

Windenergie-Forschung, ein Auslaufmodell?

Wind Energy Research, a Run-Out Model?

J. P. Molly, DEWI

Zusammenfassung

Fünfzehn Jahre kommerzielle Anwendung der Windenergie in Deutschland und der Welt legen nahe, einen kritischen Rück- und Ausblick vorzunehmen, vor allem was technische und damit zusammenhängend, die wirtschaftliche Entwicklung angeht. In dieser Zeit fand eine vom Markt getragene Größenentwicklung der Windturbinen von etwa 50 kW auf heute 2,5 MW statt, wobei die größten Schritte in den vergangenen zehn Jahren erfolgten. Diese Entwicklung, meint man, könne nur mit einer umfassenden Forschung zur Lösung der Probleme verbunden gewesen sein. Leider war dies entgegen den Erwartungen allerhöchstens in Teilbereichen der Fall. Einerseits gelang es der Windenergie, sich als Energieträger in der Stromerzeugung zu etablieren, andererseits sind technik- und anwendungsorientierte Probleme weitgehend im Verborgenen geblieben, überdeckt vom vordergründigen Erfolg der Windenergie. Sie werden deshalb von der für die Forschungsmittel zuständigen öffentlichen Hand nicht im notwendigen Umfang wahrgenommen. Zwei Forschungsschwerpunkte sind festzuhalten. Forschung zur Verbesserung der Windturbine und deren technischen Eigenschaften und Forschung zur Klärung von Problemen, die aus der Anwendung resultieren. Beispiele hierfür sind die dringend notwendige Verbesserung der Kenntnis über die Betriebsbeanspruchungen und die Wirkungen des komplexen Geländes auf die Prognose des Energieertrags. An Windenergieanlagen müssen nicht nach zehn Jahren wesentliche Komponenten ausgetauscht werden. Wenn dies trotzdem heute angenommen wird, so mag das zur Zeit der Realität entsprechen, muss aber nicht so sein und ist schon gar kein grundsätzliches Kriterium zur Bewertung der Windenergie, sondern eher eine Folge ungenügender Auslegung infolge mangelnder Kenntnis.

Summary

After fifteen years of commercial application of wind energy in Germany and world-wide it seems reasonable to take a critical look back and also look forward, especially with regard to the technical and, related to it, the economic development. During this time, a considerable upscaling of wind turbines has taken place, which was supported by the market. Wind turbine size increased from 50 kW to 2.5 MW today, the biggest steps having been taken in the past ten years. One should think that this development had to be accompanied by extensive research activities to solve the technical problems. Against all expectations, however, this has only been the case in certain areas. On the one hand, wind energy managed to establish itself as a source of energy in electricity generation, on the other hand technical and application-related problems largely remained in obscurity, masked by the obvious success of wind energy. They are therefore not properly noticed by the authorities responsible for distributing research funds. Two main areas of research should be emphasized here: Research into the improvement of the wind turbine and its technical characteristics and research in order to solve problems resulting from the application of wind energy. For example, it is urgently required to improve the knowledge on operating loads and the effects of complex terrain on the energy output prognosis. In wind turbines, it is not necessary to replace major components after ten years. If this is generally assumed today, it may correspond to reality today, but it doesn't have to be so inevitably. In particular it is not a general criterion for assessing wind energy, but rather the consequence of inadequate design due to insufficient knowledge.

1. Vorbemerkung

Mit heute installierten rund 6100 MW und 9400 Windenergieanlagen erlebte die Nutzung der Windenergie in Deutschland einen unerwarteten Aufschwung. Möglich wurde dies durch positive politische Vorgaben, wie das in seiner Wirkung sehr erfolgreiche Stromeinspeisungsgesetz aus dem Jahr 1991, das nach langen und zähen Verhandlungen mit dem Erneuerbaren Energien Ge-

1. Preliminary remarks

With the 6100 MW capacity and 9400 wind turbines installed today, wind energy use in Germany again experienced an unexpected upswing. This was made possible by favourable political framework conditions, such as the very effective electricity feed-in law from the year 1991, which after long and tedious negotiations was followed by the equally attrac-

tive Renewable Energies Law in the spring of 2000. The lasting success of wind energy in Germany is largely due to the various subsidy programmes of the Federal Government and the States and to a change in the building laws in favour of wind energy.

So everything should be fine. Sales figures rising every year, more and more countries copying the German model and so contributing to the uninterrupted impressive progress of wind energy. An industry with a turnover of 6 billion Euro world-wide that accounts for a respectable portion of the power engine market and has created about 200,000 jobs directly and indirectly. This result came as a surprise even to politicians, because it doesn't happen very often that subsidy measures are such a sweeping success.

It obviously has induced some decision makers responsible for the distribution of research funds to believe that wind energy is already fully developed and research no longer necessary. The best example, according to this view, are the prototypes developed in the past, heavily subsidised, which hardly lived through the duration of the research project, whereas today the industry is capable of putting large-scale wind turbines of the megawatt class on the market largely by their own efforts. So why put public money into it? The market is booming, companies' sales figures reach record highs, large companies join the business, and more and more investors invest their money in wind farms because even banks have discovered the wind as an investment object.

DEWI now exists for more than ten years. In the beginning we mainly did research, mostly in cooperation with other European research institutions. But an institute that has to earn money cannot exist on research alone. However, the change of DEWI from a research institute to a services company, didn't make life less exciting, quite on the contrary. If you take your job seriously, you cannot fail to notice that things are not running so smoothly as many seem to think. This already became obvious during the dispute over the amount of the feed-in tariff for the Renewable Energies Law. It was not easy to convince people that the premium feed-in tariff, which many regarded as too high, is necessary because technical problems do exist which in the end have a serious effect on the economic efficiency of wind energy. As a measuring institute we have a much more direct insight into reality, i.e. problems occurring are discovered at an early stage, and quite a few issues present themselves demanding for research. But how can research be

setz im Frühjahr einen nicht minder attraktiven Nachfolger erhielt. Mit der Änderung des Baugesetzbuches zu Gunsten der Windenergie und den vielfältigen Fördermaßnahmen der Länder und des Bundes wurde der Erfolg der Windenergie erst möglich und anhaltend.

