

Rotorblattreinigung - was schafft der Regen, was der Reiniger ?

Rotor blade cleaning - by rain or by human ?

Hinsch, Christian; Westermann, Dieter; DEWI

Summary

The power performance of a wind energy converter (WEC) is mainly depending on specific properties of the WEC, but also on meteorological conditions as well as on blade soiling. Until now only experiments in wind tunnels and artificial soiling conditions have been investigated to determine the influence of a rotor blade cleaning on the power performance during real operation with rainy periods.

Therefore DEWI carried out a power performance measurement for two WECs of the same type over nearly one year. Since the magnitude of change in power performance caused by a rotor blade cleaning is expected to be in the order of other parameters which influences the power output, only the comparison of a clean and a soiled WEC is suitable to determine the influence of a rotor blade cleaning.

As a result of this measurement a slight decrease in power performance can be seen over the measuring period, caused by soiling and superimposed by deviations due to rain. After a rotor blade cleaning a short-term increase of power output in the order of two percentages arises, but it becomes clear that also rain is able to clean slightly soiled blades.

Even if the increase in power performance is quite small, a rotor blade cleaning by qualified staff offers the possibility to find and repair surface damages. Therefore a rotor blade cleaning is lucrative for many operators especially at the end of the guarantee time period.

This article describes the requirements to perform this kind of investigations, the way it was carried out and the results.

1. Einleitung

Die Leistungsabgabe einer Windenergieanlage (WEA) wird außer durch anlagenspezifische Eigenschaften (Größe, Regelprinzip, dynamisches Verhalten, usw.) maßgeblich auch durch meteorologische Bedingungen (z.B. atmosphärische Schichtung, Regen, Vereisung) beeinflusst [1,2,3]. Zusätzlich ist davon auszugehen, daß eine Verschmutzung der Rotorblätter durch Insekten und/oder Schmierfilme aus benachbarten Industrieanlagen das aerodynamische Verhalten des Rotorblattes negativ beeinflussen und somit zu einer geringeren Leistungsabgabe führen. Außer Messungen im Windkanal und unter künstlichen Verschmutzungsbedingungen im Betrieb wurde bisher nicht untersucht, welche Leistungseinbußen durch Verschmutzung im realen Betrieb mit der Säuberung durch Regen zu erwarten sind, bzw. welchen Effekt eine manuelle Rotorblattreinigung hat. Aus diesem Grunde wurde im Auftrag der Firma L&L Rotorservice vom Deutschen Windenergie-Institut das Leistungsverhalten zweier Windenergieanlagen der 500 kW-Klasse zur Bestimmung des Einflusses einer Rotorblattreinigung meßtechnisch untersucht. In diesem Beitrag werden die Durchführung der Messung sowie die erzielten Ergebnisse vorgestellt und die Vorteile einer Rotorblattreinigung kurz diskutiert.

2. Voraussetzungen zur Durchführung der Messungen

2.1. Standort und meßtechnischer Aufbau

Um meteorologische Einflüsse während der Messung auszuschließen, ist es nicht ausreichend, nur das zeitliche Leistungsverhalten einer WEA zu messen. Vielmehr muß das Leistungsverhalten einer gereinigten WEA mit dem Leistungsverhalten einer ungereinigten Anlage vom gleichen Typ in unmittelbarer Nähe verglichen werden. Dazu muß ein Standort gefunden werden, der es ermöglicht, zwei WEA gleichzeitig bei ungestörter Anströmung zu vermessen. Die Messung wurde in einem Windpark durchgeführt, der aus zehn Windenergieanlagen der 500 kW-Klasse besteht. Abb. 1 zeigt die Konfiguration des Windparks und den Standort des Meßmastes.

Es wurden die Anlagen T3 und T4 vermessen. Der Meßmast befindet sich südwestlich der ersten Anlagenreihe in Hauptwindrichtung (Südwest) und liefert u.a. das für diese Vermessung wichtige Windrichtungssignal. Der für die Auswertung maßgebende Windrichtungssektor beträgt 150°-270°, um gegenseitige Abschattungseffekte an den Anlagen zu vermeiden. Die Messung wurde in der Zeit

vom 03.11.1994-17.10.1995 durchgeführt. Die Meßgrößen werden mit 1 Hz abgetastet und als 5-Minuten-Mittelwerte abgespeichert. Der Aufbau der Messung entspricht den IEA-Richtlinien zur Leistungskurvenvermessung [4]. Schematisch wird der Meßaufbau in Abb. 2 dargestellt.

