung bis angewandte Forschung) zugeordnet werden. Hierzu sind numerische Modellierungen und Messungen im Freifeld nötig. Das Thema Windfeldmodelle kann als angewandte Forschung aufgefasst werden, es wären zudem Demoprojekte für die Verwendung beim Anlagenentwurf angebracht.

AG 3–5. Rotoraerodynamik und -aeroelastik

Die Rotoraerodynamik ist das Herzstück der Windenergieumwandlungskette. Die Umwandlung der Windverhältnisse in lokale Kräfte am Rotorblatt ist eine Schlüsselstelle für die Effizienz einer Anlage.

■ MOTIVATION

Die Kraftentfaltung am Rotorblatt findet in Zeiten von hundert Millisekunden und schneller statt und ist oft von Nichtlinearitäten wie dem dynamic stall begleitet. Diese Kraftentfaltung zusammen mit den elastischen Wechselwirkungen der Rotorblätter sind eine wesentliche Grundlage für die Blattauslegung hinsichtlich der Geometrie und Bauart, bzw. der Materialwahl. Im Gegensatz zu vielen anderen aerodynamischen Bereichen (z. B. Luft- und Raumfahrt) ist die windenergiespezifische Aerodynamik von Rotorblättern durch stark turbulente Anströmbedingungen ausgezeichnet, was bisher kaum sauber erfasst werden kann. Die lokale Rotorblattaerodynamik, die sich aus den aerodynamischen Eigenschaften der Blätter ergibt, ist außerdem Ursache des aerodynamischen Schalls, welches heute die Hauptlärmquelle an Windenergieanlagen ist.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Die numerischen Methoden und Experimente zur Bestimmung der Rotoraerodynamik inklusive der Strömungs-Struktur-Kopplung müssen verbessert werden. Es werden raum-zeitlich hochauflösende Verfahren (Simulations- und Messmethoden) gebraucht, die insbesondere die turbulenten Anströmungen des Windes und die kleinskaligen Turbulenzen am Rotorblatt richtig erfassen. Die Aerodynamik am Rotorblatt (auch raue und dicke Profile oder Profile mit stumpfen Hinterkanten)

soll für Reynoldszahlen $>10^6$ räumlich (3D) und zeitlich aufgelöst verstanden werden, um etwa die Funktionsweisen von aerodynamischen Elementen wie Turbulatoren oder Smart-Blades-Konzepte zu verstehen. Neue numerische Methoden erlauben zudem automatisierte Optimierungsverfahren, welche der aerodynamischen Blattauslegung zu neuen Ansätzen verhelfen können.

■ ERGEBNISSE

Neue Generationen von numerischen und experimentellen Verfahren liefern ein räumlich und zeitlich hoch aufgelöstes Verständnis der Rotoraerodynamik und können z. B. mit automatisierten Optimierungen zu neuen Anlagenkonzepten beitragen. Eine erhöhte Modellierungsgenauigkeit erlaubt im Entwurf der Anlagen eine wesentlich bessere Detailschärfe zu erzielen, wobei der Zeithorizont eher langfristig, d. h. auf mehr als fünf Jahre angelegt ist. Aus bestehenden aufwendigen Verfahren Verbesserungen der herkömmlichen Modelle für Windenergieanwendungen (Industrie) abzuleiten, ist durch kurzfristige angewandte Forschungsprojekte erreichbar. Hierfür beträgt der Zeithorizont bis drei Jahre.

■ ART DER FORSCHUNG

Neue Generationen von numerischen und experimentellen Verfahren zur Rotoraerodynamik sind der Grundlagenforschung zuzuordnen. Methoden zur Entwicklung von neuen Industriestandards sind der angewandten Forschung bzw. Transferforschung zuzuordnen.



AG 4 AKZEPTANZ UND BEGLEITFORSCHUNG

Durch den zunehmenden Ausbau der Windenergie werden Fragen zur Akzeptanz und Wechselwirkung mit der Umwelt und Infrastruktur immer wichtiger. Aktuelle Debatten zu Abstandsregelungen oder Umweltverträglichkeit, aber auch zu der Systemdienlichkeit von Windenergie im Energiesystem beeinflussen den weiteren Ausbau erheblich und haben einen Fokus über die reine Windenergieanlage hinaus. Die in der AG Akzeptanz und Begleitforschung adressierten Themen konzentrieren sich daher auf vier Themenbereiche an inter- und transdisziplinären Schnittstellen.

Wechselwirkungen mit Ökosystem, Ökologie, Landschaft und Raumnutzung betreffen die Einbettung der Windenergieanlagen in den Raum. Dies betrifft ökologische, infrastrukturelle und raumplanerische Aspekte, gleichzeitig aber auch Partizipation und Planungsprozesse.

Emission, Transmission und Immission von Schall sind zentrale Themen für die Akzeptanz von Windenergie. Betrachtet werden dabei sowohl der Aufbau und Betrieb als auch der Schalltransport in Luft, Boden und Wasser.

