

Innovationspotenzial der Windenergie

1. Einleitung

Obwohl sich der Aufbau einer Windenergieanlage in den letzten drei Jahrzehnten nicht grundsätzlich geändert hat – drei Rotorblätter in Kombination mit einer horizontalen Achse auf einem Turm – so hat sich die verwendete Technik jedoch rasant weiterentwickelt und zu einer drastischen Senkung der Energieerzeugungskosten geführt.

Auch für die nächsten Jahre ist mit weiteren deutlichen technologischen Fortschritten zu rechnen. Einige wesentliche Innovationstrends werden hier vorgestellt.

2. Kostendegression in der Windenergie

Die Senkung der Stromgestehungskosten ist eines der wichtigsten Ziele der Windenergiebranche. Obwohl Windenergie in vielen Regionen der Welt seit jeher die günstigste Form der erneuerbaren Energien und inzwischen teilweise auch günstiger als jede Form fossiler Erzeugung ist, besteht weiterhin

ein enormer Kostendruck. Dieser ergibt sich aus der Notwendigkeit der Erschließung windschwächerer Regionen (z. B. in Süddeutschland) oder völlig neuer Potenziale Offshore, die zunächst durch die höhere Komplexität der Standorte die bisherigen Kostensenkungen teilweise zunichte machen.

Da schon durch die Arbeiten der letzten Jahre die meisten Potenziale aus Stückzahleffekten und einer globalen Lieferkette ausgeschöpft sind, rücken nun wieder zunehmend neue technologische Ansätze in den Vordergrund.

Sichtbar wird dies durch das deutliche Größenwachstum der Anlagen in den letzten Jahren, siehe *Abbildung 1*.

Obwohl die Gesetze der Physik ein Größenwachstum zunächst mit höherem spezifischem Gewicht „bestrafen“, hilft dieses Wachstum jedoch trotzdem bei der Zielerreichung der niedrigeren Stromgestehungskosten.

Onshore bewirkt eine lastoptimierte Verlängerung der Rotorblätter bei gleichzeitig wenig zunehmender Nennleistung eine erhebliche Vergrößerung der Erntefläche und somit auch der Ausnutzung der



Fraunhofer IWES
 Prof. Dr. Andreas Reuter
 andreas.reuter@iwes.fraunhofer.de
 Dr. Cornelia Stübiger
 stuebig@ial.uni-hannover.de

DLR
 Dr. Jan Tessmer
 jan.tessmer@dlr.de

Abbildung 1
Wachstum der Anlagengröße
 (Quelle: IWES/ForWind)

