

Leistungs- und Betriebsverhalten des Aeolus II

Power performance and operational characteristics of the Aeolus II

Albers, Axel; Hinsch, Christian; Klug, Helmut; Westermann, Dieter; DEWI

Summary

In October 1993 the large scale wind turbine Aeolus II (rotor diameter 80 m, rated power 3000 kW), which is erected at the North Sea coast near Wilhelmshaven, Germany, started operation. In commission of the turbine's owner, the German electricity supplier PreussenElektra, the German Wind Energy Institute (DEWI) performs long term investigations of the power performance and operational characteristics. Basic results from the period 01.01.94-30.06.95 are presented in this report. In contrast to many other large scale wind turbines the Aeolus II showed satisfactory operational statistics. No major damage occurred during the report period. The turbine's availability from January 95 to June 95 reached 91.8 %.

1. Einleitung

Im Oktober 1993 wurde die Großwindkraftanlage Aeolus II mit einem Rotordurchmesser von 80 m und einer Nennleistung von 3000 kW nahe Wilhelmshaven in Betrieb genommen. Das DEWI ist mit mehreren Projekten an der Evaluierung der Erkenntnisse aus dem Betrieb dieser Windkraftanlage (WKA) beteiligt. Zum einen wurde das DEWI von dem Betreiber der WKA, der PreussenElektra, mit der Vermessung des Leistungs- und Betriebsverhaltens beauftragt. Erste Ergebnisse aus diesem Meßprogramm werden in diesem Bericht dargestellt. Zum anderen wird im Rahmen eines von der Europäischen Gemeinschaft unterstützten Forschungsvorhabens, unter Beteiligung des DEWI, ein Vergleich des Aeolus II mit seiner auf Gotland, Schweden, installierten Schwesteranlage Nässuden II durchgeführt. In diesem Projekt sind, neben einem Vergleich der Leistungscharakteristiken, Messungen am Rotor auftretender mechanischer Lasten sowie Messungen der Schallabstrahlung beider WKA vorgesehen.

2. Aeolus II, technische Daten und Standort

Technische Daten	
Hersteller	MBB
Nennleistung	3000 kW
Nabenhöhe	92 m
Rotordurchmesser	80 m
Rotorposition	Luv
Anzahl der Rotorblätter	2
Leistungsbegrenzung	Pitch
Drehzahl ¹	11-21 1/min
Turm	Stahlbeton
Masse Rotorblatt	8·10 ³ kg
Masse Gondel, komplett ausgerüstet	95·10 ³ kg
Masse Turm	141·10 ³ kg

Der Aeolus II ist im Jade-Windpark nördlich von Wilhelmshaven, ca. 5 km westlich der Nordseeküste, plaziert. Nördlich des Aeolus II befinden sich drei Windkraftanlagen vom Typ Monoporteros 50 (Nennleistung je 640 kW, Rotordurchmesser 56 m). Die Umgebung ist durch flaches Gelände gekennzeichnet.

Zur Ermittlung der Windverhältnisse an dem Standort dient ein DEWI-eigener 130 m hoher Windmeßmast, welcher etwa 1 km nördlich des Aeolus II errichtet ist. Im Jahre 1994 wurden folgende meteorologische Eckdaten auf 92 m Höhe aufgezeichnet:

mittlere Windgeschwindigkeit 7.9 m/s

¹ vom DEWI 1994 gemessen

mittlere Energieflußdichte	523 W/m ²
mittlere Luftdichte	1.233 kg/m ³
mittlere Turbulenzintensität	9 %.

Die Hauptwindrichtung am Standort ist Südwest. Die in 1994 gemessenen Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen sind in Abb. 1 bzw. Abb. 2 dargestellt.

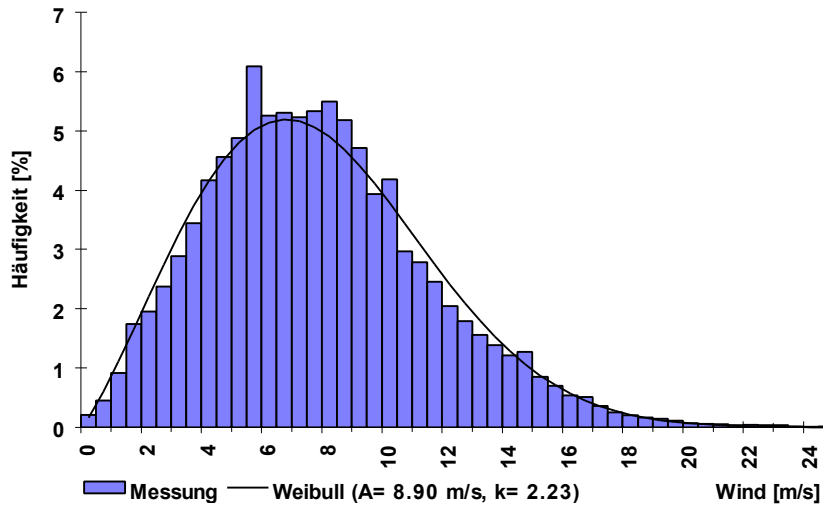


Abb. 1: Verteilung der Windgeschwindigkeiten 1994 auf einer Höhe von 92 m.
 Fig. 1: Distribution of wind speeds 1994 at 92 m height.