Die projektbegleitende Kommunikation zur Akzeptanzsteigerung des Windenergieausbaus widmet sich vor allem transdisziplinären Ansätzen zur Öffentlichkeits- und Bürgerbeteiligung, um eine höhere Akzeptanz für den Ausbau der Windenergie zu erreichen.

Energiesystemintegration und Sektorenkopplung sind für einen zukünftigen Energiemarkt wichtige Säulen. Windenergie kann hierbei in systemdienlicher Weise zu Stabilität verschiedener Netze oder Speicher und Kostenreduktion der Erzeugung beitragen. Auch die Kopplung mit Kommunikations- und Informationstechnologie und die zunehmende Technologie- und Akteursvielfalt spielen dabei eine Rolle.

THEMEN | AG 4:

AG 4–1. Wechselwirkungen mit Ökosystem, Ökologie, Landschaft und Raumnutzung

AG 4–2. Emission, Transmission und Immission von Schall

AG 4–3. Projektbegleitende Kommunikation zur Akzeptanzsteigerung des Windenergieausbaus

AG 4–4. Energiesystemintegration, Netze und Sektorenkopplung

Mentorinnen AG Akzeptanz und Begleitforschung: Dr. Sarina Keller und Ines Heger

AG 4–1. Wechselwirkungen mit Ökosystem, Ökologie, Landschaft und Raumnutzung

Unter dieses Thema fallen Fragen der Flächennutzung und räumlichen Gestaltung von Windparks sowie qualitative und quantitative Einwirkungen auf und Wechselwirkungen mit Fauna, Flora und Klima.

■ MOTIVATION

Der verträgliche Ausbau der Windenergie mit ökologischen, infrastrukturellen sowie landschaftlichen bzw. raumplanerischen Kriterien wird in jedem Planungsverfahren abgeprüft. Häufiges Konfliktpotenzial ergibt sich mit Behörden, Naturschutzvereinigungen oder Bürgergruppen, die diese Aspekte beim Ausbau der Windenergie kritisch begleiten. Durch entsprechende Begleitforschung können neue Vorgehensweisen bei der Windparkplanung aufgezeigt und bestehende Kriterien aktualisiert werden.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Folgende Forschungsbereiche sind verstärkt zu betrachten:

Zunächst sind Fragen der Raumnutzung betreffend Impact, Integration und Wechselwirkungen bei der Flächennutzung und räumlichen Gestaltung von Windparks, insbesondere bei der Onshore-Windenergie, hervorzuheben. Außerdem muss die Interferenz bzw. Integration mit der bestehenden Infrastruktur untersucht werden. Dies bezieht sich u. a. auf Themen wie Wasserschutz (Installation und Betrieb) oder Flugsicherheit (Befeuerung, Radar, Interaktion mit Flugbehörden), aber insbesondere auch auf das Thema Landschaftsintegration. Insgesamt muss die Wechselwirkung verschiedener Effekte der Raumnutzung und des Ökosystems berücksichtigt und auch quantifiziert werden. Ziel sollten Windparks mit geringen Störwirkungen, d. h. minimalem Impact auf die Umwelt und Landschaft sowie hoher sozialer Akzeptanz sein.

Ein weiteres Forschungsfeld widmet sich qualitativen und quantitativen Einwirkungen und Wechselwirkungen von

Fauna, Flora und Klima sowohl im Onshore- als auch im Offshorebereich. Einerseits sind dabei Untersuchungen des Impacts von Windenergieanlagen auf Fauna, Flora und Klima sowie die Entwicklung von Messmethoden und Quantifizierungen notwendig. Andererseits sollen aber auch Konzepte, Verfahren, technische Lösungen und Minderungsmaßnahmen bei bekannten Effekten im Bereich Fauna, Flora und Klima betrachtet werden. Dies umfasst Systeme zur Reduktion von Störwirkungen auf die Umwelt, zur Reduktion von faunistischen Einwirkungen, aber auch Forschung zu (mikro-)klimatischen Effekten von Windparks und deren Beeinflussung. Bei der Betrachtung von Umweltauswirkungen müssen auch Verfahren zur Beurteilung von Umweltrisiken erfolgen.

Die Beteiligung von Stakeholdern, d. h. ein multi- und transdisziplinärer Ansatz zur Übertragung der ökologischen Begleitforschung in die Praxis, sollte (insbesondere bei angewandter Forschung und Pilotvorhaben) Teil der Forschungsförderung sein.

■ ERGEBNISSE

Das Ziel der Forschungsaktivitäten ist die Weiterentwicklung der für die Planungs- und Genehmigungspraxis geltenden Kriterien. Verschiedenste Akteure wie Projektierer, Betreiber, genehmigungsrechtliche Ämter und Behörden sollen hierbei eingebunden werden. Der Zeithorizont beträgt drei bis fünf Jahre.