Eigentlich wäre doch damit alles in bester Ordnung. Jährlich wachsende Absatzzahlen, mehr und mehr Länder, die das deutsche Modell kopieren und damit zum ungebrochenen weiteren "Siegeszug" der Windenergie beitragen. Eine Branche, die mit einem Umsatz von weltweit über 6 Milliarden Euro einen respektablen Anteil am Kraftmaschinenbau verbucht und ca. 200.000 direkte und indirekte Arbeitsplätze geschaffen hat. Dieses auch für die Politik überraschende Ergebnis, selten hatten Fördermaßnahmen einen so durchschlagenden Erfolg vorzuweisen, scheint bei einigen für die Forschungsmittel verantwortlichen die Meinung geprägt zu haben, Windenergie sei ausgereift und benötige keine Forschung mehr. Bestes Beispiel seien doch die früher mit vielen Forschungsmillionen entwickelten Prototypen, die meist kaum die Dauer des Forschungsvorhabens überlebten, während doch heute die Industrie aus vorwiegend eigenen Mitteln in der Lage sei, Großanlagen der Megawattklasse erfolgreich in den Markt zu bringen. Also, weshalb sollte hier staatliches Geld hineingesteckt werden? Der Markt boomt, die Firmen erzielen ein Rekordumsatz nach dem anderen, Großkonzerne steigen in das Geschäft ein und mehr und mehr Anleger investieren ihr Geld in Windparks, weil auch die Banken den Wind als Anlageobjekt entdeckt haben.

Seit mehr als zehn Jahren gibt es das DEWI. Anfangs machten wir hauptsächlich Forschung, vorwiegend in europäischer Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen. Doch wer Geld verdienen muss, kann von der Forschung alleine nicht leben. Mit dem Wandel des DEWI zum Dienstleistungsunternehmen wurde das Leben aber nicht weniger spannend, ganz im Gegenteil. Nimmt man seine Berufung ernst, erkennt man sehr schnell, dass nicht alles so glatt läuft, wie viele denken. Deutlich wurde dies schon beim Gerangel um die Festlegung der Einspeisevergütung für das EEG. Es war nicht einfach zu vermitteln, dass die von vielen als zu hoch betrachtete Vergütung notwendig ist, da eben doch technische Probleme vorhanden sind, die sich letztlich gravierend auf die Wirtschaftlichkeit auswirken. Aber als Messinstitut besitzt man einen anderen Einblick in die Realität, d.h., auftretenden Probleme können frühzeitig erkannt werden, woraus sich so manche Forschungsaufgabe ergibt, die einer Lösung bedarf. Doch woher die Finanzierung nehmen, wenn die Geldgeber überzeugt sind, dass es beim Wind nichts mehr zu forschen gibt?

financed if authorities are convinced that wind energy does no longer need research? The solution of a problem may not always be what a manufacturer or project developer wants, therefore it does not make sense to demand that they should pay for research themselves. By arguing in this way people ignore the fact that in the industry short-term economic interests are often given priority over research, especially today where only "shareholder value" seems to be important. But who is protecting the wind energy investor against unsolved problems? He normally is not backed by an organisation allowing him to undertake his own research.

What if investors withdraw from wind energy because breakdowns and accidents let it appear too risky? It does not matter so much if some manufacturers have less problems than the others; the question is whether it is possible to maintain the overall positive image despite of breakdowns and accidents, and this surely is a matter of the quantity of negative examples.

Therefore, if we don't manage to solve certain problems of wind energy in such a way that all parties concerned benefit from the solutions, some areas of wind energy use may suffer severe setbacks. This cannot be in the interest of politics which has introduced a number of subsidy programmes and so helped the wind energy reach its current position. By employing only a fraction of the millions spent so far, achievements could be assured by specific research, and wind energy could establish itself as a safe and lasting option within the energy supply of mankind, rather than disappear again like a flash in the pan. The wind energy is a very young industry which does not have the experience and especially not the financial means to stand its ground completely on its own. The purpose of research is not only to find innovative ways, but also to secure what has already been achieved in order not to jeopardize the whole. I therefore appeal to those responsible to rethink their position and allow research to be carried out in the extent necessary.

2. General Situation

The average turbine size increased from 50 kW to over 1500 kW today, and the first 2.5 MW prototypes have already been built. Both types of power control, pitch and stall, are used even in the largest wind turbines, although pitch seems to prevail in the megawatt class. Direct grid coupling of the generator (constant rotor speed) and indirect grid coupling (variable

Nicht immer ist die Lösung des Problems im Sinne des Herstellers oder Projektentwicklers, so dass man sagen könnte, diese sollten es doch gefälligst selbst bezahlen. Hier verkennt der Geldgeber, dass in Firmen häufig ein eher den kurzfristigen wirtschaftlichen Interessen untergeordnetes Denken herrscht, ganz besonders heute, wo nur noch der "shareholder value" wichtig zu sein scheint. Aber wer schützt den Windenergie-Investor vor den nicht gelösten Problemen? Er besitzt in der Regel keine Organisationsform, die es ihm erlaubt, eigene Forschung zu betreiben. Nur, was ist, wenn er sich zurückzieht, weil ihm die Windenergie durch Pannen zu risikoreich wird? Dabei spielt es nicht so sehr eine Rolle, ob einige Hersteller weniger Probleme als die anderen haben, sondern mehr, ob trotz Pannen das positive Image gehalten werden kann und das ist sicher eine Frage des Umfangs an Negativbeispielen.