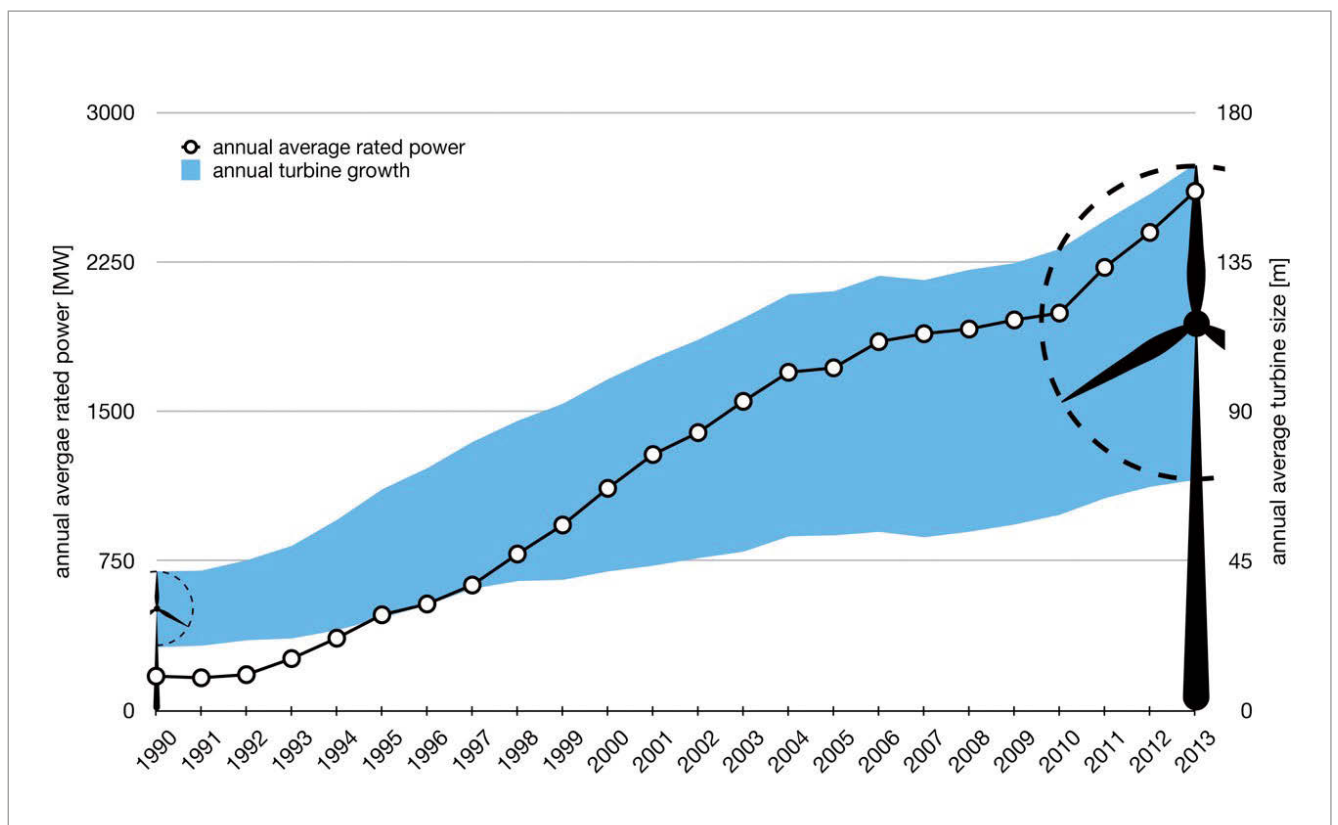
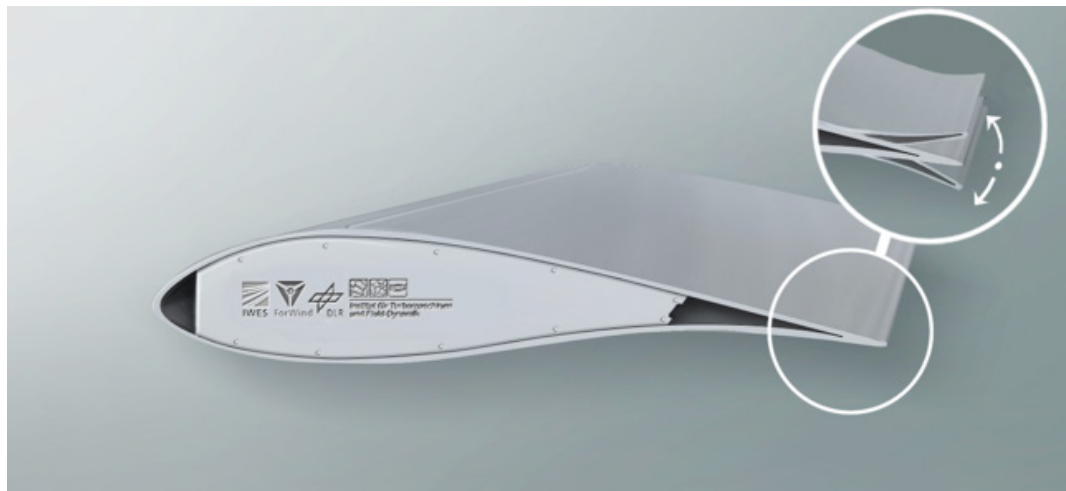


Abbildung 2

Prinzip Smart Blades mit beweglicher Hinterkante

(Quelle: DLR und TFD-Institut der Leibniz Universität Hannover)



Grundfläche eines Windparks. Im Ergebnis sinken so die Kosten pro erzeugter kWh.

Für die Nutzung Offshore wächst die Anlagenleistung ebenfalls stark in Kombination mit sehr großen Rotoren – hier kommt zusätzlich der Effekt massiver Einsparungen im Gründungsbereich zum Tragen.

Im Ergebnis müssen nun allerdings diese extrem großen Windenergieanlagen zuverlässig entwickelt und betrieben werden – immerhin die größten rotierenden Maschinen, die von Menschen je gebaut wurden.

3. Herausforderung Rotorblatt

Aktuell existierende Rotorblätter erreichen eine Länge von 88 m, auf dem Reißbrett sind sie bereits 100 m lang. Im Vergleich dazu ist ein Airbus A380 mit einer Spannweite von 80 m klein. Derart große Strukturen aus faserverstärktem Verbundmaterial erfordern völlig neue Ansätze in der Materialentwicklung, um die notwendige Lebensdauer von 20 Jahren auch unter extremsten Bedingungen zuverlässig zu erreichen. Forschung und Industrie arbeiten kontinuierlich an neuen Ansätzen, diese Ziele zu sehr niedrigen Kosten zu realisieren.