■ ART DER FORSCHUNG

Vorlaufforschung (Grundlagenforschung), angewandte Forschung, Pilot- bzw. Demoprojekte, Beteiligung von Stakeholdern fördern.

AG 4–2. Emission, Transmission und Immission von Schall

Schall spielt für die soziale Akzeptanz von Windenergie eine sehr große Rolle. Daher ist Forschung zur Entstehung von Schall am Rotor oder durch die Errichtung von Windenergieanlagen, zur Ausbreitung von Schall sowie zur Wechselwirkung von Schall mit der Umgebung relevant.

■ MOTIVATION

Die mangelnde soziale Akzeptanz von Windenergieanlagen kann in den Umsetzungskosten von konkreten Windprojekten sichtbar werden und den Ausbau erheblich verzögern. Das Thema Schall bzw. Lärm hat dabei großen Einfluss. Dies betrifft insbesondere das Medium Luft, bezüglich ökologischer Akzeptanz aber auch Boden und Wasser.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Für das Thema Schallemission/-immission sind die Entstehung, die Ausbreitung, die Auswirkung und die Minderung relevant.

- Auswirkungen von Schall unter der Berücksichtigung von psychoakustischen Aspekten, ökologische und soziale Akzeptanz, Wahrnehmung von Schall sowie Einfluss auf Mensch und Tier
- Verbesserte aerodynamische, aeroelastische und aeroakustische numerische Modelle, Simulationen sowie experimentelle Untersuchungen zur Schallentstehung, Schall in der Bauphase, Modellvalidierung oder interdisziplinäre Ansätze unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen, z. B. zwischen Aerodynamik und Struktur bzw. Material
- Berechnung, Messung und Vorhersage von Schall über das ganze Spektrum, inklusive kumulativer Effekte
- Design von Rotoren und Smart Rotor
- Ausbreitungsmechanismen unter der Berücksichtigung von psychoakustischen Aspekten und in Abhängigkeit der Turbulenzforschung, strömungsdynamische Aspekte, Wechselwirkungen von aerodynamischen Kräften mit Oberflächen sowie Schallspektren und -pegel
- Innovative Technologien zur Schallreduktion sowie Maßnahmen für Aufbau, Betrieb und Rückbau der Anlagen, also Mitarbeit an Richtlinien bzw. Verein-fachung von Richtlinien unter Berücksichtigung multi- und transdisziplinärer Forschungsergebnisse

Bei Forschungsvorhaben sollten Schnittstellen bei entsprechenden Fragestellungen der physikalischen Faktoren berücksichtigt werden.

■ ERGEBNISSE

- Physikalische Grundlagen und Vorhersagemodelle für Entstehung, Ausbreitung und Wahrnehmung von Schall, erweiterte numerische Modelle, in einem Zeithorizont von drei bis sechs Jahren
- Bewertungsmöglichkeiten bezüglich Wahrnehmung/Minderung von Schall, in einem Zeithorizont von drei bis fünf Jahren
- Innovative Technologien zur Vermeidung von Lärm, in einem Zeithorizont von drei bis sieben Jahren

■ ART DER FORSCHUNG

Für die genannten Inhalte benötigt werden Vorlauf-forschung (Grundlagenforschung), angewandte For-schung, sowie Pilot- bzw. Demoprojekte unter Ein-bindung von verschiedensten Akteuren wie Projektierer, Betreiber, genehmigungsrechtliche Ämter und Behörden.

AG 4 – 3. Projektbegleitende Kommunikation zur Akzeptanzsteigerung des Windenergie-ausbaus

Sowohl informelle als auch formelle Vorgaben zur Öffentlichkeits- und Bürgerbeteiligung müssen weiter-entwickelt werden, um die Akzeptanz für die Umsetzung von Windenergieprojekten zu steigern.

■ MOTIVATION

Mangelnde soziale Akzeptanz der Windenergie vor Ort kann den Ausbaupfad der Energiewende erheblich verzögern und zu einem gewichtigen Kostenfaktor werden. Wer im Planungsprozess gut informiert wird und Gestaltungs- und Mitentscheidungsspielräume wahrnehmen kann, der kann auch Windenergieanlagen anders wahrnehmen.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Um den genannten Herausforderungen zu begegnen, sollen von interdisziplinären Forschungsteams aus Natur- und Ingenieurwissenschaft in Verbindung mit sozial- und geisteswissenschaftlicher Expertise folgende Themen gefördert werden:

- Weiterentwicklung von Partizipationskonzepten (Methoden, Visualisierung, Kommunikationsmanagement)