Wenn es also nicht gelingt, bestimmte Probleme der Windenergie übergeordnet zu lösen, damit alle Betroffenen davon profitieren, könnte es in manchen Anwendungsbereichen zu einem herben Rückschlag kommen. Dies kann eigentlich nicht im Sinne der Politik sein, die mit vielen Wirtschaftsfördermaßnahmen dafür sorgte, dass die Windenergie den heutigen Stand erreichte. Mit einem Bruchteil der bisher eingesetzten Millionenbeträge könnte das Erreichte durch eine zielgerichtete Forschung abgesichert werden, damit die Windenergie wirklich nachhaltig in die Energieversorgung der Menschheit eingebaut werden kann und nicht wie ein Strohfeuer verbrennt. Die Windenergie ist eine sehr junge Branche, die noch nicht die Erfahrungen und schon gar nicht die finanziellen Mittel hat, sich völlig alleine zu behaupten. Forschung dient nicht nur dazu innovative Wege zu finden, sondern auch bereits beschrittene abzusichern, um so das Gesamte nicht zu gefährden. Ich appelliere daher an die Verantwortlichen, umzudenken und eine Forschung im notwendigen Umfang zu ermöglichen.

2. Allgemeine Situation

Die durchschnittliche Anlagengröße stieg von 50 kW auf heute über 1500 kW mit ersten Prototypen von 2,5 MW. Beide Leistungsregelungsprinzipien, Blattverstellung (Pitch) und Strömungsabriss (Stall) werden bis in die größten Windturbinen hinein eingesetzt, auch wenn sich Pitch offensichtlich gerade bei den Megawattanlagen stärker durchsetzt. Auch die direkte (konstante Rotordrehzahl) und indirekte Kopplung (variable Rotordrehzahl) des Generators ans Netz findet sich bis in den Megawattbereich als grundsätzliches Prinzip wieder. 15 Jahre kommerzielle Anwendung und die Erfahrung aus weltweit betriebenen 18 000 MW haben einen Fundus an Wissen erbracht, dessen deutlichstes Zeichen die Entwicklung von Mega-

speed) are maintained as a general principle in the whole range of wind turbines up to the megawatt class. 15 years of commercial application and the experience from 18,000 MW installed world-wide have produced a store of knowledge, the most obvious sign of which is the development of megawatt turbines which only 10 years ago when the prototypes of the second or even third generation were developed, did not meet the expectations placed in them.

Up to now, wind energy has mainly been employed in flat areas, where the low turbulence of the air flow only slightly affects the loads acting on a wind turbine. In areas without such a low turbulence, the lifetime of the wind turbines is considerably reduced. This could be seen already during the eighties in California. A similar negative influence of the complex terrain can be observed in energy output prognoses. In flat areas the wind resources can normally be established by way of calculation with sufficient exactness. This is not the case in complex terrain, which is found in most countries with good wind resources. In complex terrain, wind prognoses can easily include an error rate of 10-50%.

How close may wind turbines be installed one behind the other without risking an adverse effect on the lifetime of the leeward turbine? This is another question repeatedly posed to DEWI by law courts, to which a well-founded answer backed up by research cannot yet be given. And what is the matter with anemometers? Why do they all behave in the same way when tested in the wind tunnel laboratory, but show large deviations when mounted outdoors? (see also on page 17 pp.)

These are only a few of the questions urgently requiring an answer. They show quite clearly that wind energy is still far from being in safe waters. Under this aspect, adequate subsidy measures for the operation of wind turbines, as provided by the Renewable Energies Law, but also for research programmes, are more than justified and necessary, if wind energy is to become a reliable addition to our electricity supply.

wattanlagen darstellt, die immerhin noch vor 10 Jahren in den damals entwickelten Prototypen der bereits zweiten oder gar dritten Generation nicht die in sie gesetzten Erwartungen erfüllten konnten.

Die Windenergie wurde bisher hauptsächlich im flachen Land genutzt, wo eine geringe Turbulenz der Luftströmung einen ebenfalls geringen Einfluss auf die Belastungen der Windenergieanlage zur Folge hat. Wenn diese geringe Turbulenz nicht vorlag, wie schon in den achtziger Jahren am Beispiel Kaliforniens ersichtlich, dann gab es erhebliche Probleme mit der Lebensdauer der Anlagen. Ähnlich negative Einwirkungen eines komplexen Geländes gibt es bei der Prognose der Energieerträge. Im flachen Land kann mit rechnerischen Mitteln das Windpotential meist mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden. Anders dagegen im komplexen Gelände, wie man es in den meisten Ländern mit gutem Windpotenzial antrifft, wo leicht Fehler in der Prognose von 10-50% auftreten können.

Wie nah dürfen Windenergieanlagen hintereinander stehen, ohne das ein wesentlicher Einfluss auf die Lebensdauer der im Windschatten stehenden Anlage auftritt? Ein andere, mehrfach von Gerichten an das DEWI gestellte Frage, auf die man heute eine fundierte Antwort schuldig bleiben muss. Und was ist mit den Anemometern los? Warum sind sie im Windkanal alle gleich im Verhalten, aber in Freien gibt es abweichende Messergebnisse? (siehe auch Seite 17 ff.)

3. Mistakes made in the past

Not everything that did not go well in the past is due to a lack of research. A few points should be mentioned here which are at least partly responsible for the cause of the technical problems noted. These are, referring to the Wind Turbine

- *insufficient continuity of knowledge in the industry,*
- *a rather aimless up-scaling of large wind turbines,*
- *uncontrolled slimming down for economic reasons resulting in a diminution of lifetime*
- *and insufficient knowledge of loads because costly load measurements are avoided.*

Many of the mistakes observed today could already be noticed during the eighties in Californian wind farms situated in complex terrain. Similarly, during the development and operation of DFVLR's DEBRA-25 wind turbine with a capacity of 100 kW, to which the author made a major contribution, deficiencies and failures could be observed which are documented and can be looked up, but nevertheless still occur today. These mistakes cannot come as a surprise or as something new.