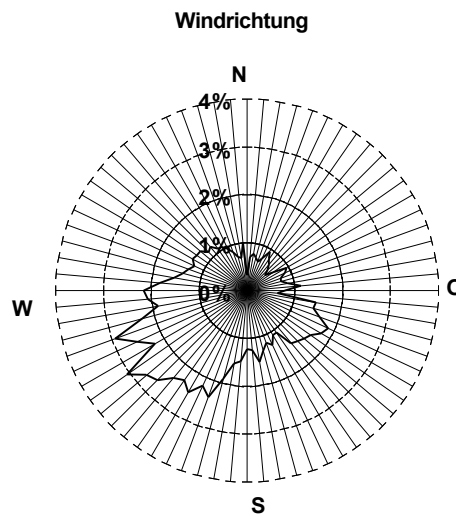


Abb. 2: Windrichtungsverteilung 1994.
 Fig. 2: Distribution of wind directions 1994.

3. Gemessene Leistungskurve

Das Leistungsverhalten des Aeolus II wird vom DEWI in Anlehnung an die ECN - Empfehlung [1], die IEA - Empfehlung [2] sowie an das „Standardisierte Meßprogramm für Windkraftanlagen“ [3] ermittelt. In Abb. 3 sind die bin-gemittelte Leistungs- und Leistungsbeiwertkurve aus dem Meßzeitraum 01.01.1994-30.06.1995 wiedergegeben. Auf Basis dieser Leistungskurve wurde entsprechend der IEA-Empfehlung unter der Annahme hypothetischer Windverteilungen und hundertprozentiger Verfügbarkeit der Windkraftanlage der Jahresenergieertrag prognostiziert (siehe Abb. 4). Der Fehler des vorhergesagten Jahresenergieertrags wurde anhand der Unsicherheit der Leistungskurve abgeschätzt.

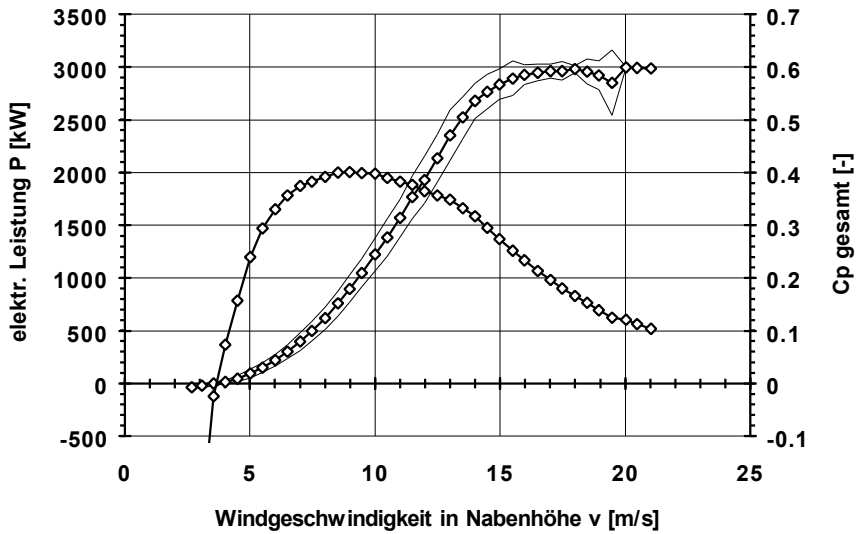


Abb. 3: Bin-gemittelte Darstellung der elektrischen Leistung und des Leistungsbeiwerts des AEOLUS II als Funktion der Windgeschwindigkeit. Die Binbreite beträgt 0.5 m/s. Es wurden nur Daten verwendet, bei deren Aufzeichnung die WKA netzgekoppelt war. Die Bänder oberhalb und unterhalb der Leistungskurve stellen die Standardabweichung im jeweiligen Meßintervall dar. Meßzeitraum: 01.01.1994-30.06.1995.