Die Windgeschwindigkeiten v_1 , v_2 und v_3 werden am Meßmast mit drei Schalensternanemometern in Höhen von 40.0 m (entspricht Nabenhöhe), 38.5 m und 10 m gemessen. Die Ermittlung der Windrichtung erfolgt am Meßmast mit einem Kombiwindgeber in 38.5 m Höhe.

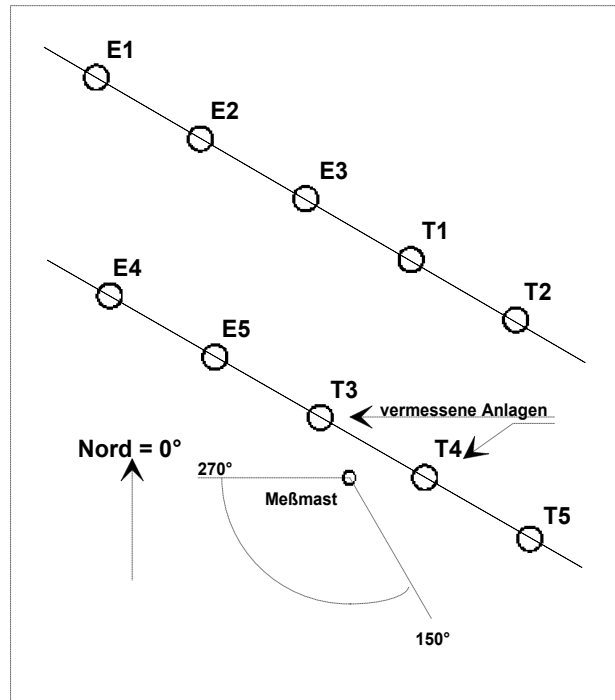


Abb. 1: Anordnung der Anlagen im Windpark
Fig. 1: Configuration of the wind farm

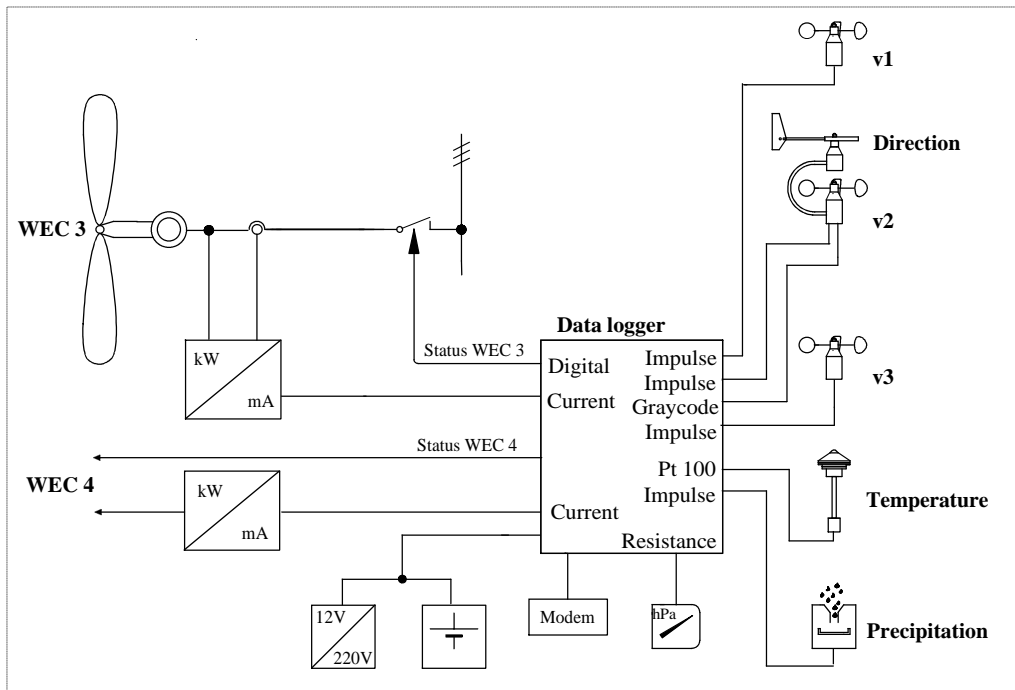


Abb. 2: Schematische Darstellung des Meßaufbaus
Fig. 2: Measurement set-up

Die elektrische Leistung der Anlagen T3 und T4 wird mit zwei Wirkleistungsmeßumformern der Genauigkeitsklasse 0.5 gemessen. Um die Leistung entsprechend den Richtlinien [4] auf meteorologische Standardbedingungen (Luftdichte $\rho_0 = 1.225 \text{ kg/m}^3$) umrechnen zu können, wird der Luftdruck mit einer Aneroiddose und die Lufttemperatur mit einem Widerstandsthermometer (Pt 100) gemessen. Der Niederschlag wird mit einem Regenmengenmesser aufgezeichnet.