In application, too, a lot of things could be improved. The following deficiencies can be observed in Application:

- *There is insufficient awareness of problems in the evaluation of energy resources,*
- *there are no quality standards for expert reports,*
- *the environmental influences on wind turbines are underestimated,*
- *there is no follow-up verification of the power output of wind farms.*

There are several reasons why these problems are not dealt with adequately. Pressure arising from tight time schedules and rising costs may be one reason, but also naivety or the desire to

Dies sind nur einige der auf den Nägeln brennenden Fragen. Sie machen deutlich, dass die Windenergie noch ein gutes Stück davon entfernt ist, sich in sicheren Gewässern zu bewegen. Unter diesem Aspekt sind ausreichende Fördermaßnahmen für den Betrieb der Anlagen, wie sie das Erneuerbare Energien Gesetz bietet, aber auch für die Forschung mehr als berechtigt und notwendig, wenn die Windenergie nachhaltig unsere Energieversorgung ergänzen soll.

3. Fehler der Vergangenheit

Nicht alles was in der Vergangenheit nicht klapperte, ist auf Mangel an Forschung zurückzuführen. So gibt es einige Punkte zu nennen, die zumindest teilweise zu den Ursachen der zu konstatierenden technischen Probleme führen. Dies sind bezogen auf die Windenergieanlage

- mangelnde Wissenskontinuität in den Firmen,
- nicht zielgerichtetes Up-scaling für Großanlagen,
- durch Kostendruck ausgelöstes unkontrolliertes Abspecken mit dem damit verbundenen Lebensdauerverlust
- und ungenügende Kenntnis der Belastungen durch Vermeiden der kostenintensiven Beanspruchungsmessungen

Viele der heute zu beobachtenden Fehler konnten schon in den achtziger Jahren an den Anlagen in Kalifornien im komplexen Gelände beobachtet werden. Auch die Entwicklung und der Betrieb der 100 kW leistenden DEBRA-25 der DFVLR zu Beginn der achtziger Jahre, an der der Autor maßgeblich beteiligt war, zeigte Unzulänglichkeiten und Vorgänge auf, die nachgelesen werden können und heute dennoch immer noch auftreten, also in diesem Sinne keine Überraschungen und Neuigkeiten sind. Auch in der Anwendung gibt es Verbesserungsmöglichkeiten im Verhalten der Beteiligten. So muss festgestellt werden, dass in der Anwendung

- bei der Ermittlung des Energiepotentials ein unzureichendes Problembewußtsein existiert,
- Qualitätsvorschriften bei Gutachten fehlen,
- die Umgebungseinflüsse auf Windenergieanlagen unterschätzt werden
- und keine nachträgliche Leistungsverifizierung der Windparks stattfindet.

Beim einen oder anderen ist es der Kosten- und Termindruck, der eine ausreichende Klärung der Probleme behindert, beim anderen die Blauäugigkeit und vielleicht auch das schnelle Geld. Es gilt zunächst die Probleme in den Griff zu bekommen, die das ungebrochene Größenwachstum der Anlagen mit sich bringt. Erst wenn dieses seine Grenzen erreicht hat, wird sich der Konkurrenzkampf auf dem Feld der Optimierung

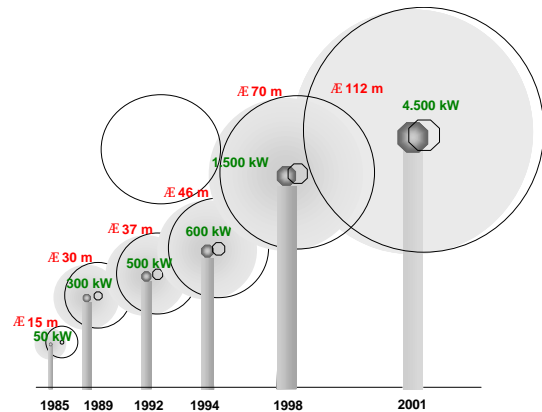


Abb. 1: Größenentwicklung der Windenergieanlagen während der letzten 15 Jahre

Fig. 1: Development of wind turbine size during the last 15 years

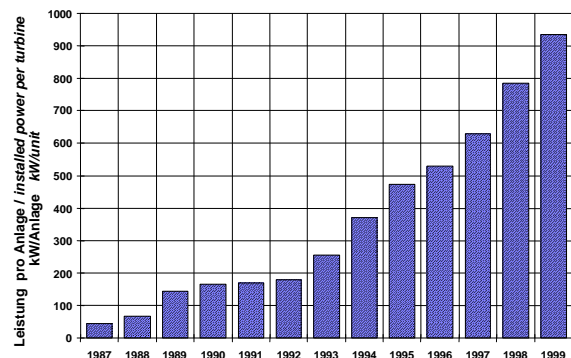


Abb. 2: Entwicklung der durchschnittlichen installierten Leistung der Windturbinen während der letzten Jahre

Fig. 2: Development of the average installed capacity of wind turbines during the last years

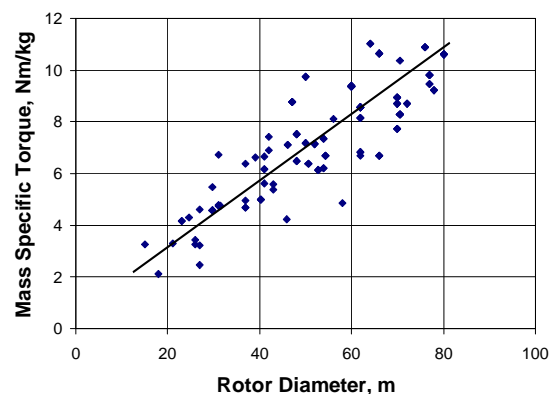


Abb. 3: Entwicklung des massenspezifischen Drehmoments mit dem Rotordurchmesser

Fig. 3: Development of mass specific torque with rotor diameter

der Anlagen abspielen, weil dann nur noch Qualität und Kosten als Unterscheidungskriterium zur Verfügung stehen.