- Konzeptionierung und Etablierung von Beratungsstellen sowie Etablierung von zentralen Stellen zur Unterstützung von Behörden, die Öffentlichkeits- und Bürgerbeteiligung umsetzen wollen
- Entwicklung von Kommunikationsstrategien mit Projektierungsunternehmen und Betriebsführern, um Beteiligungsprozesse in Planungsvorhaben unter Einbeziehung relevanter Akteure zu verbessern
- Überprüfung der Wirkung politischer Instrumente und Integration von akzeptanzsteigernden Be-dingungen in politische Gesetzgebung und Markt-instrumentarien
- Erhebung und Bewertung von Immobilienwerten im Umfeld von Windenergieanlagen
- Wahrnehmungsevaluation von Maßnahmen zur besseren Gestaltung von Beteiligungsprozessen sowie Prüfung von Standards für die Planungspraxis
- Ökonomische und finanzwirtschaftliche Aspekte des Windenergieausbaus in Deutschland (Wertschöp-fungs- und Beschäftigungseffekte der Windenergie)
- Vermittlung der Erkenntnisse in die Planungspraxis und Öffentlichkeit

Als Maßstab für die Förderung und die Prioritätensetzung bei der Forschungsförderung sind zum einen methodolo-gische Innovationen und konzeptionelle Aspekte der Beteiligung zu nennen. Hierzu gehören multi- und transdisziplinäre Forschung sowie thematisch über-greifende und systemorientierte Forschungsansätze, also technische Fragestellungen in Verbindung mit Sozialwissenschaften bzw. sozialen/ökologischen/ökonomischen Ansätzen. Zum anderen gilt es, das angewandte Vorgehen zu berücksichtigen. Hierzu ge-hören sowohl die Kooperation mit Projektieren, Betriebs-führern und Betreibern, als auch die Einbindung von Bürgern, kommunalen Akteuren, Netzbetreibern, Energiegenossenschaften und transdisziplinäre Ansätze.

■ ERGEBNISSE

Das Ziel der Forschungsaktivitäten ist es, die infor-mellen und formellen Vorgaben zur Öffentlichkeits-beteiligung weiterzuentwickeln sowie die kommunalen Akteure und Beteiligten bei konkreten Windprojekten vor Ort zu stärken. Der Zeithorizont hierfür beträgt drei bis fünf Jahre.

■ ART DER FORSCHUNG

Angewandte Forschung unter Einbindung von Projek-tierungsunternehmen, Kommunen und Betriebsführern. Pilot- bzw. Demoprojekt zur Demonstration entwickelter Lösungen.

AG 4 – 4. Energiesystemintegration, Netze und Sektorenkopplung

Die systemdienliche und zugleich kostenreduzierende Integration von Windenergie in das Energiesystem ist eine der wichtigsten Aufgaben der Windenergieforschung.

■ MOTIVATION

Der Beitrag der Windenergie zum sicheren Betrieb von Netzen, die Vernetzung unterschiedlicher Er-zeugungsanlagen mit Speichern oder flexiblen Energie-verbrauchern sowie die Kopplung mit Kommunikations- und Informationstechnologie ist eine zentrale Herausfor-derung. Die zunehmende Technologie- und Akteurs-vielfalt stellt neue Anforderungen an Kooperations- und Vernetzungskonzepte.

■ FORSCHUNGSINHALTE

- Entwicklung von Konzepten, Rolle der Windenergie in der Systemintegration und digitalen Vernetzung, Windenergie im Strommarkt 2.0, Sektorenkopplung
- Kopplung mit Netzen, Speichern etc.
- Risikomanagement und Risikobewertung
- Wissenschaftliche Untersuchungen zur Übertrag-barkeit von Entwicklungen aus anderen Industrien und deren Auswirkungen auf die LCOE der Wind-industrie, Lernen von anderen Branchen, Austausch-plattformen

Um eine kürzere Time-to-Market für neue Produkte und eine größere Unabhängigkeit von limitierenden Randbe-dingungen zu erreichen, sollte die Forschung in Koopera-tion mit Betreibern und Planern notwendige Rahmenbe-dingungen prüfen können. Sinnvoll wäre unter anderem, Standorte zu prüfen oder aktiv an Netztests teilnehmen zu können und entsprechende Messungen durchzuführen.

■ ERGEBNISSE

Ein Ergebnis ist die Verbindung von Windenergieanlagen mit Speichern und Netzen zur Systemdienlichkeit. Ein weiteres Ergebnis besteht in der Flexibilisierung von Windenergieanlagen und Windparks im Energiesystem, sowie in der Digitalisierung. Schließlich wird die Sektorenkopplung von Windenergieanlagen, dem Energiesystem sowie dem Verkehrssektor angestrebt. Der Zeithorizont für alle genannten Punkte beträgt drei bis sieben Jahre.

