

Leistungskurvenvermessung mit Hilfe eines Gondelanemometers Power Performance Measurement by Means of an Anemometer Located on the Nacelle

Hinsch, Christian; Westermann, Dieter; DEWI

Summary

When planning a wind energy project it is important to calculate with power curves measured by an independent institute. Whether the bought wind energy converter (WEC) has the same power curve as the measured WEC or not can usually be checked only with high effort.

The measurement of the power curve by means of the anemometer located on the nacelle gives the possibility to compare WECs in a wind farm and to check the behaviour of the WEC over a long time with relatively low cost.

Therefore it is necessary to calibrate the nacelle anemometer mounting configuration with a measurement of wind speed in the undisturbed flow in front of the rotor. Once the relationship between the wind speed on the nacelle and the wind speed in front of the rotor is determined, the calibration results can be used for this special type of WEC with the same mounting conditions.

This article presents the results of a measurement in a wind farm and shows a.o. the advantages of a power curve determined with the anemometer on the nacelle: For example, caused by the very low scatter of the measured values the point of switching between low and high rotational speed can be recognized exactly.

The manufacturer as well as the operator of the WEC have then the possibility to recognize differences in the power curve of the WEC; differences to the originally measured power curve, between WECs in a wind farm and changes in the course of the time. In addition, the manufacturer can measure the power curve of the WEC in complex terrain and in cases a measured power curve belongs to the purchasing contract (e.g. in the U.S.A.).

1. Einleitung

Bei der Planung eines Windkraftanlagenprojektes ist es neben einer möglichst genauen Ermittlung der Windverhältnisse am geplanten Standort sehr wichtig, verlässliche Leistungskurven zu verwenden, um eine Fehlinvestition zu vermeiden. Bedingt vor allem durch die Förderrichtlinien der Länder sind inzwischen immer mehr Windkraftanlagen von unabhängigen Instituten vermessen worden, und die u.a. in den Datenblättern zur Landesförderung [1] und im Windprognoseprogramm ALWIN [2] veröffentlichten Leistungskurven werden von den meisten Planungsbüros als Grundlage für ihre Wirtschaftlichkeitsberechnungen verwendet. Ob die später tatsächlich aufgestellte Anlage jedoch die gleiche Leistungskurve besitzt wie die vermessene Anlage ist zur Zeit nicht ohne größeren Aufwand zu ermitteln. Abweichungen könnten aufgrund einer nicht optimalen Einstellung (Blatteinstellwinkel, Betriebsführung, usw.) der Anlage sowie durch Komponenten (Getriebe, Generator, usw.) mit geringerem Wirkungsgrad auftreten; zusätzlich ist auch eine Änderung der Leistungskurve im Laufe der Jahre nicht auszuschließen. Zwar können die Energieerträge bestimmter Zeiträume miteinander verglichen werden, doch setzt dies eine exakte Kenntnis der Windverhältnisse am Standort voraus.

Eine einfachere Überprüfung des Anlagenverhaltens mittels eines Leistungskurvenvergleichs kann unter Verwendung des Gondelanemometers realisiert werden. Dazu muß für einen bestimmten Anlagentyp der Zusammenhang zwischen der Windgeschwindigkeit auf der Gondel und der Windgeschwindigkeit vor dem Rotor ermittelt werden. Wird das Gondelanemometer für den gleichen Anlagentyp immer an der gleichen Position angebracht sowie des öfteren kalibriert (z.B. einmal im Jahr), lassen sich leicht Leistungskurven anfertigen und vergleichen. Dies bietet besonders den Betreibern von Windparks neue Möglichkeiten des Anlagenvergleichs und der Langzeitüberprüfung. Im folgenden Artikel wird der Weg zur Leistungskurve mittels eines Gondelanemometers dargestellt.

2. Beschreibung des Standortes und der Meßeinrichtung

2.1. Der Standort

Die Messung wurde in einem Windpark durchgeführt, der aus zehn Windkraftanlagen besteht. Abb. 1 zeigt die Konfiguration des Windparks und den Standort des Meßmastes.

