

# DEWI Vorschläge für künftige F&E Schwerpunkte

## DEWI Recommendations for Future R&D Topics

Molly, Jens Peter

### Summary

*Several manufacturers are developing wind energy converters (WECs) of one megawatt size. Differing from the earlier megawatt developments, their lay-out is now based on the operational results of some hundred medium scale WECs. From the size based development trends (see article page 19) it can be seen which R&D-efforts are necessary to achieve the desired economical working large WEC of the near future. The tower-head-mass related torque (Nm/kg) of the WEC is the key figure that has to be improved. This means to concentrate the R&D-work on better knowledge of the material properties, load cases, increase of rotor tip speed without increase of the noise level or even development of advanced mechanical and control concepts, like gearless generators, load diminishing control systems, etc. to give some important research areas.*

Der "Ad-hoc Ausschuß Großwindanlagen" des Bundesministers für Forschung und Technologie (BMFT) kam in seinem Endbericht zu dem Ergebnis, Anlagen der Megawattklasse seien notwendig und zu Kosten herstellbar, die zu konkurrenzfähigen Stromerzeugungspreisen führen. Wird der nächste logische Größenschritt, die 1-MW Windkraftanlage (WKA) mit ihrem Rotordurchmesser von 50 m bis 60 m betrachtet, so könnte sie tatsächlich, dem statistischen Trend folgend (siehe Bericht "Statistik spezifischer WKA Entwurfs- und Kostengrößen" in diesem Heft, Seite 19), die Herstellkostenforderungen erfüllen. Heutige, gut ausgelegte Anlagen nutzen die technischen Möglichkeiten schon deutlich besser aus, als dies bei den Vorgängermodellen der Fall war. Aber die Entwicklung darf nicht stehen bleiben, soll bei Großanlagen endlich der Schritt zur Wirtschaftlichkeit gelingen. Das heißt, die Entwurfsingenieure müssen näher an die Materialbelastungsgrenzen heran, müssen das eingesetzte Material besser nutzen. Wie der Ad-hoc Ausschuß feststellte, ist dies jedoch ohne intensive Forschung zur Verbesserung des Wissensstandes nicht möglich. Wo aber müssen die Forschungsschwerpunkte liegen?

An Hand einiger weniger Parameter lassen sich Schwerpunkte ableiten. Wird der oben erwähnte Bericht (Seite 19) herangezogen, so läßt sich in Abb. 2 auf Seite 21 aus den statistischen Daten ein mit der Größe des Rotordurchmessers einhergehender, kontinuierlicher Anstieg des massenspezifischen Drehmoments während der letzten Jahre erkennen. Heutige Anlagen sind danach bei über 7,0 Nm/kg angelangt, Werte, die teilweise 40 % höher liegen, als vor vier Jahren. Interessant ist jedoch, daß sich die Steigung, mit der die Entwicklung fortschreitet, nicht zu ändern scheint. Unter sehr optimistischen Annahmen und ohne diese Tendenz auf ihre physikalisch/technische Machbarkeit zu überprüfen, könnte diese Entwicklung als Band, wie in Abb. 1 eingezeichnet, einfach bis zu größten Rotordurchmessern extrapoliert werden. Daß dies nicht ganz unrealistisch ist, belegt der Punkt bei 15 Nm/kg, der vom AEOLUS II aus der Anfangsphase des Entwurfs stammt und der genau in die extrapolierte Bandbreite hineinpaßt. Werden die anderen Auslegungsparameter der WKA bei der Vergrößerung, zu Vergleichszwecken konstant gehalten, so ergibt sich bei dieser Extrapolation das in Abb. 2 gezeigte untere Band, das bis zu größten Durchmessern konkurrenzfähige Stromerzeugungskosten erwarten läßt. Sind solche "grenzenlosen" Zunahmen des massenspezifischen Drehmoments technisch nicht machbar, sondern könnten nur die in Abb. 1 eingezeichneten Alternativen (Band bei 7,5 bzw. 11 Nm/kg) verwirklicht werden, ergeben sich die entsprechend markierten, ungünstigeren Kostentendenzen in Abb. 2. Wichtig sind die Tendenzen, die sich ergeben, nicht die absoluten DM/kWh-Beträge, die stark von der augenblicklichen Marktsituation geprägt sein und nach unten oder oben von dieser Darstellung abweichen können.