■ ART DER FORSCHUNG

- Angewandte Forschung, Vorlaufforschung, Pilot- bzw. Demoprojekt
- Ausbau der europäischen Vernetzung bei Themen mit klarer europäischer Dimension
- Interdisziplinäre und systemorientierte Forschungsansätze (Technische Fragestellungen in Verbindung mit Sozialwissenschaften bzw. sozialen/ökologischen/ökonomischen Ansätzen oder auch Netztechnik, Wärme, Verkehr etc.)
- Einbindung verschiedenster Akteure (Stakeholder Engagement u. ä.), Kooperation mit Projektierern, Betriebsführern, Energieversorgern, Netzbetreibern und anderen relevanten Sektoren (Wärme, Mobilität u. a.)



FACHAUSSCHUSS OFFSHORE-WINDENERGIE

Nur sieben Jahre, nachdem mit alpha ventus der erste deutsche Windpark auf See die Stromproduktion aufgenommen hat, ist der Anteil der Offshore-Windenergie an der Stromerzeugung auf ein bemerkenswertes Niveau angestiegen. Im Jahr 2016 haben die Offshore-Windenergieanlagen in Deutschland ungefähr 13 Terawattstunden (2015: 8,3 Terawattstunden) und damit bereits ein Sechstel des gesamten Stroms aus Windenergie erzeugt.

Nach wie vor besteht jedoch ein hoher Bedarf an Forschung und Entwicklung, insbesondere mit Blick auf die weiter steigenden Leistungen der Windenergieanlagen und die immer größeren Komponenten. Als relevante Forschungsthemen sind daher sowohl Anlagenkomponenten als auch Installations- und Betriebslogistik hervorzuheben.

Auch das Thema Gründungen ist nach wie vor zentral. Abweichend von den Windparks in der Nord- und Ostsee mit ihren „bottom-fixed structures“, wo Monopiles und Jackets dominieren, entwickeln sich für die internationalen Märkte „floating structures“. Hier liegt viel Potenzial für alternative Lösungen.

In den anderen Arbeitsgruppen des Bereiches Windenergie im Forschungsnetzwerk Erneuerbare Energien werden zahlreiche Themen behandelt, welche auch von Bedeutung für die Offshore-Windenergie sind. Es existieren aber weitere Themen, welche sehr spezifisch für den Offshore-Bereich sind. Diese Themen werden im Fachausschuss Offshore behandelt.

THEMEN | FA 1

FA Offshore – 1. Netzanbindung und Logistik für Offshore-Windparks
FA Offshore – 2. Innovative Tragstrukturen und Gründungselemente

Mentoren FA Offshore: Dr. Dennis Kruse und Prof. Dr. Peter Schaumann

FA Offshore 1. Netzanbindung und Logistik für Offshore-Windparks

Es besteht Bedarf an innovativen Netzanbindungs- und Logistikkonzepten für Offshore-Windparks unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit der Anlagen, des Transports von Personal und Material, von Pooling-Konzepten sowie von Betriebs- und Wartungskonzepten.

■ MOTIVATION

Netzanbindung und Logistik für Offshore-Windparks stellen in vielerlei Hinsicht große Herausforderungen dar. Hohe Stromkapazitäten sind über eine große Distanz zu transportieren. Das Netzanbindungssystem für einen Offshore-Windpark enthält neben einer Umspannstation im Falle der Cluster-Anbindung mit HGÜ-Verbindungen auch noch große Konverterstationen. Die Installation und der Betrieb von Offshore-Windparks erfordern gegenüber anderen Technologien einen speziellen Ansatz für Logistik und Instandhaltung. Dies beginnt bei den Installationsverfahren und setzt sich im Bereich Betrieb und Wartung fort. Eine besonders hohe Priorität im Betrieb hat angesichts der Erreichbarkeit der Anlagen auf hoher See die Verfügbarkeit.

■ FORSCHUNGSINHALTE

- Entwicklung von Komponenten für kompaktere Bauweisen von Konverter-Stationen (z. B. gas-isolierten HGÜ-Schaltanlagen) sowie von Kabeln und Bauteilen für höhere Spannungsebenen (66-Kilovolt-Technik usw.)
- Anschlusskonzepte für Konverterstationen mit höheren Kapazitäten und möglichem Direktanschluss der Windenergieanlage an die Offshore-Konverterstation
- Integration der Logistik in die Produktions- und Distributionsprozesse

- Installationskonzepte für unterschiedliche Anlagen- und Tragstrukturtypen sowie für
- immer größerer Bauteile
- Rückbaukonzepte für Offshore-Windparks unter Berücksichtigung der Schnittstellen zu Demontage und Verwertung
- Logistikkonzepte für den Betrieb mit unterschiedlichen Ansätzen für Umspannplattformen
- Transportkonzepte für den laufenden Betrieb unter Berücksichtigung der Erreichbarkeit
- Sicherheitskonzepte (z. B. auch Zugangssysteme)
- Präventive Instandhaltung und Inspektion, Vereinheitlichung und Kompatibilität
- Digitalisierung bei Installation und Betrieb von Offshore-Windparks
- Lagerhaltung und Aufbewahrung
- Neuartige Konzepte der technischen Betriebsführung
- Konzeptentwicklung für marine Infrastruktur

■ ERGEBNISSE

Das Ziel der Forschungsaktivitäten ist die Entwicklung von neuartigen Netzanschlusskonzepten und -komponenten sowie die Entwicklung von effizienten und zuverlässigen Logistikkonzepten für wirtschaftliche Installation und Betrieb von Offshore-Windparks. Der Zeithorizont reicht bis 2025.