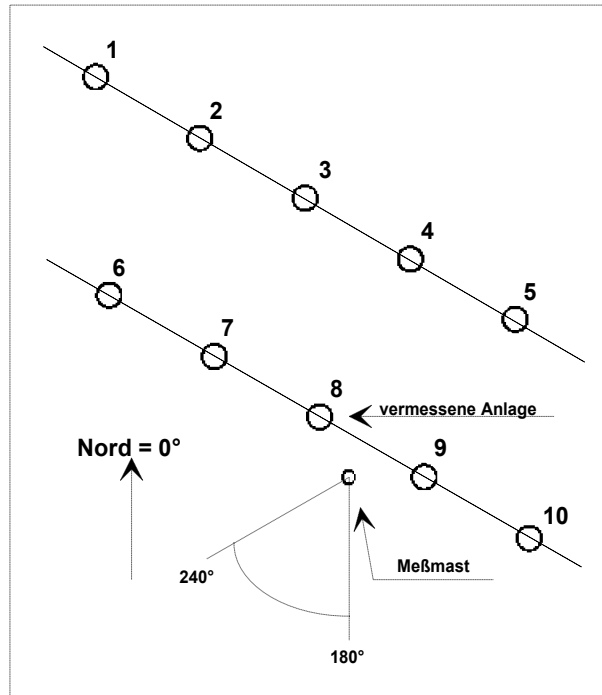


Abb. 1: Anordnung der Anlagen im Windpark

Fig. 1: Configuration of the wind farm

Der Meßmast befindet sich südwestlich der ersten Anlagenreihe in Hauptwindrichtung (Südwest). Es wurde die Anlage 8 vermessen; der für die Auswertung maßgebende Windrichtungssektor beträgt 180° - 240° , um Abschattungseffekte am Meßmast, bzw. an der Anlage zu vermeiden.

2.2 Meßtechnischer Aufbau

Der Aufbau der Messung entspricht den allgemeinen Richtlinien zur Leistungskurvenvermessung [3]. Schematisch wird dieser in Abb. 2 dargestellt.

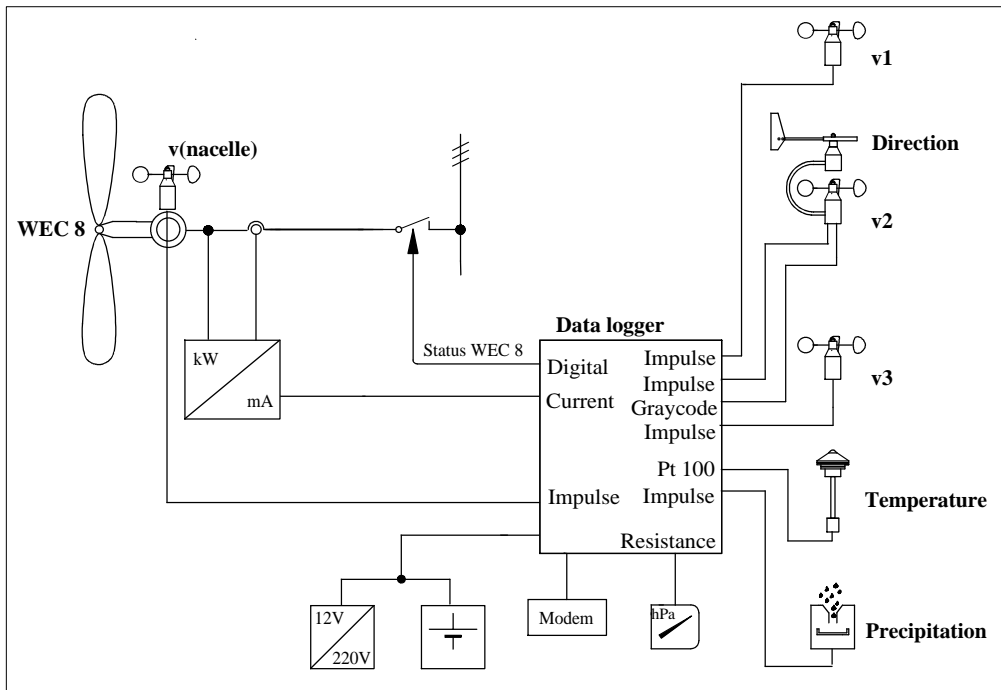


Abb. 2: Schematische Darstellung des Meßaufbaus

Fig. 2: Measurement set-up

Die Windgeschwindigkeiten v_1 , v_2 und v_3 werden am Meßmast mit drei kalibrierten Schalensternanemometern in Höhen von 40,0 m (entspricht Nabenhöhe), 38,5 m und 10 m, die Windgeschwindigkeit $v(\text{nacelle})$ auf der Gondel der Anlage 8 gemessen. Die Ermittlung der Windrichtung erfolgt am Meßmast mit einem Kombiwindgeber in 38,5 m Höhe. Die elektrische Leistung der Anlage 8 wird mit einem Wirkleistungsmeßumformer der Genauigkeitsklasse 0,5 gemessen. Um die Leistung entsprechend den Richtlinien [3] 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. Die Meßgrößen werden mit einer Abtastrate von 1 Hz aufgezeichnet und als 5-Minuten-Mittelwerte abgespeichert. Die Messung wurde in der Zeit vom 23.06.-13.09.1995 durchgeführt.