Ein niedrigeres massenspezifische Drehmoment kann durch bessere Ausnutzung des Materials und durch Absenken des Drehmoments bei steigender Leistung erreicht werden. Letzteres wird durch höhere Drehzahl des Rotors, also mit höherer Blattspitzengeschwindigkeit realisiert. Wie Abb. 3 auf Seite 22 aber zeigt, hat sich genau auf diesem Gebiet während der letzten Jahre gar nichts getan. Ganz im Gegenteil, wurden größere Rotordurchmesser zum Teil mit geringeren Blattspitzengeschwindigkeiten ausgelegt, als das noch vor einigen Jahren der Fall gewesen wäre. Hier machen sich ganz deutlich die Schwierigkeiten bemerkbar, lautere WKAs auf dem Markt unterzubringen. Der Hersteller scheut demnach den Wettbewerbsnachteil des höheren Geräuschs, selbst wenn sich unter dem Strich vielleicht ein wirtschaftliches Plus ergeben könnte.

*Abb. 1: Auf die WKA-Kopfmasse bezogenes Antriebsmoment; verschiedene künftige Entwicklungsszenarien*  
*Fig. 1: Tower-head-mass related WEC-torque and its three assumed future developments*

*Abb. 2: Künftige Energiekostenentwicklung unter Annahme der Szenarien aus Abb. 1*  
*Fig. 2: Future energy cost development based on the scenario given in Fig. 1*

Aus den erläuterten Zusammenhängen ergeben sich unter anderen folgende Forschungsschwerpunkte:

### **Aerodynamik**

Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zur **aerodynamischen Geräusentstehung und -vermeidung** sind in zweifacher Hinsicht besonders interessant. Zum einen lassen sich auf den letztlich nur in beschränktem Umfang zur Verfügung stehenden Aufstellflächen mehr Anlagen unterbringen, wenn sie leiser sind (das Geräusch steigt mit etwa der sechsten Potenz der Blattspitzengeschwindigkeit an). Zum anderen führt das erreichbare, niedrigere massenspezifische Drehmoment unmittelbar zu kostengünstigeren WKAs.

### **Materialkennwerte**

Bei gegebenem Drehmoment kann das massenspezifische Drehmoment dadurch reduziert werden, daß die eingesetzten Materialien in ihrer Tragfähigkeit ausgenutzt werden. Hierzu ist die Kenntnis der **Materialkennwerte** unabdingbar erforderlich. Gerade jedoch auf dem Gebiet der im Rotorblattbau verwendeten Compositematerialien sind nicht genügend Materialkenntnisse bei der erforderlichen hohen Zahl von über  $10^8$  Lastwechsel und unter verschiedenen klimatischen Bedingungen bekannt. Zwar gibt es, unterstützt durch die Joule-Programme der Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Aktivitäten auf diesem Gebiet, doch bedürfen diese dringend der Ergänzung durch nationale Programme, da der zur Verfügung stehende Mittelrahmen nur sehr beschränkte Aktivitäten zuläßt. Untersucht werden müssen Materialien, die heute und künftig eingesetzt werden, d.h. verschiedene Fasern (beispielsweise Glas, Kohle, etc.) und verschiedene Harze (beispielsweise Polyester, Epoxi, etc.).

Gerade das Verhalten von Fasermaterialien ist bei kleinen Versuchsproben und originalgroßen Bauteilen häufig sehr verschieden. Es sind daher auch **Bauweisenstudien** und realitätsnahe **Belastungsversuche an Originalbauteilen** zur Qualifizierung der zulässigen Materialkennwerte unbedingt erforderlich.

Der Faserwerkstoff wird, anders als das bei metallischen Werkstoffen der Fall ist, während der Fertigung des Bauteils hergestellt. In diesem Fall ist es von besonderer Wichtigkeit, eine ausreichende **Qualitätskontrolle** schon bei der Fertigung sicherzustellen. Da der Kostendruck eine WKA-Auslegung an den Grenzen des zulässigen mit sich bringt, müssen gesicherte **zerstörungsfreie Prüfmethode**n entwickelt werden, die es auch erlauben, die vorhandene Restfestigkeit des Bauteils und damit die noch mögliche verbleibende Einsatzdauer zu bestimmen.

### **Lastannahmen**

Soll das Material bis an seine Grenzen nutzbar sein, so sind möglichst genaue Kenntnisse über die auftretenden Betriebsbelastungen während der Lebensdauer der WKA und unter verschiedenen Einsatzbedingungen erforderlich. Dazu müssen WKAs - je größer sie sind, desto besser - **Belastungsmessungen** unterzogen und die Ergebnisse mit den gültigen Lastannahmen verglichen werden. Wertvolle Hinweise auf die Zulänglichkeit der Lastannahmen können auch systematische **Schadensanalysen** nach Unfällen geben, so wie es beispielsweise im Luftverkehr üblich ist. Auch **meteorologische Vorgänge** wie Häufigkeit und Form extremer Böenvorgänge, Blitzschlag, Vereisung etc. sind noch längst nicht alle in ihren Varianten und Auswirkungen bekannt, die für eine angemessenen Festigkeits- und Sicherheitsauslegung notwendig sind.