■ ART DER FORSCHUNG

- Grundlagenorientierte Entwicklung von Netzanschluss- und Logistikkonzepten

- Modellierung und Simulation von Netzanschlusskonzepten und innovativen Komponenten für Netzanschlussysteme
- Entwicklung von Komponenten für Netzanschlussysteme und von Hard- und Softwarelösungen für inner- und außerbetriebliche Logistik (angewandte Forschung)
- Produktentwicklung

FA Offshore 2. Innovative Tragstrukturen und Gründungselemente

Dieses Thema beinhaltet innovative Tragstrukturen und Gründungselemente für die Offshore-Windenergie (Offshore-Windenergieanlagen und -Plattformen) hinsichtlich eines ganzheitlichen Designs – innovative Produkte, Materialien, Nachweis- und Fertigungsverfahren.

■ MOTIVATION

Durch den Trend zu immer größeren Windenergieanlagen (10-Megawatt-Klasse), die an immer anspruchsvolleren Offshore-Standorten installiert werden, sind neue Tragwerks- und Herstellungskonzepte zu entwickeln. Die Auslegung der Tragstruktur beeinflusst die Lebensdauer und Wirtschaftlichkeit maßgeblich. Aggressive Umgebungsbedingungen, wie sie auf hoher See herrschen, führen zu schwer einzuschätzenden Einwirkungen und Degradationsprozessen über die Lebensdauer der Tragstrukturen. Diese Unsicherheiten führen zur Beaufschlagung erhöhter Teilsicherheitsbeiwerte in den Bemessungskonzepten. Lessons learnt aus den ersten zwei Jahrzehnten Offshore-Windenergie sind in innovative Methoden und Konzepte umzusetzen.

Computergestützte Simulationen und Modelle bilden mittlerweile einen wesentlichen Bestandteil des Designprozesses. Für diese gilt es möglichst realitätsnahe und allgemeingültige Berechnungsansätze zu entwickeln.

■ FORSCHUNGSINHALTE

- Optimierte Tragstrukturen bezüglich Lebensdauer, Tragverhalten, Herstellung und
- Rückbau

- Ermüdungsrelevante Tragkomponenten (z. B. Schrauben-, Schweiß-, Groutverbindungen)
- Neuentwicklung von Tragkonstruktionen für größere Turbinen und Wassertiefen (bottom-fixed, floating)
- Umwelteinwirkungen über die Lebensdauer (z. B. morphologische Prozesse, mariner Bewuchs, Korrosion)
- Degradationseffekte auf die Boden-Bauwerksinteraktion (Kolk, dynamische Wirkung)
- Integrierte Modellierung und Simulation (lokal und global bis hin zu Parks)
- Monitoringkonzepte (robuste, langlebige Sensorik, Sensorauswahl und Platzierung, Minimalsensorik)
- Instandhaltungsstrategien und Reparaturkonzepte

■ ERGEBNISSE

Ziele der Forschungsaktivitäten sind die Entwicklung von innovativen Designmethoden, die Entwicklung von realitätsnahen Simulationstechniken sowie die Entwicklung der sicheren Beschreibung von Degradationsphänomenen, Umwelteinflüssen und Bemessungsansätzen auch im Hinblick auf die relevanten Standards, mit einem Zeithorizont bis 2025.

■ ART DER FORSCHUNG

- Experimente (kleinskalig, großskalig, in-situ) für angewandte Erforschung und Validierung
- Grundlagenorientierte Entwicklung von numerischen Methoden, Materialmodellen und mathematisch-physikalischen Modellen
- Produktentwicklung (angewandte Forschung)



FACHAUSSCHUSS ONSHORE-WINDENERGIE

Windenergieanlagen an Land dominieren weiterhin den Ausbau der Windenergieerzeugung. In den vergangenen Jahren wurden primär windreiche und einfach zu erreichende Standorte für Windenergieanlagen ausgewählt – bevorzugt im norddeutschen Flachland. Die dort verfügbaren Flächen für weitere Installationen gehen jedoch irgendwann zur Neige. Erhebliches Potenzial für weitere Windparks existiert darüber hinaus in hügeligen und bewaldeten Gebieten, auch mit weniger starken, mittleren Windgeschwindigkeiten. Die jüngeren technischen Entwicklungen, wie etwa höhere Türme, versprechen auch an diesen Standorten einen ökonomischen Betrieb von Windenergieanlagen.