3. Kalibration des Gondelanemometers

Um den Zusammenhang zwischen der ungestörten Anströmung (Windverhältnisse am Meßmast in 40 m Höhe) und der durch den Rotor gestörten Anströmung (Windverhältnisse auf der Gondel) zu ermitteln, werden die Daten aus dem unbeeinflussten Windrichtungssektor (180° - 240°) übereinander aufgetragen und mittels einer Regressionsanalyse der Zusammenhang ermittelt; Abb. 3 zeigt das Ergebnis.

Die Ergebnisse zeigen, daß eine Regressionsanalyse über alle Daten in großen Windgeschwindigkeitsbereichen nur geringfügig von einer bin-gemittelten Analyse abweichen. Auffällig ist bei dieser Anlage des weiteren, daß der Zusammenhang zwischen den beiden Anemometern praktisch nicht vom Betriebszustand der Anlage abhängt (kleine Drehzahlstufe, große Drehzahlstufe). Im folgenden wird deshalb von folgender Gleichung zur Umrechnung der Windgeschwindigkeit auf der Gondel in die "wahre" Windgeschwindigkeit ausgegangen:

$$v = 1.0866 * v_{\text{Gondel}} + 0.6722 \text{ m/s}$$

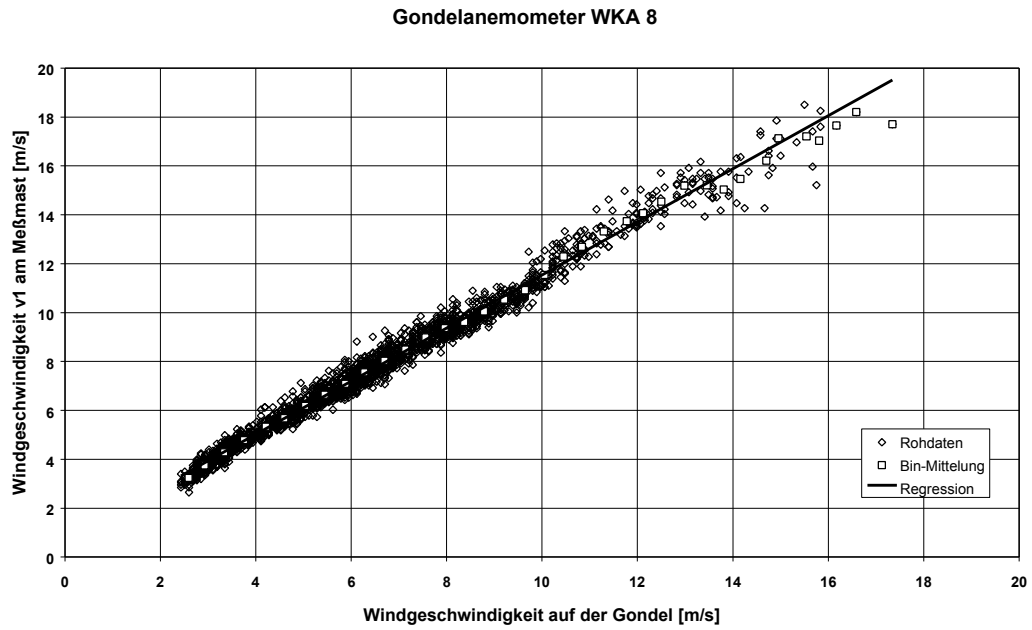


Abb. 3: Zusammenhang zwischen den Anemometern (auf Meßmast, bzw. Gondel).
Fig. 3: Correlation between the anemometers (on mast, resp. nacelle)

4. Vergleich der Leistungskurven

Zunächst einmal soll dargestellt werden, wie typischerweise die Rohdaten einer Leistungskurve aussehen. Dazu wird die entsprechend den Richtlinien [3] dichtekorregierte Leistung der Anlage 8 über der Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe (ermittelt mit dem Meßmast) für den ungestörten Windrichtungssektor (180°-240°) aufgetragen, siehe Abb. 4.