1.2. Reinigungseinrichtung

Entsprechend den Angaben von L&L Rotorservice [5] erfolgt die Reinigung der Rotorblätter mit einem Arbeitskorb, der von einem Autokran hochgezogen wird. Während des Hochfahrens mit dem Arbeitskorb wird das Rotorblatt mit einem Spezialreiniger eingesprüht. Anschließend wird das Rotorblatt von oben mit Schwämmen per Hand bis zur Rotorblattspitze gereinigt. Dieses Verfahren wird auf beiden Seiten aller drei Rotorblätter angewendet. Um eine sichere Reinigung der Rotorblätter vornehmen zu können, wird der Arbeitskorb so hergerichtet, daß eine Beschädigung der Rotorblätter ausgeschlossen ist. Abb. 3 zeigt das Team vom L&L Rotorservice bei der Reinigung. Ein geeignetes Reinigungsmittel, welches alle Anforderungen an die Rotorblattreinigung und den Oberflächenschutz erfüllt, mußte neu entwickelt werden. Hierbei handelt es sich um ein Reinigungsmittel, welches zu über 90 % biologisch abbaubar ist.



Abb. 3: Durchführung der Rotorblattreinigung

Fig. 3: Rotor blade cleaning Foto: L&L

2. Vermessung und Reinigung

Die untersuchten Anlagen im Windpark waren am Beginn der Vermessung (03.11.94) seit etwa einem Jahr in Betrieb und wiesen bei der ersten Reinigung (am 30.11.94 wurde die Anlage T3 gereinigt) aufgrund häufiger Regenfälle keine übermäßige Verschmutzung auf. Abb. 4 zeigt eine Aufnahme des noch ungereinigten Rotorblattes.

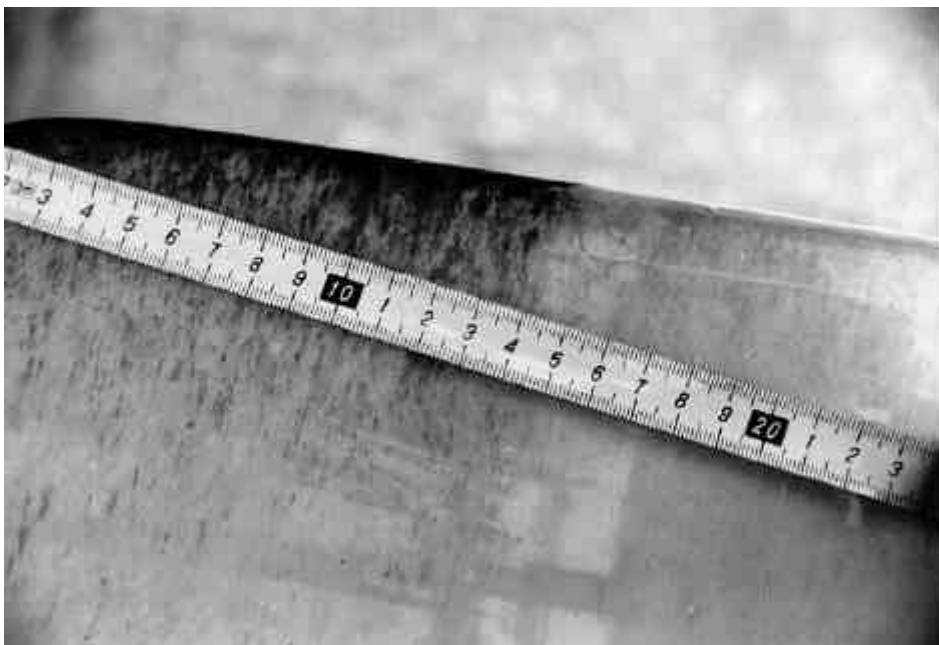


Abb. 4: Verschmutzte Vorderkante eines Rotorblattes in der Nähe der Blattspitze

Fig. 4: Soiled Leading edge of a rotor blade near to the blade tip

Foto: L&L

Nachdem durch die erste Reinigung der Ausgangszustand geschaffen worden war, wurde die zweite Reinigung der Anlage T3 ca. ein 3/4 Jahr später, am 23.08.95 durchgeführt. Die erneute Reinigung gestaltete sich aufgrund des noch von der ersten Reinigung vorhandenen Oberflächenschutzes relativ einfach.