### **Konzeptentwicklung**

Natürlich können geringere massenspezifische Drehmomente auch durch andere als die heute üblichen **Konzepte** erreicht werden. Dies mag den ein oder anderen positiven Sprung in der in Abb. 2 gezeigten Entwicklungstendenz bewirken, die dann allerdings wieder innerhalb der Vergrößerung des Konzepts die schon gezeigte Entwicklungstendenz aufweisen dürfte. Solche Entwicklungslinien existieren, beispielsweise die variable Rotordrehzahl, der getriebelose Generatorantrieb, der Vertikalachsenrotor, etc.. Aber auch andere Konzepte sind denkbar wie lernfähige, **böenmindernde Regel- und Betriebsführungssysteme**, die noch nicht entwickelt und erprobt wurden. Mit ihnen ließe sich die Lebensdauer bei geringerem Materialaufwand steigern. Konzepte zur mechanisch/elektrischen Energiewandlung der WKA haben auf die Qualität des eingespeisten Stroms erhebliche Auswirkung. Da mit zunehmendem Anteil der Windenergie an der öffentlichen

Stromversorgung die **Probleme der Netzeinbindung** steigen werden, liegt es nahe, die F&E-Aktivitäten auf Konzepte zu konzentrieren, die möglichst geringe Einwirkungen auf die Stromqualität der Netze ausüben und die vorhandenen Anschlußkapazitäten möglichst optimal nutzen.

### **Anwendung**

Windenergienutzung wird um so wertvoller, je mehr die installierte Leistung der WKA auch einen Beitrag zur gesicherten Leistung des Gesamtenergieversorgungssystems darstellt. Heute wird kein Bonus für den vorhandenen Anteil gesicherter Leistung durch das abnehmende EVU bezahlt. Grund sei der nur marginale Anteil von 6 % der Nennleistung der WKAs. Unabhängig davon, ob der von den EVUs sehr pessimistisch berechnete Leistungsanteil nur diesen Betrag erreicht oder nicht, muß bei größerer Penetration der Windenergie im öffentlichen Netz auch an die Verbesserung des Leistungsanteils herangegangen werden. Hierzu sind Untersuchungen zu **meteorologischen Vorhersagemodellen** erforderlich, die im Stundenbereich zuverlässige Windvorhersagen erlauben. Damit könnte Windenergie auch leistungsmäßig in ein Stromversorgungssystem integriert werden.

Zum zuverlässigen Betrieb einer WKA gehört auch die Möglichkeit der **Schadensfrüherkennung**, damit rechtzeitig und zeitlich gezielt unter Vermeiden von Folgeschäden oder Produktionsausfällen Bauteile ausgetauscht werden können. Sehr umstritten sind heute die **Inspektionsmethoden**, die auf der Basis der heute in Betrieb befindlichen WKAs entwickelt und mit den Betroffenen abgestimmt werden müssen.

Dies ist eine Auswahl der wichtigsten F&E-Schwerpunkte, die es zu bearbeiten gilt, wenn die künftigen Großanlagen wirtschaftlich und damit erfolgreich werden sollen. Sie stellt selbstverständlich keinen Anspruch auf Vollständigkeit dar, ganz im Gegenteil ist hier versucht worden, übergreifende Schwerpunkte herauszuarbeiten. Viele der aufgeführten Punkte sind teure F&E-Vorhaben, die von einer Firma alleine nicht getragen werden können. Gerade auch deshalb nicht, weil die erfolgreichen WKA-Firmen aus dem mittelständischen Bereich kommen. Der öffentliche Geldgeber sollte deshalb über eine Förderung nachdenken und F&E-Vorhaben von übergreifendem Interesse auch mit bis zu 100 % unterstützen, damit die Forschung die entsprechenden Antworten geben kann, die von den Firmen benötigt werden. Die Höhe der Eigenbeteiligung taugt nicht besonders gut als Maß für die Notwendigkeit und Sinnfälligkeit eines F&E-Vorhabens, sondern ist eher ein Maß für die Mittel, die eine Firma aus ihren Umsätzen für die Forschung abgeben kann. Trotz des derzeitigen Booms in Deutschland von jährlich aufgestellten etwa 50 MW Leistung in Windenergieanlagen bleibt bei mehr als 20 Anbieterfirmen für jeden einzelnen Hersteller im Durchschnitt nicht allzuviel an einsetzbaren F&E-Mitteln übrig. Eine zielorientierte und in wichtigen Bereichen 100 % Förderung der Forschung ist deshalb für eine erfolgreiche und zügige Weiterentwicklung hin zu großen Windenergieanlagen unbedingt erforderlich.

---