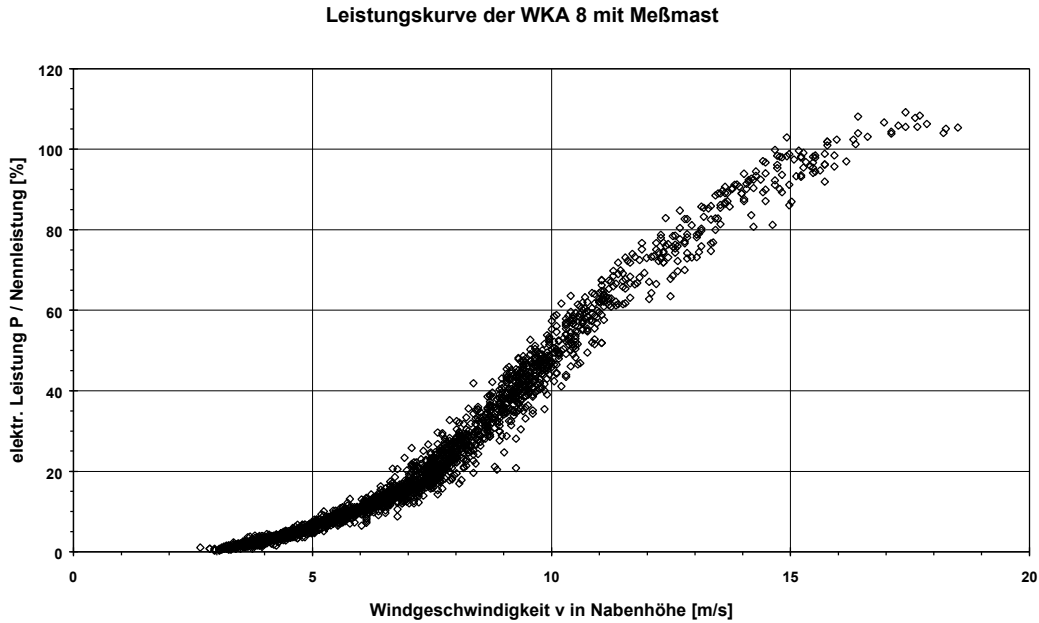


Abb. 4: Leistungskurve mit Meßmast
 Fig. 4: Power curve with anemometer on measuring mast

Wenn nun die Werte des Gondelanemometers entsprechend obiger Beziehung auf die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe umgerechnet werden, ergibt sich eine Leistungskurve, wie sie in Abb. 5 dargestellt ist.