Eng verknüpft mit dem Thema Materialentwicklung ist die Frage der Herstellbarkeit dieser großen und komplexen Strukturen. Ein Schwerpunkt der Entwicklungsarbeiten ist hierbei die Industrialisierung der Fertigungsprozesse, d. h. die Ablösung manueller Manufakturtechniken durch reproduzierbare automatisierte oder zumindest teilautomatisierte Ansätze. Neben den Fragen der Materialwahl und der geeigneten Fertigungstechnologie stoßen sehr große Rotorblätter an die Grenzen der Regelbarkeit. Bisherige Rotorblätter werden um ihre Längsachse in

oder aus dem Wind gedreht und begrenzen so die Leistungsaufnahme und die Beanspruchung der Turbine. Bewegt sich nun ein Rotorblatt aber in einem Windfeld von der Fläche mehrerer Fußballfelder, so reicht die Geschwindigkeit und Genauigkeit nicht aus, um auf alle lokalen Böen – die auch nur Teile des Rotorblattes treffen – zu reagieren.

Deshalb wird an sogenannten „smart blades“ gearbeitet, Rotorblätter mit lastmindernden strukturellen Eigenschaften, oder mit Klappen und anderen Möglichkeiten zur Strömungsbeeinflussung, die sowohl schnell als auch lokal wirken und so das Lastniveau nachhaltig senken können. Hier wird insbesondere auch versucht, Technologien aus der Luftfahrt in den neuen Anwendungsbereich zu überführen (Abbildung 2).

Ein weiteres wichtiges Feld für technische Verbesserungen rund um den Rotor stellt die Frage der Lärmemissionen dar – schließlich wird hierdurch direkt die lokale Akzeptanz beeinflusst. Der abgestrahlte Schall einer Windenergieanlage ist proportional zur Rotorfläche, somit wird das Thema mit dem derzeitigen Wachstum akut. Diverse Ansätze von der genaueren Modellierung der schallverursachenden Wirbelablösungen bis hin zur aktiven oder passiven Beeinflussung der Strömung um das Profil oder die Blattspitze werden in der Forschung bearbeitet.

4. Innovative Triebstränge für hohe Leistungen

Mit Anlagenleistungen von inzwischen 8 MW und mehr erreichen auch die Bauteile des Triebstranges Größenordnungen und Gewichte, die mit bisherigen erprobten technischen Ansätzen nicht zu sinnvollen Kosten und mit ausreichender Zuverlässigkeit realisiert werden können (Abbildung 3).

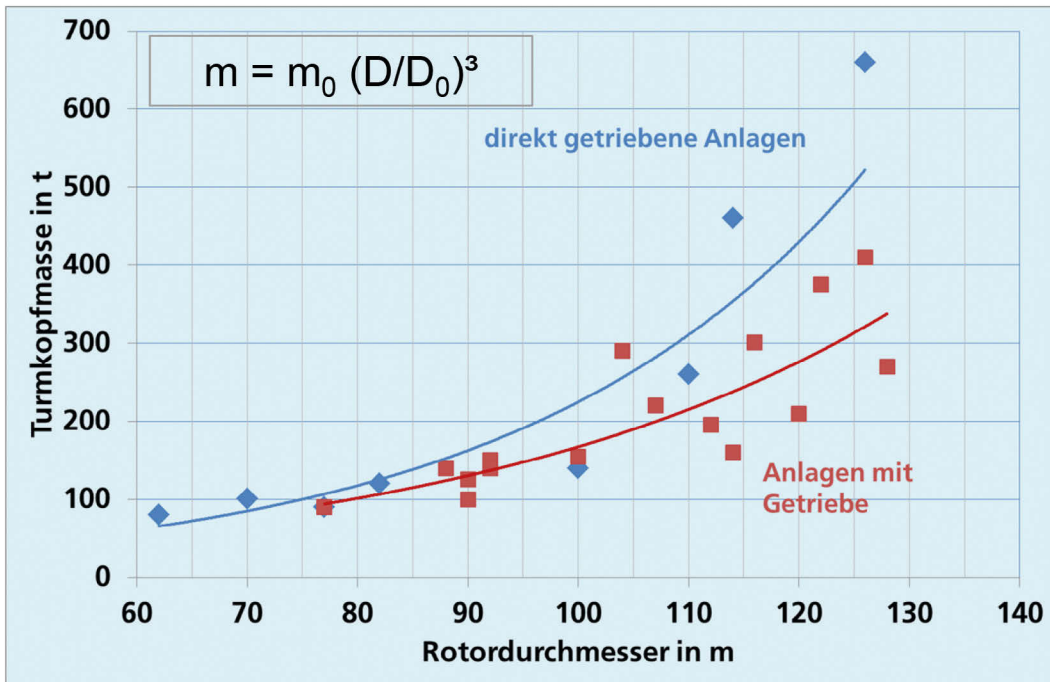


Abbildung 3

Zunahme der Turmkopfmasse für verschiedene Triebstränge als Funktion des Rotordurchmessers
(Quelle: IWES)

Verschiedenen Lösungen konkurrieren miteinander, tendenziell kann ein Trend zu weniger Getriebestufen bzw. zu direkt angetriebenen Generatoren festgestellt werden. Um aber die sehr hohen Drehmomente ohne eine überproportional hohe Zunahme der Gewichte zu verwirklichen, muss die Leistungsdichte des Triebstrangs erhöht werden. Innovative Generatorkonzepte bis hin zu supraleitenden Generatoren, die diese Anforderungen erfüllen, werden derzeit entwickelt.