Vom DEWI wurden zunächst für verschiedene Zeiträume Leistungskennlinien der Anlage T3 angefertigt und mit diesen Leistungskennlinien für einen Referenzstandort (Rayleigh-Windverteilung,

mittlere Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe: 7 m/s) Jahresenergieerträge (AEP) berechnet und verglichen. Als Änderung für einen zweimonatigen Zeitraum vor bzw. nach der zweiten Reinigung ergab sich eine Erhöhung des AEP um ca. +3% nach dem 23.08.95. Um festzustellen, ob diese Änderung ausschließlich auf die Rotorblattreinigung zurückzuführen ist, wurde das gleiche Verfahren für die Anlage T4 angewendet, die seit der Inbetriebnahme noch nicht gereinigt worden war. Auch hier ergab sich für die gleichen Zeiträume eine Änderung im AEP in der gleichen Größenordnung wie bei der Anlage T3.

Da sich die zu erwartende Änderung aufgrund der Reinigung offensichtlich in derselben Größenordnung wie der Einfluß vieler anderer Parameter (Turbulenzintensität, Meßungenauigkeit, meteorologische Einflüsse) befindet, gestaltet sich die Ermittlung des Einflusses einer Rotorblattreinigung auf die Leistungsabgabe einer Windenergieanlage außerordentlich schwierig. Als Vergleichsparameter wird deshalb das Verhältnis der beiden Leistungen der zwei Windenergieanlagen entsprechend folgender Gleichung verwendet:

$$V_P = \frac{P_{(WKA T3)}}{P_{(WKA T4)}}$$

Des Weiteren wird der Einfluß der Rotorblattreinigung nur in einem eng begrenzten Bereich untersucht:

- Windgeschwindigkeit v in Nabenhöhe: 8 m/s - 12 m/s
In diesem Windgeschwindigkeitsbereich verhält sich die Leistung P ungefähr proportional v^3 und der Einfluß des Umschaltpunktes zwischen kleiner und großer Drehzahlstufe ist eliminiert.
- Windrichtung : 150° - 270°
Wind aus diesem Windrichtungsbereich trifft ungestört sowohl auf den Meßmast als auch auf die beiden Windenergieanlagen T3 und T4 (siehe Abbildung 1).
- Turbulenzintensität t des Windes: 0.05 - 0.15
Es wurde nur Wind mit einer Turbulenzintensität t innerhalb des obigen Bereichs berücksichtigt, da sehr turbulenter Wind ($t > 0.15$) eine gestörte, stark variierende Anströmung kennzeichnet und zu einer starken Streuung der Meßwerte führt.
- Temperatur: $T > 2$ °C
Meßwerte bei Temperaturen um den Gefrierpunkt bzw. darunter können durch Eisansatz auf den Rotorblättern bzw. dem Windmeßgerät verfälscht werden; aus diesem Grunde werden nur Meßwerte bei Temperaturen > 2 °C berücksichtigt.
- kein Regen
Starker Regen kann sowohl die Windenergieanlagen als auch das Windmeßgerät beeinflussen.
- Mittelungszeit: 1 Stunde
Zur Datenreduzierung werden die ursprünglich als 5-Minuten-Mittelwerte aufgezeichneten Meßwerte zu Stundenmitteln zusammengefaßt. Dies gewährleistet außerdem eine Einhaltung der obigen Bedingungen über einen längeren Zeitraum.

Ein Beispiel für die starke Streuung der Meßwerte zeigt Abb. 5, in der das Leistungsverhältnis V_P der 1-Stunden-Mittelwerte über der Zeit aufgetragen ist. Ein Einfluß der Rotorblattreinigung kann mit dieser Darstellungsform nicht nachgewiesen werden. Aus diesem Grunde wurden die Leistungsverhältnisse V_P wochenweise zusammengefaßt und gemittelt. Abb. 6 zeigt das Ergebnis:

Die erste Rotorblattreinigung fand am 30.11.1994 statt; es wurde nur Anlage T3 gereinigt. Damit wurde zunächst einmal der Ausgangszustand geschaffen:

Anlage T3: gereinigt

Anlage T4: verschmutzt, ca. 1 Jahr im Betrieb.