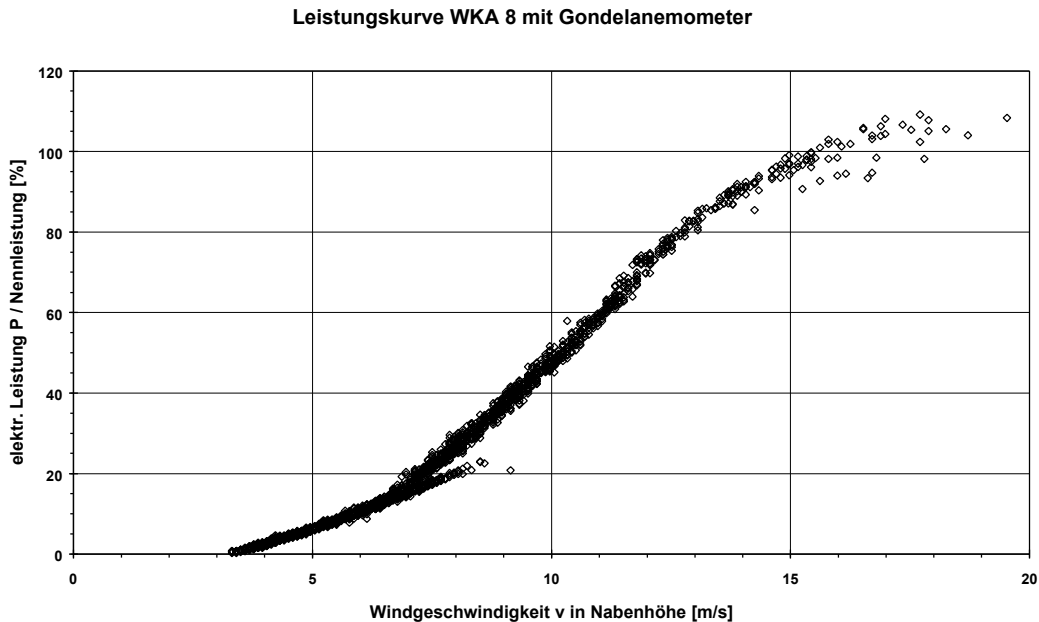


Abb. 5: Leistungskurve mit Gondelanemometer gemessen und umgerechnet auf ungestörten Wind
 Fig. 5: Power curve measured with anemometer on nacelle and converted to undisturbed wind
 Neben einer wesentlich geringeren Streuung der Meßwerte, bedingt durch den "direkteren" Zusammenhang zwischen Leistung und Wind unmittelbar an der Anlage, ist der Umschalt- punkt der WKA (kleine/große Drehzahlstufe) deutlich zu erkennen. Führt man eine Bin-Mittelung der Rohdaten

entsprechend den Richtlinien [3] durch, so zeigt sich die gute Übereinstimmung der beiden Leistungskennlinien.

Vergleich der Leistungskurven WKA 8

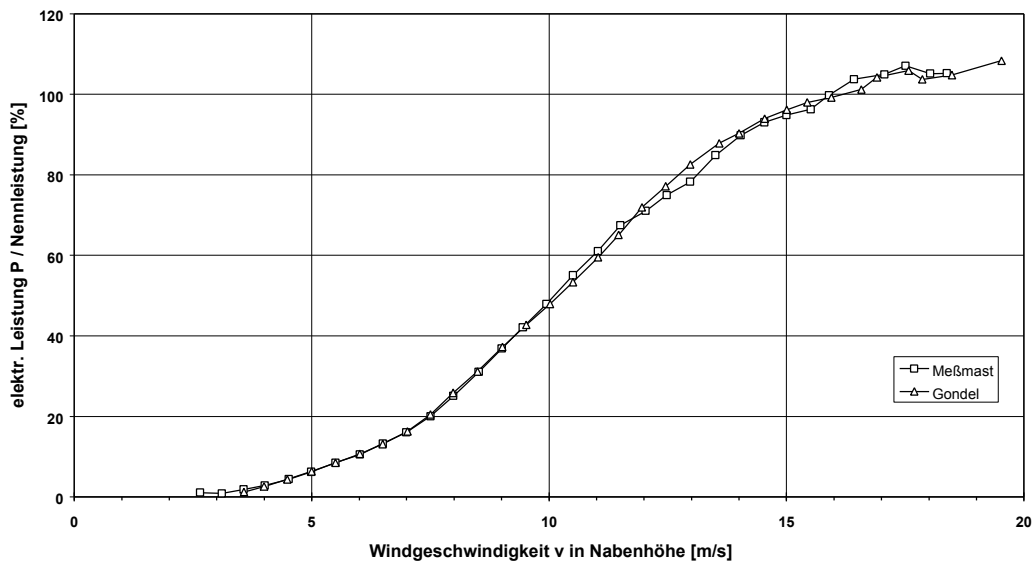


Abb. 6: Vergleich der Bin-gemittelten Leistungskurven für Meßmast und Gondelanemometer
Fig. 6: Comparison of Bin-averaged power curves for mast and nacelle anemometer

Ein weiterer Vorteil der Ermittlung der Leistungskurve mit kalibrierten Gondelanemometern ist die geringere Abhängigkeit von der Windrichtung, da bei Abschattungseffekten sowohl der Rotor als auch das Gondelanemometer beeinträchtigt werden. Dies ermöglicht eine nahezu umfassende Überprüfung der Anlagenkennlinien in einem Windpark mit relativ einfachen Mitteln. Abb. 7 zeigt die Leistungskurve für einen Windrichtungssektor, bei dem die Anlage 8 ständig im "Schatten" anderer Anlagen steht (300° - 120°).