Modularität ist ein weiterer deutlicher Trend bei neuen Triebsträngen, hierdurch soll die Wartungsfreundlichkeit verbessert und so letztendlich die durchaus relevanten Betriebskosten gesenkt werden.

5. Risikominimierung in der Entwicklung und Produktvalidierung

Wie bereits in den vorausgegangenen Abschnitten deutlich wurde, nimmt die Komplexität der in Windenergieanlagen verwendeten Technologie deutlich zu. Immer mehr wird auf speziell für diesen Anwendungsfall entwickelte Ansätze zurückgegriffen – von der Materialentwicklung über die einzelnen Bauteile bis hin zu völlig neuen Triebstrangkzepten. Diese Zunahme an Komplexität und Aufwand muss durch angemessene Validierungsansätze abgesichert werden, eine Nachbesserung an bereits ausgelieferten Anlagen und womöglich in einem Offshore-Windpark kann eine existenzbedrohende finanzielle Belastung für einen Turbinenhersteller bedeuten.

In der Praxis wird deshalb – neben der bereits seit Jahren etablierten Untersuchung von Prototypen – zunehmend auf Versuche an Prüfständen gesetzt. Stand der Technik sind Lebensdaueruntersuchungen an kompletten Rotorblättern, Triebstrangkomponenten und seit kurzem auch an vollständigen Triebsträngen bzw. Gondeln (Abbildung 4).

Der Aufwand ist erheblich, es müssen extrem hohe Lasten aufgebracht bzw. hohe Drehmomente zur Verfügung gestellt werden, um realitätsnah testen zu können.

Auch fehlen noch für viele Bauteile sinnvolle Methoden zur beschleunigten Lebensdaueruntersuchung, da die während eines 20-jährigen Betriebes auftretenden Schadensmechanismen komplex und sehr bauteilspezifisch sind. Deshalb wird in diesem Bereich sehr intensiv an der Entwicklung genauerer Schädigungsmodelle und deren Übertragung in Betriebsanweisungen für Prüfstände gearbeitet.



Abbildung 4

Gondelprüfstand des Fraunhofer IWES in Bremerhaven
(Quelle: IWES)

6. Transport- und Installationslogistik

Mit dem Wachstum der Anlagengrößen und den damit verbundenen großen Nabenhöhen im Binnenland sowie der Erschließung neuer Märkte Offshore nimmt die Bedeutung der Transport- und Logistikfragestellungen in der Kostenbilanz stetig zu.

Im komplexen Gelände des Binnenlandes stellen der Transport der sehr langen Blätter bis zum Standort und die flächenschonende Errichtung der Rotoren und Gondeln die größten Herausforderungen dar.

Im Offshore-Bereich sind noch deutlich innovativere Konzepte gefragt: derzeit werden erstmals riesige und hochspezialisierte Errichterschiffe eingesetzt, die sowohl die Bauteile für diverse Anlagen inklusive der riesigen Rotoren und die zugehörigen Kräne mit sich führen (*Abbildung 5*). Ziel ist die Errichtung einer maximalen Anzahl von Anlagen in den sehr knapp bemessenen Wetterfenstern, die solche komplexen Operationen auf See erlauben.

Auch in den nächsten Jahren besteht hier noch deutliches Potenzial für weitere Verbesserungen, nicht nur für den Aufbau der Anlagen, sondern auch für die Betriebsphase.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Technologien der Windenergiebranche sind inzwischen Vorreiter in vielen Bereichen, von der Materialentwicklung über fortschrittliche aerodynamische Lösungen bis hin zu komplexen Fertigungstechnologien für extrem große Bauteile.

Derzeit werden große Windparks bereits als hochentwickelte Kraftwerke betrieben, die in ihrem Zusammenspiel auch netzstabilisierende Eigenschaften haben – und das zu den niedrigsten Kosten im Bereich der erneuerbaren Energien und wettbewerbsfähig zu konventionellen Erzeugern.

Durch systematische Weiterentwicklung, insbesondere im Bereich der Rotoren und der Triebstränge, wird das weitere Potenzial der Kostensenkung für die nächsten Jahre auf 20–40 Prozent geschätzt.

Abbildung 5

Errichterschiff
mit diversen
Windenergieanlagen
als Zuladung

(Quelle: Fred. Olsen Windcarrier)