4. Situation heute

4.1 Windenergieanlage

Der boomende Windenergiemarkt in den zurückliegenden Jahren verstärkte die Auffassung, Forschung und Entwicklung könne ausschließlich durch die Industrie abgedeckt werden. Sicherlich herrschte selbst in der Industrie einige Zeit diese Meinung. Bei den erreichten Größen der Windturbinen tun sich allerdings Unkenntnisbereiche auf, die zur Lösung der Probleme durchaus einer Vorlauforschung bedürfen. Die heutige Entwicklung ist geprägt durch den Wettbewerb, wobei der Durchmesser und nicht Langlebigkeit oder geringste Herstellkosten die größte Rolle spielen, sondern es gilt, den berühmten Meter mehr Rotordurchmesser gegenüber der Konkurrenz zu besitzen. Deshalb ist es notwendig, zunächst die aus dem Größenwachstum resultierenden Probleme in den Griff zu bekommen. Dieser Konkurrenzkampf um die Größe lässt den Entwicklungsteams keine Zeit sich um eine wirkliche Detailoptimierung und Fehlerdiagnose zu kümmern. Erstes Firmenziel ist, die eigene, größere Anlage muss vor der Konkurrenz im Betrieb sein und angeboten werden können. Wird die Entwicklung der letzten 15 Jahre betrachtet, so wird das nicht endende Größenwachstum der Rotoren deutlich.

make money fast on the part of some parties concerned. It is necessary first to tackle those problems that are a consequence of the unbroken growth of the size of wind turbines. Only when this growth has reached its limit, competition will revert to the field of optimisation because then quality and costs will be the only distinguishing features.

4. Situation today

4.1 Wind turbine

The booming wind energy market in the past years confirmed the general opinion that research and development could be covered exclusively by the industry. This opinion may have been shared even by industry for some time. In view of the size of the turbines reached today, however, areas of ignorance become obvious, which definitely require predevelopment research. Today's development is characterised by competition, and rotor diameter rather than a longer lifetime or low production costs is the decisive criterion. Manufacturers strive to achieve the famous one meter more in rotor diameter than their competitors. Therefore it is necessary first to solve the problems resulting from upscaling. The competition in this field does not leave the design teams sufficient time to properly deal with detailed optimisation and fault diagnosis, because it is the prime target of manufacturers to have their

Abb. 1 macht eindrucksvoll klar, welche atemberaubende Entwicklung stattfand.

4.2 Anwendung der Windenergie

Weitgehend nicht als Forschungsthema im Bewusstsein sind die aus der Anwendung der Windenergie entstehenden Probleme. Dabei ist die Lösung der vorhandenen Fragestellungen für die weitere positive Entwicklung der Windenergie von genauso großer Bedeutung wie eine funktionierende und die Lebenserwartung erreichende Windenergieanlage. Die weltweite Verbreitung der Windenergie führte dazu, dass diese nicht nur mehr in flachem, von den Oberflächenformationen wenig beeinflussten Gebieten aufgestellt werden, sondern heute im überwiegenden Maße, im sogenannten komplexen Gelände, mit all seinen möglichen negativen Einflüssen auf Lebensdauer und Ertrag der Windturbine. Zusätzlich stellen sich Fragen der Wind- und Leistungsmesstechniken und zur optimalen Nutzung der Windenergie in vorhandenen Netzen, sowie die künftige Anwendung in anderen Energieverbrauchsbereichen wie Verkehr und Wärmemarkt.

5. Welches sind wichtigsten Forschungsziele?

Forschung in einem sich so schnell entwickelnden Bereich wie der Windenergie muss zielgerichtet und sehr praxisnah sein. Die Erfahrungen aus der Anwendung der Windenergie sind so umfangreich, dass sich leicht bestimmte Forschungsschwerpunkte definieren lassen. Generell gesprochen sollte das wesentliche Augenmerk bei der Windenergieanlage

- auf der Verminderung der spezifischen Herstellkosten,
- der Erhöhung der Komponentenlebensdauer
- und Verminderung der Wartungskosten

liegen. Dies gilt insbesondere für die Offshore-Anlagen, die ausschließlich gut getestet und mit hoher mechanischer Zuverlässigkeit in den schlecht zugänglichen Offshore-Bereich gebracht werden sollten, wenn sie dort im kommerziellen Betrieb bestehen sollen. Es sollte nicht vergessen werden, dass bei Windturbinen im mehr oder minder tiefen Wasser eine ganze Reihe zusätzlicher Belastungen durch beispielsweise Korrosion, Wellenbewegungen und Transport auftreten, die bisher nicht oder nur unzureichend bekannt sind.

own, larger turbine operating and on the market before their competitors.

Looking at the development of the past 15 years, the unending growth of the rotors becomes obvious. Fig. 1 gives an impressive view of this breathtaking development.

4.2 Application of wind energy

Problems arising from the application of wind energy are often not recognised as being a subject for research. The solution of these problems, however, is just as important for a further positive development of wind energy than the trouble-free operation and long lifetime of a wind turbine. As a result of the world-wide spread of wind energy, wind turbines are no longer installed in flat terrain only, but today mostly in so-called complex terrain, with all its potential negative influences on lifetime and energy output of the wind turbine. Additionally questions of wind and power measurement technology and of the optimum utilisation of wind energy in existing power supply grids, as well as the future application in other areas of energy consumption, such as traffic and heating, are waiting to be answered.