Der Fachausschuss Onshore bearbeitet unter anderem zwei Schwerpunktthemen, welche unabhängig von der jeweiligen Turbinentechnologie zur Planungssicherheit und zur Kostensenkung beitragen sollen. Dazu gehören die Bewertung von Standorten in bergig-komplexem Gelände sowie neue Logistikkonzepte für den Transport großer Anlagenkomponenten in solchen Gebieten.

Die Interaktion von Windströmung mit Topographie, Orographie und Vegetation in komplexem Gelände kann zu sehr inhomogenen Strömungsverhältnissen innerhalb eines Windparks führen. In erster Linie bedeutet das, dass das Windgeschwindigkeitsprofil über die Höhe innerhalb eines Gebietes sehr stark variieren kann. Zusätzlich kann die Interaktion mit dem Gelände und der Vegetation zu erhöhter Turbulenz führen. Dies führt zur Fragestellung, wie die Standorte einzelner Anlagen innerhalb eines Windparks in komplexem Gelände so bestimmt werden können, dass der Energieertrag des Windparks maximiert wird, ohne gleichzeitig die mechanischen Entwurfslasten der einzelnen Anlagen zu überschreiten.

Transport und Logistik stellen ebenfalls eine große Herausforderung dar, wenn Windenergieanlagen in bergig-komplexem Gelände und in bewaldeten Gebieten errichtet werden sollen. Deshalb müssen die Anlagenkomponenten möglichst transportfreundlich ausgelegt werden (gewichts- und volumenoptimiert, modular, etc.). Ebenso müssen neue Transportkonzepte

für große und schwere Komponenten entwickelt werden, da davon auszugehen ist, dass trotz aller Entwicklungsanstrengungen sowohl Gewicht als auch Volumen der Anlagenkomponenten weiter zunehmen werden.

THEMEN | FA 2

FA Onshore – 1. Micrositing – Komplexes Gelände

FA Onshore – 2. Onshore-Logistik

Mentoren FA Onshore: Rolf Bayerbach und Prof. Dr. Po Wen Cheng

FA Onshore 1. Micrositing – Komplexes Gelände

Hierunter fallen die Entwicklung von Messverfahren und -methoden, die Entwicklung von intelligenten Simulationsmodellen, die Modellvalidierung sowie die Entwicklung von Regelstrategien.

■ MOTIVATION

Der Zubau von Onshore-Windenergie bedeutet, dass mehr und mehr Windenergieanlagen in bergig-komplexem Gelände und in bewaldeten Gebieten installiert werden, weil die Standorte im flachen Gelände immer seltener werden. Die Interaktion von Windströmung mit Topographie, Orographie und Vegetation in komplexem Gelände kann zu sehr inhomogenen Strömungsverhältnissen innerhalb eines Windpark führen. In erster Linie bedeutet das, dass das Windgeschwindigkeitsprofil über die Höhe innerhalb eines Gebietes sehr stark variieren kann. Zusätzlich kann die Interaktion mit dem Gelände und der Vegetation zu erhöhter Turbulenz führen. Dies führt zur Fragestellung, wie die Standorte einzelner Anlagen innerhalb eines Windparks so bestimmt werden können, dass der Energieertrag des Windparks maximiert wird, ohne gleichzeitig die mechanischen Entwurfslasten der Anlagen zu überschreiten.

■ FORSCHUNGSINHALTE

- Entwicklung von Messmethodik für die Charakterisierung von Strömung in komplexem Gelände mit verschiedenen Messverfahren, unter anderen SODAR, Lidar, Radar, UAV etc.
- Entwicklung von räumlich und zeitlich aufgelösten Simulationsmodellen für Strömung in komplexem Gelände für Micrositing und für Lastensimulation
- Verifizierung und Aktualisierung der Annahmen in Micrositing und Lastensimulation, z. B. vertikales Windprofil, Turbulenzverteilung, atmosphärische Stabilitätsbedingungen, etc.
- Entwicklung von neuen Regelstrategien für Windenergieanlagen in komplexem Gelände, um den

Energieertrag durch die Nutzung von Lastenreserven zu erhöhen und/oder die mechanische Anlagenbelastung zu reduzieren

- Messung und Modellierung der Nachläufe von Windenergieanlagen, welche den Einfluss des Geländes mitberücksichtigen

■ ERGEBNISSE

- Standardisierte Methodik für verschiedene Messtechniken, um zuverlässige und vergleichbare Messergebnisse mit Mindest-Qualitätsanforderungen zu erzielen (Zeithorizont: drei Jahre)
- Anwendungsorientierte Windströmungsmodelle für komplexes Gelände für die Simulation von mechanischer Anlagenbelastung und Energieertragsberechnung (Zeithorizont: drei bis fünf Jahre)
- Verbesserte Schallausbreitungsmodelle in komplexem Gelände für Micrositing (Zeithorizont: drei bis fünf Jahre)
- Neue Anlagen-/Windpark-Regler für höheren Energieertrag (Zeithorizont: zwei bis sechs Jahre)
- Verbesserte Wake-Modelle für die Simulation und zur Reglerentwicklung, um die Planung von Windparks in komplexem Gelände zu optimieren (Zeithorizont: vier Jahre)