Leistungskurve WKA 8 mit Gondelanemometer
Windrichtungssektor 300° - 120°

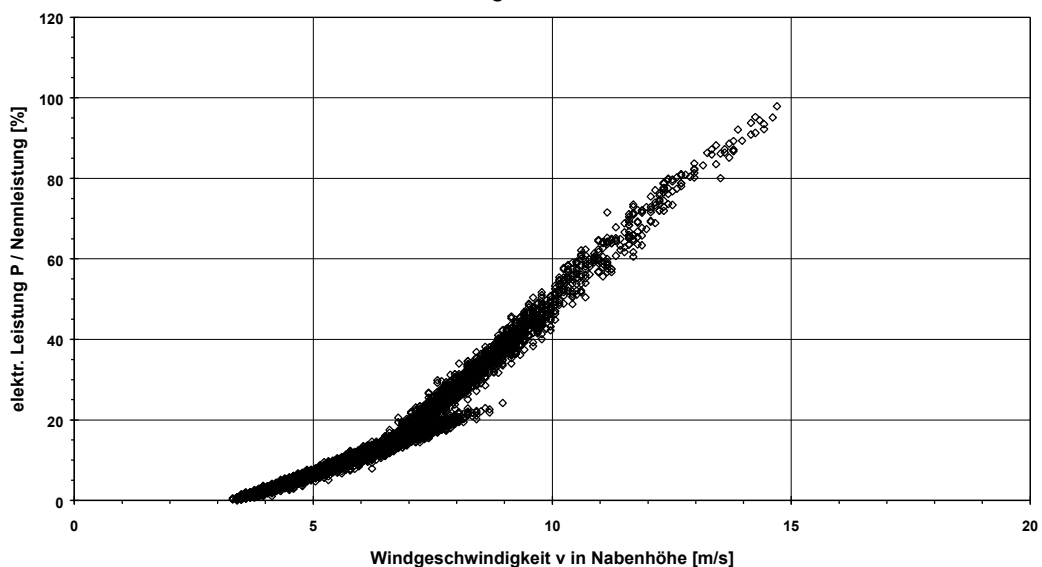


Abb. 7: Leistungskurve mit Gondelanemometer (Windrichtungssektor 300° - 120°)
Fig. 7: Power curve with anemometer on nacelle (wind direction: 300° - 120°)

Abschattungseffekte, die einen Einfluß auf die Leistungskennlinie haben, indem z.B. nur Teile des Rotors oder nur das Gondelanemometer gestört werden, sind jedoch nicht völlig auszuschließen. Deshalb sollten für einen Vergleich der Leistungskurven immer Daten aus dem selben, möglichst unbeeinflussten Windrichtungssektor verwendet werden.

An dieser Stelle muß auch darauf hingewiesen werden, daß die Ermittlung der obigen Gleichung für den Zusammenhang zwischen Gondelanemometer und Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe streng genommen nur für diese eine Anlage gilt. Wenn jedoch die Anordnung des Anemometers auf der Gondel für einen WKA-Typ immer identisch ist und außerdem kalibrierte Gondelanemometer verwendet werden, besteht die Möglichkeit, diesen Zusammenhang z.B. im Rahmen einer Leistungskurvenvermessung für einen Anlagentyp zu ermitteln und somit auch für weitere Anlagen des gleichen Typs zu verwenden. Dies bietet den Herstellern von Windkraftanlagen die Möglichkeit, dem Kunden beim Verkauf einer Anlage eine einfache Überprüfung des Anlagenverhaltens im Laufe der Zeit zu gewährleisten und somit aufgetretene Änderungen schnell zu erkennen.

5. Zusammenfassung

Die Messungen in einem Windpark haben gezeigt, daß es möglich ist einen Zusammenhang zwischen der Windgeschwindigkeit auf der Gondel (hinter dem Rotor) und der Windgeschwindigkeit in der freien Anströmung (vor dem Rotor) zu ermitteln. Dieser Zusammenhang ist unabhängig von der Drehzahl des Rotors, was durch andere Messungen an einer drehzahlvariablen Anlage bestätigt wurde. Dem Hersteller bietet die Leistungskurvenvermessung mit dem Gondelanemometer die genaue Ermittlung des Umschaltpunktes (bei WKA mit zwei Drehzahlstufen). Des weiteren besteht sowohl für den Hersteller als auch für den Betreiber die Möglichkeit, eine Änderung des Anlagenverhaltens durch einen Vergleich der Leistungskurven zu erkennen und somit eine dauerhaft optimale Anlageneinstellung zu gewährleisten. Der Hersteller kann außerdem die Leistungskurve seiner errichteten WKA auch im komplexen Gelände ohne eine aufwendige "Site Calibration" überprüfen. Ebenso ist es für den Hersteller beim Export in Länder, in denen es üblich ist, jede einzelne Windkraftanlage im Rahmen der Lieferung zu vermessen, von Vorteil, diese Vermessung kostengünstig durchführen zu können.

6. Literatur

[1] Datenblätter für die Landesförderung. Deutsches Windenergie-Institut: 1995.

[2] ALWIN for Windows[®]. Deutsches Windenergie-Institut, Ammonit GmbH: 1995.

[3] IEA. Recommended practices for wind turbine testing and evaluation. 1. Power performance testing. Risø National Laboratory, Roskilde, 2. Edition 1990.