Im Laufe der Zeit lagerte sich auch auf der Anlage T3 wieder Dreck ab, der jedoch zwischenzeitlich aufgrund der neuen Oberflächenbeschichtung der Rotorblätter durch die Reinigung und Konservierung teilweise bei Regen wieder abgewaschen wurde. Auch auf der Anlage T4 lagerte sich weiterhin Dreck ab, jedoch trägt dieser neue Dreck vermutlich nur noch wenig zur weiteren Verschlechterung der Leistung bei. Von Schwankungen überlagert ergibt sich im Laufe der Zeit eine Verschlechterung des Leistungsverhältnisses V_P , gekennzeichnet in Abb. 6 durch die gestrichelte Linie; d.h. Anlage T3 wird schlechter. Zusätzlich ist in Abb. 6 stark auftretender Regen als mm Niederschlag / Tag eingetragen.

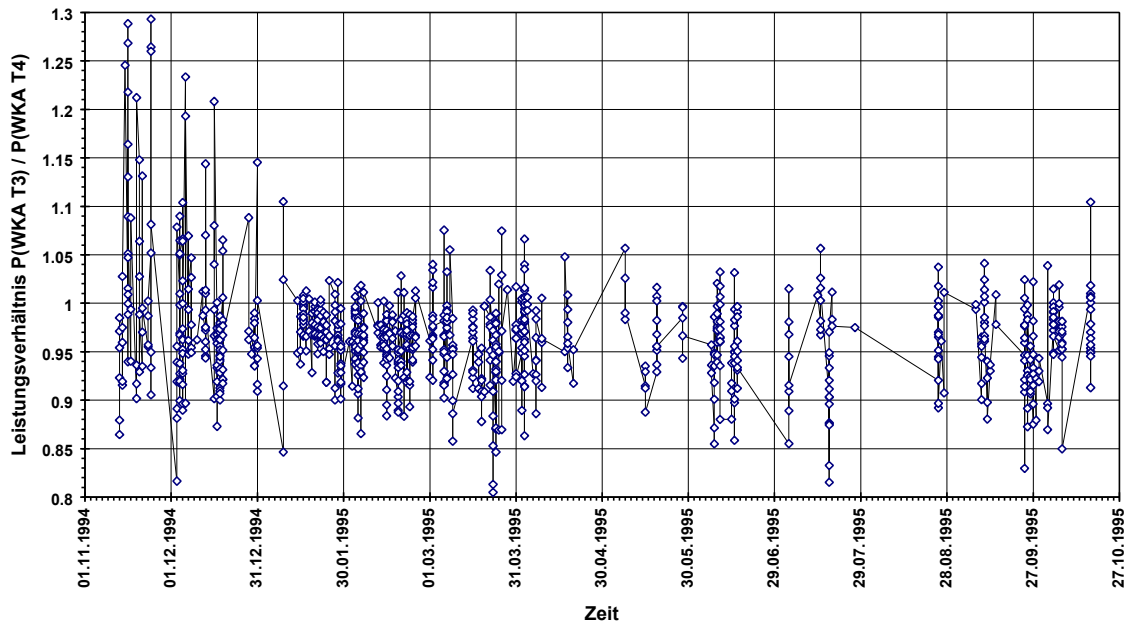


Abb. 5: Leistungsverhältnis V_P als 1-Stunden-Mittelwerte
 Fig. 5: Power ratio V_P as 1-hour-average