5. Which are the most important aims of research?

Research in an area developing as quickly as the wind energy has to be purpose-oriented and practical. From the vast experience gained in the application of wind energy, certain main topics of research can easily be identified. Generally speaking, these are the main areas, concerning the wind turbines

- *reduction of the specific production costs,*
- *increasing the lifetime of components*
- *reduction of maintenance costs.*

This is especially important for off-shore wind turbines which should only be deployed in the off-shore area, where access to them is difficult, if they have been properly tested and are mechanically reliable. Otherwise they will not be able to survive commercially. One should not forget that wind turbines installed in more or less deep water are subject to a number of additional loads, such as corrosion, waves and transport, which are not yet or not sufficiently known.

Natürlich sind genauso im Anwendungsbereich Schwerpunkte zu setzen. Es gilt die umfangreichen und theoretisch schwierig zu erfassenden Vorgänge des komplexen Geländes in den Griff zu bekommen und verbindliche Regeln zu schaffen, wie Messungen und Gutachten durchzuführen sind. Deshalb gilt, als Zielsetzung für die Anwendung:

- eine Erhöhung der Wirtschaftlichkeit
- und der Planungssicherheit,
- verbunden mit einer Verbesserung der Messtechniken
- sowie die Anwendung der Windenergie auf andere Nutzungsbereiche

zu realisieren. Schlecht geplante Windparks, sei es aus persönlicher Unkenntnis, Nachlässigkeit oder aus fehlenden wissenschaftlichen Erkenntnissen heraus, sind für die Windenergie genauso schädlich, wie mangelnde Lebensdauer der Windturbinen. Deshalb geht mein Appell an die für die Forschung zuständigen staatlichen Einrichtungen, sich nicht durch den oberflächlichen Erfolg der Windenergie von den Problemen dieser jungen Techniksparte ablenken zu lassen, sondern durch kräftige finanzielle Forschungsunterstützung die Wissensbasis der Windenergiebranche zu verbessern.

6. Erforderliche Forschung und Entwicklung

In den vorangegangenen Abschnitten sind viele F&E Themen schon angesprochen worden. Hier sollen nochmals die wichtigsten zusammengefasst werden, wobei auch der Hintergrund kurz angesprochen wird. Natürlich sollte aus der folgenden Aufstellung nicht der Schluss gezogen werden, es gäbe nur diese Forschungsthemen, um damit alles andere liegen zu lassen.

Windenergieanlage:

Größenwachstum:

Das schnelle Größenwachstum brachte eine Vielzahl von Schwierigkeiten mit sich, die zunächst völlig unterschätzt wurden. Einfaches Up-scaling zu immer größeren Rotordurchmessern ist nicht erfolgsversprechend, da sich nicht nur die Belastungen aus dem Wind ändern, sondern auch die Reaktionen der Windturbine darauf. Können Windturbinen bei kleineren Größen noch mit dem dafür notwendigen Materialaufwand ausreichend steif gebaut werden, womit das eine oder andere Problem umgangen werden kann, so ist dies bei Megawattanlagen nicht mehr der Fall. Windturbinen sind in diesem Größenbereich hoch elastische Gebilde, die dynamisch beherrscht werden müssen.

In the area of application of wind energy it is also necessary to concentrate on certain main subjects. The problems encountered in complex terrain, which are extensive and difficult to grasp theoretically, have to be solved, and binding rules for carrying out measurements and evaluations are also required. Therefore the targets identified for application are:

- *Increasing the economic efficiency*
- *and planning security*
- *together with improved measuring techniques*
- *and the application of wind energy in other areas of utilisation.*

Wind farms planned badly for whatever reason, personal ignorance, negligence or insufficient scientific knowledge, can be just as damaging for the wind energy as a short lifetime of wind turbines. Therefore I would like to appeal to the Government institutions responsible for research not to be deceived by the superficial success of wind energy and so ignore the problems of this young technology. Wind energy still needs strong financial support for research in order to improve its store of knowledge.

6. Necessary Research and Development

In the previous paragraphs many R&D subjects were already mentioned. In the following the most important of them will be summed up and their background be discussed briefly. From this list one should of course not conclude that these are the only subjects of research and everything else could be neglected.

Wind turbine:

Upscaling:

The fast increase in size caused a lot of problems which at first were completely underestimated. Upscaling by simply increasing the rotor diameter again and again is not very promising because not only the loads caused by the wind will change, but also the reactions of the wind turbine. Whereas smaller wind turbines can be built with sufficient stiffness by using the amount of material necessary and so some of the problems can be avoided, this is no longer possible with megawatt turbines. In this range, wind turbines are highly elastic structures which have to be managed dynamically.

Operating loads:

As already mentioned, the knowledge about operating loads is insufficient because the

Betriebslasten:

Wie schon oben erwähnt, sind die Betriebslasten wegen der sich mit der absoluten Größe der Windturbine ändernden äusseren Vorgänge und den heute üblichen Einsätzen im komplexen Gelände nur unzureichend bekannt. Zwar laufen die Megawattanlagen und beherrschen die prinzipiell auftretenden Betriebszustände, aber die auf die Lebensdauer einwirkenden Belastungen sind nur ungenügend bekannt. Es ist nicht nur notwendig, durch Messung eine bessere Wissensbasis zu schaffen, sondern auch die Belastungsannahmen durch Auswertung möglichst vieler gemessener Belastungsvorgänge zu modifizieren.

Lebensdauer:

Eng mit den Belastungen hängt die Lebensdauer zusammen. Fehlende Kenntnisse der während der Einsatzdauer einer Windturbine auftretenden Betriebslasten führen dazu, dass bestimmte Komponenten vorzeitig ausgetauscht werden müssen und so die Wartungs- und Instandhaltungskosten unnötig hoch werden. Im Klartext heisst das, Rotorblätter müssen nicht nach 10 oder 12 Jahren ausgetauscht werden, wie das heute auf Grund der vorliegenden Erfahrungen angenommen werden muss. Rotorblätter müssen auch nicht doppelt so teuer werden, wenn sie doppelt so lang halten sollen. Sie müssen mit ihrer Struktur nur richtig ausgelegt sein. Die DEBRA-25 wird seit 16 Jahren betrieben und besitzt ein Rotorblatt, das auf halber Länge durchgesägt und wieder mit einer hochbelasteten Schraubverbindung zusammengefügt wurde. Hinzu kommt bei der DEBRA-25 eine fast doppelt so hohe zulässige Materialdehnung im GFK-Material der Blätter, als heute von den Zertifizierungsbehörden zugelassen wird. Ein 10% teureres Blatt das 20 Jahre hält ist mit Sicherheit wirtschaftlicher als ein Vollaustausch nach der halben Laufzeit. Gleiches gilt für die Getriebe. Sie gehören genauso wenig zu den Tauschkomponenten, sondern müssen nur den Belastungen entsprechend ausgelegt werden.