■ ART DER FORSCHUNG

Die Forschungsinhalte haben eine sehr starke Verbindung zur grundlagenorientierten AG Physikalische Faktoren und zur operativ orientierten AG Betrieb. Der Charakter der Forschung ist standortspezifisch orientiert mit Erkenntnisgewinnen, die in komplexen numerischen Modellen resultieren. Gleichzeitig wird angestrebt, numerische Ingenieurmodelle für die praktische Anwendung aus komplexen Modellen abzuleiten. Alle Forschungsinhalte sind darauf ausgerichtet, den Ausbau der Windenergie in komplexem Gelände voranzutreiben.

FA Onshore 2. Onshore-Logistik

Es werden sowohl Logistikkonzepte für größere Komponenten als auch Konzepte zur Komponentenmodularisierung sowie logistische Konzepte für Service-Strategien benötigt.

■ MOTIVATION

Der Transport und die Logistik in bergig-komplexem Gelände und in bewaldeten Gebieten stellen eine große Herausforderung dar. Zukünftig sind daher zwei Stoßrichtungen zu erforschen: Einerseits müssen Komponenten von Windenergieanlagen möglichst transportfreundlich ausgelegt werden (gewichts- und volumenoptimiert, modular, etc.). Andererseits müssen neue Transportkonzepte für große und schwere Anlagenkomponenten entwickelt werden, da davon auszugehen ist, dass trotz aller Entwicklungsanstrengungen Komponentengewicht und -volumen zunehmen werden. Das Thema Logistik ist sehr stark verzahnt mit den Themen Rotorblatt (teilbare, modulare Rotorblätter) sowie Turmkonzept und Material (Hybrid, Beton, Stahl) bis hin zu Fertigungsverfahren.

■ FORSCHUNGSINHALTE

- Entwicklung von neuen Logistikkonzepten für zunehmend schwerere und voluminösere Komponenten von Windenergieanlagen
- Entwicklung von transportfreundlichen Rotorblatt-, Gondel- und Turmkonzepten für bergig-komplexes bzw. bewaldetes Gelände (Teilbarkeit, Modularisierung)
- Entwicklung von neuen Installationsverfahren von Windenergieanlagen, z. B. ohne schwere Hebeeinrichtungen
- Untersuchung von mobilen Aufbau und Fertigungskonzepten vor Ort für die Großkomponenten der Windenergieanlagen
- Entwicklung von Wartungs- und Reparaturkonzepten, die den logistischen Aufwand minimieren (Kraneinsatz, in-situ Reparatur, Inventory Management etc.)
- Zugangssysteme in Regionen mit beschränkter Zugangsmöglichkeit im Winter

- Verknüpfung von Monitoring-Verfahren mit Bezug zur logistischen Planung

■ ERGEBNISSE

- Neue Installationskonzepte für große und voluminöse Anlagenkomponenten (Zeithorizont: sechs Jahre)
- Standardisierte Installationskonzepte für verschiedene Typen von Windenergieanlagen mit minimalem logistischen Aufwand (Zeithorizont: zwei bis drei Jahre)
- Neue Rotorblatt-, Gondel und Turmkonzepte, inklusive der notwendigen Verbindungsmechanismen für Onshore, insbesondere für bergiges Gelände (Zeithorizont: drei bis fünf Jahre)
- Neue Installationsverfahren ohne große Hebeeinrichtungen für große Onshore-Windenergieanlagen (Zeithorizont: drei bis fünf Jahre)
- Kostengünstige Fertigung und Montagekonzepte vor Ort (Zeithorizont: drei Jahre)
- In-situ-Wartung- und Reparaturkonzepte für Großkomponenten wie Rotorblatt, Lager, Generator etc. (Zeithorizont: drei Jahre)

■ ART DER FORSCHUNG

Die Forschungsinhalte in Onshore-Logistik sind sehr stark anwendungsorientiert. Die Forschung in diesem Thema wird überwiegend von der Industrie getrieben mit Unterstützung der wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen. Die Forschungsinhalte haben starken Bezug zur AG Anlagentechnik (insbesondere Rotorblatt) und zur AG Physikalische Faktoren (Materialforschung), sowie zur AG Betriebsführung (Wartungskonzepte)



Bildnachweis

Titelbild: Andreas Weber/iStock/thinkstock, AG 1: BMWi/Holger Vonderlind, AG 2: BMWi/Maria Parussel, AG 3: Universität Oldenburg/ForWind, AG 4: BMWi/Maria Parussel, FA Offshore: BMWi/Holger Vonderlind, FA Onshore: BMWi/Holger Vonderlind