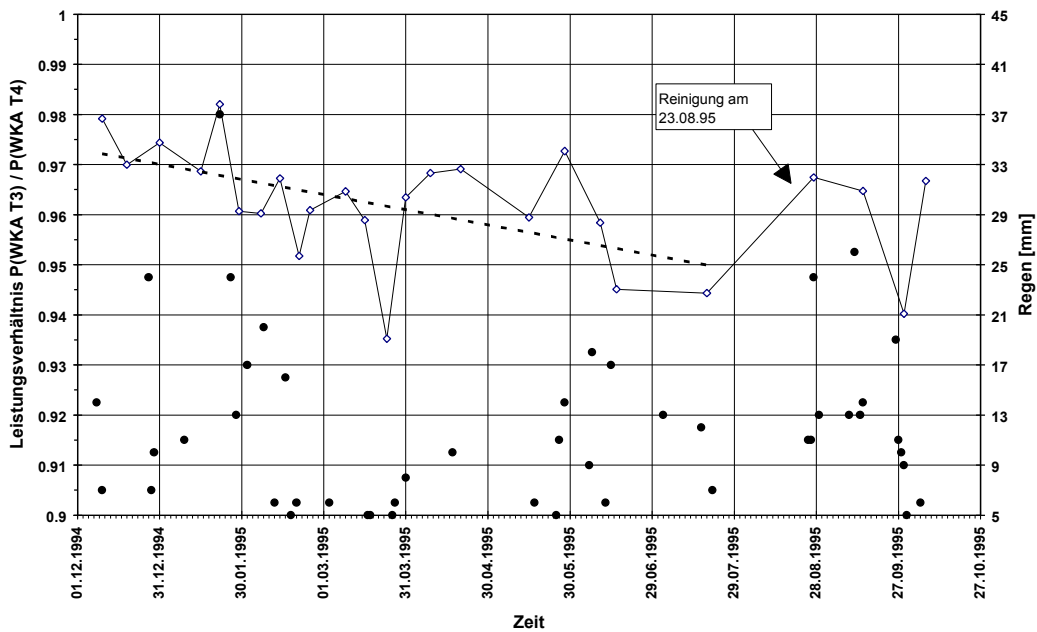


Abb. 6: Leistungsverhältnis V_P als 1-Stunden-Mittelwerte, wochenweise gemittelt
 Fig. 6: Power ratio V_P as 1-hour-average, weekly averaged

Die zweite Rotorblattreinigung fand am 23.08.1995 statt, es wurde wieder nur Anlage T3 gereinigt. Wie in obiger Abbildung zu erkennen, steigt das Leistungsverhältnis V_P nach der Reinigung kurzfristig um ca. 2 %. Auch die Werte zwischen dem 25.08.1995 und dem 17.10.1995 unterliegen starken Schwankungen, die teilweise aus Trockenperioden (zwischen dem 15.09. und 25.09) und wieder einsetzendem Regen am 26.09.95 resultieren.

3. Zusammenfassung

Als Ergebnis dieser Vermessung läßt sich feststellen, daß unter den gegebenen Verhältnissen (s.u.) eine Rotorblattreinigung in diesem Fall kurzfristig eine maximal ca. zweiprozentige Verbesserung der

Leistung einer Windenergieanlage ergibt. Diese Ergebnisse gelten nur für diese Messung und sind nicht ohne weiteres auf andere Anlagen übertragbar.

Da viele Einflußfaktoren eine Vermessung von Windenergieanlagen beeinflussen können, ist nur die Relativbetrachtung zwischen zwei Anlagen geeignet, Veränderungen in der Leistungsabgabe aufgrund einer Rotorblattreinigung zu ermitteln. Ebenso sollte das Leistungsverhältnis V_P über einen längeren Zeitraum betrachtet werden, um saisonale oder kurzzeitige Effekte auszuschließen.

Für zukünftige Vermessungen zur Bestimmung des Einflusses einer Rotorblattreinigung sollte das Maß der Verdreckung (z.B. Dreckschichthöhe an ausgewählten Stellen des Blattes) mit aufgezeichnet werden. Es ist außerdem zu empfehlen, Anlagen zu vergleichen, die bereits länger in Betrieb gewesen sind und eine sehr starke Verschmutzung aufweisen.

Auch wenn eine Rotorblattreinigung größtenteils bereits vom Regen durchgeführt wird, so liegt der Vorteil einer Reinigung durch qualifiziertes Personal vor allem darin, mögliche Schäden frühzeitig erkennen und beheben zu können und damit die Lebensdauer des Rotorblattes zu erhalten. Wenn dann noch Kosten für die Reinigung und Inspektion durch den kurzfristig erhöhten Energieertrag infolge gereinigter Blätter teilweise kompensiert werden, ist eine Reinigung und Inspektion insbesondere am Ende der Garantiezeit sicher für viele Betreiber lukrativ.

4. Literatur

- [1] Molly, J.P.: Windenergie - Theorie, Anwendung, Messung. - Karlsruhe: C.F. Müller, 1990.
 - [2] Albers, A.; Hinsch, C.: Abhängigkeit des Leistungsverhaltens großer Windenergieanlagen von verschiedenen meteorologischen Parametern. DEWI-Magazin (1996) Nr. 9.
 - [3] Seifert, H. : Rotorblätter, eiskalt erwischt. DEWI-Magazin (1996) Nr. 8.
 - [4] IEA. Recommended practices for wind turbine testing: 1. Power performance testing. Paris 1990.
 - [5] Lührs, R.; Liese, H.: Bericht über die Reinigung der Rotorblätter von einer Windkraftanlage zur Bestimmung des Einflusses einer Rotorblattreinigung. Interner Bericht 1996.
-