Regelungsqualität:

In der Regelungsqualität der Windturbinen gibt es deutliche Unterschiede. Bessere und schlechtere sind heute fast gleichberechtigt auf dem Markt, da ein starkes Netz keine besonderen Maßnahmen erfordert. Dies wird so nicht bleiben. Die schnelle Verbreitung der Windenergie führt in starken Netzen zu einem letztendlich doch großen Anteil der Windenergie und in vielen Anwendungsregionen sind die Netze von vornherein als schwach zu bezeichnen, so dass dort mit den heutigen Anlagen schnell die Grenze der Verträglichkeit erreicht wird. Es wird erforderlich sein, Windturbinen so netzverträglich wie möglich zu machen. Dies kann durch eine verbesserte Regelung geschehen, die beispielsweise Böen nicht sofort in Drehmomente und

external influences change with the absolute size of the wind turbine and because wind turbines are often installed in complex terrain today. Of course, megawatt turbines work, and they can cope with the operating states occurring normally, but little is known about the influence of loads on the lifetime of the turbine. It is not only necessary to get a better store of knowledge by carrying out measurements, but also to modify the load assumptions by evaluating as many load cycles measured as possible.

Lifetime:

The lifetime of a wind turbine is closely linked to the loads acting on it. Today, because of insufficient knowledge of the operating loads occurring during the service life of a turbine, certain components are replaced prematurely and so maintenance costs become unnecessarily high. In other words, it is not necessary to replace rotor blades after 10 or 12 years, as this is assumed today based on the experience gathered so far. Rotor blades also do not necessarily have to get twice as expensive if their length is doubled. It is merely necessary to design their structure accordingly. The DEBRA-25 has been operating for 16 years and is equipped with a rotor blade sawed through in the middle and joined together with a highly stressed screw connection. In the DEBRA-25 rotor blade the admissible strain in the GFK material is almost twice as high as allowed today by the certification authorities. A blade that costs 10% more, but will keep for 20 years, is certainly more cost effective than a complete exchange after half the time. The same applies to gears. They should not be among the exchange components either, if they were designed according to the loads.

Quality of the control system:

There are noticeable quality differences between the control systems of wind turbines. Today, better and worse control systems are on the market together, almost on an equal basis, because a strong grid does not require special measures to improve the power quality. This, however, will not remain the same in future. The fast spreading of wind energy will increase the share of wind energy and affect even strong grids, and in many areas of wind energy use the power supply grids are generally so weak that with today's wind turbines the limit of compatibility is quickly reached. It will be necessary to make wind turbines as grid-compatible as possible. This can be done by an improved control system which for

damit in elektrische Leistungssprünge umsetzt. Drehmomentstöße führen nicht nur zu unerwünschten elektrischen Wirkungen sondern natürlich auch zu zusätzlichen Belastungen. Auch aus diesem Grund sind bessere Regelungsmöglichkeiten sinnvoll.

Fertigung & Material:

Ein noch großes Kostenreduktionspotenzial bietet die Fertigung der Komponenten und die Ausnutzung der Materialeigenschaften. Hier geht es nicht um die Serienfertigungseffekte, die so hoch nicht eingestuft werden können, wenn man davon ausgeht, dass immer nur Zehnerpotenzsprünge in der Fertigungsmenge wirkliche Kosteneinsparungen bringen. Die Schritte von 100 MW-Anlagen pro Jahr zu 1000 und dann auf 10000 sind groß und werden von den meisten Firmen nicht realisierbar sein, wenn von einer Anbietervielfalt im Markt ausgegangen wird. Aber, der Trend zeichnet sich ab, dass jeder Hersteller die wesentlichen Komponenten (bspw. Rotorblätter) selber baut und sie so auf seine Bedürfnisse optimieren kann. Beim Material sind gerade im Bereich der Blattstrukturen noch deutliche Verbesserungen zu erwarten. Es scheint möglich, die spezifischen Belastungen von Faserverbundwerkstoffen höher anzusetzen, als dies heute die Zulassungsinstitutionen erlauben. Voraussetzung sind ausreichende Kenntnis der Belastungen und der Materialeigenschaften.

example does not convert gusts into torques immediately and thus avoids sudden power variations. Torque peaks do not only have a negative influence on the grid, but of course also result in additional loads. This is another reason why it makes sense to develop better control systems.

Production & material:

The production of components and an effective use of material properties offer an even greater potential for cost reduction. We are not talking here about the effects of series production, which cannot be regarded as very high, because as a rule only an increase in production numbers by the power of ten really leads to a cost reduction. The step from 100 MW-turbines per year to 1000 turbines and then again to 10,000 is a large one and most companies will not be able to make it, as long as there is still a variety of suppliers on the market. But the trend is becoming apparent that each manufacturer is producing the main components (e.g. rotor blades) himself and so can optimise them according to his requirements.

With regard to material, distinct improvements are to be expected especially in the area of blade structures. It seems to be possible to allow higher loads in composite material than prescribed by the certification authorities today.

Anwendung

Energieprognose:

Die Genauigkeit der Energieprognosen für die Standorte von Windenergieanlagen muss im Bereich der komplexen Gelände deutlich gesteigert werden. Zwei Effekte kommen zusammen. Komplexes Gelände ist meist im Binnenland anzutreffen, wo die Windgeschwindigkeiten in der Regel auch niedriger sind. Eine geringere Genauigkeit verbunden mit niedrigerem Wind führt schnell dazu, dass ein Projekt unwirtschaftlich wird, obwohl es in der Planung ausreichende Verhältnisse versprach. Es gilt Methoden zu entwickeln, die auch im komplexen Gelände bessere Ergebnisse liefern als dies heute der Fall ist. Auch ist es notwendig, einheitliche Mindestqualitätsregeln für die Standortgutachten aufzustellen, damit der Kunde zumindest erkennen kann, ob sein Gutachter auch alles im Gutachten berücksichtigt hat.

Off-shore-Einflüsse:

Die Anwendung im Off-shorebereich erfordert noch sehr umfangreiche F&E, um alle vorhandenen dynamischen und umweltbedingten Einflüsse ausreichend genau in der Entwicklung von Off-shoreanlagen berücksichtigen zu können. Im Gegensatz zu On-shore werden hier auch die Fundamente eine wesentliche Rolle spielen.

Kurzzeit-Prognose:

Je höher die Penetration der Windenergie im Netz ist, um so wichtiger wird es für den Betrieb des gesamten Kraftwerksparks des Energieversorgers, das zeitliche Angebot der Windenergie besser zu kennen. Diese Kurzzeitprognose verbessert die gesamtwirtschaftliche Situation der Energieversorgung und erlaubt die weitere Erhöhung des Windanteils.

Verifizierung, Messmethoden:

Heute scheint es für den Betreiber nur wichtig zu sein, ob der Windpark läuft und zumindest keine roten Zahlen produziert. Von untergeordneter Rolle ist, ob durch Nachvermessung der Anlagen eine Möglichkeit gefunden wird, eine Verbesserung der Energieausbeute zu erzielen oder nicht. Wird durch bessere Einstellung der Windturbinen nur 1% mehr Energieertrag pro Jahr erzielt, so wäre das bei einem Windpark von 25 MW Leistung immerhin rund 100000 DM pro Jahr, ein Wert, der die Kosten für eine solche Vermessung schnell wieder einbringt. Aber um solche Verifizierungen fundiert machen zu können, sind Methoden und Messverfahren zu entwickeln und zu verbessern, insbesondere auch die Anemometerkalibration, so dass die Ergebnisse von Betreibern und Herstellern anerkannt werden können.

This, however, requires sufficient knowledge of the loads and material properties.

Application

Energy output prognosis:

Energy output prognoses for wind farm sites must become a lot more precise as far as sites in complex terrain are concerned. The problem is a combination of two effects. Complex terrain is mostly found inland, where wind speeds are also lower as a rule. A reduced exactness in combination with lower wind speeds can easily make a project uneconomical, although during the planning stage the resources were considered to be sufficient. Methods have to be developed which will supply better results in complex terrain as is the case today. Furthermore standard minimum quality requirements for site evaluations have to be established so that the client at least can see if the institute commissioned by him has considered everything in its evaluation.

Off-shore influences:

Off-shore wind energy use requires very extensive R&D work to be able to consider all the existing dynamic and environmental influences with sufficient exactness in the development of off-shore wind turbines. Other than in on-shore installations, wind turbine foundations will be one of the major subjects here.

Short-term prognosis:

The higher the penetration of wind energy in the grid, the more important it will become for the operation of the entire generation system of the utility to have a better knowledge about the time variation of the wind energy available. The short-term prognosis improves the overall economic situation of electricity supply and allows to increase the share of wind energy even further.

Verification, measuring methods

Today most operators seem to be content if the wind farm is working and is not in the red financially. The possibility to find out by follow-up measurements if the energy yield could be improved seems to be of secondary importance. However, if by improving the adjustment of wind turbines the energy output could be increased by only 1%, this would amount to about 100,000 DM for a 25 MW wind farm, a sum which easily brings back the costs for such a measurement. Well-founded verifications can only be carried out if methods and measuring procedures are developed and improved, in particular the anemometer cali-

Erschließung anderer Anwendungsbereiche:

Neben der reinen Netzeinspeisung sind dringend Arbeiten im Bereich der Speicherung und Kombination mit anderen Energieerzeugern, wie beispielsweise Wind-Diesel-, Hybridsysteme, die Anwendung mit Brennstoffzellen im Verkehr und Wasserentsalzung intensiv aufzunehmen, damit die notwendige Vorlauforschung rechtzeitig erledigt werden kann und die Systeme in die Anwendung gelangen können.

bration, so that results can be recognized by operators and manufacturers.

Development of other areas of application:

Apart from using wind energy for feeding it into the electricity grid, other areas e.g. energy storage and combination of wind energy with other electricity generators, such as wind/diesel systems, hybrid systems, the use of fuel cells in traffic and water desalination should be discussed intensively in order to begin the necessary pre-development research in time and put these systems to work.

Rüzgar Enerjisi Hakkında Genel Kurs Istanbul

9 - 11 Nisan 2001

- Rüzgar Enerjisinin Durumu
- Rüzgar Türbin Teknikleri
- Rüzgar kaynagi ve rüzgar çiftligi tasarimi
- Ölçümler
 - * Rüzgar Hiz Ölçümleri
 - * Güç Performansi
 - * Güç Kalitesi
 - * Yük Ölçümleri
- Planlama ve Ekonomi

Dil: İngilizce ve Türkçe (İngilizce'den Türkçe'ye tercüme yapılacaktır.)

Düzenleyenler:
Kocaeli Üniversitesi
DEWI (Alman Rüzgar Enerjisi Enstitüsü)

Deutsches Windenergie-Institut, Ebertstraße 96, D-26382 Wilhelmshaven
<http://www.dewi.de> - seminar@dewi.de