Fig. 3: Bin averaged power curve of the Aeolus II. Bin width: 0.5 m/s. Only data with grid connection of the wind turbine were considered. The standard deviation of each wind speed interval is indicated by the bands above and below the power curve. Measuring period: 01.01.1994-30.06.1995.

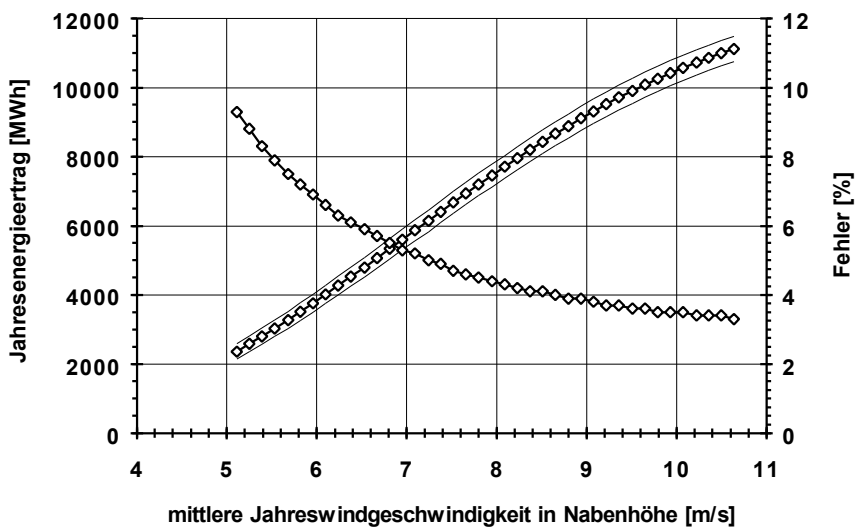


Abb. 4: Errechneter Jahresenergieertrag des AEOLUS II in Abhängigkeit von der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit (bezogen auf Nabenhöhe, Verfügbarkeit = 100 %) sowie die mögliche Abweichung, die sich auf Grund der Meßunsicherheit der Leistungskurve ergibt. Als Windverteilung wurde entsprechend der IEA-Empfehlung eine Rayleighverteilung angenommen. Grundlage ist die Leistungskurve vom 01.01.1994-30.06.1995 (siehe Abb. 3).

Fig. 4: Calculated annual energy yield of the Aeolus II and its inaccuracy as function of the average annual wind speed at hub height. The calculations are based on the power curve from 01.01.1994-30.06.1995 (Fig. 3) and, according to IEA recommendations, on Rayleigh wind speed distributions and 100% turbine availability.

Die Leistungskurve des Aeolus II von 1994 endet bei einer Windgeschwindigkeit² von ca. 21 m/s. Dieses Anlagenverhalten ist auf die Auslegung der mechanischen Rotorbremse zurückzuführen. Die mechanische Bremse muß bei Versagen des Pitchsystems die Anlage aus allen Betriebszuständen

² im 15-Min.-Mittel

sicher abbremsen können. Das vorgesehene Bremsmoment wird jedoch nicht erreicht, so daß der Aeolus II bereits bei einer Windgeschwindigkeit von 20 m/s (anstatt des Planwerts von 25 m/s) abgeschaltet werden muß.

Der Aeolus II erzeugt seine Nennleistung ab einer relativ hohen Windgeschwindigkeit² von ca. 16 m/s. Dies ist begründet in der hohen flächenspezifischen Leistungsauslegung von 597 W/m². Bei einer Bewertung der Auslegung des Aeolus II muß jedoch berücksichtigt werden, daß diese hohen Windgeschwindigkeiten wegen der großen Nabenhöhen auch vergleichsweise häufig vorkommen (vergl. Abb. 1). Im unteren Windgeschwindigkeitsbereich verhält sich die Leistungskurve deutlich besser als erwartet. Der Anlauf der WKA erfolgt bereits bei einer Windgeschwindigkeit² von ca. 3,5 m/s (Sollvorgaben 6 m/s). Im Teillastbereich wird über einen großen Windgeschwindigkeitsbereich ein günstiger Leistungsbeiwert C_p von ca. 0.4 erreicht.

4. Betriebsergebnisse

Vom 1. Januar 1994 bis 30. Juni 1995 hat Aeolus II folgende Produktionsdaten erreicht³:

Netzeinspeisung	8734.682 MWh
mittlere Nettoleistung	676.249 kW
mittlerer Ausnutzungsgrad	22.542 %

In Abb. 5 ist die monatliche Energiebilanz zusammenfassend dargestellt. In dem betrachteten Zeitraum war der monatliche Verlauf der Energieproduktion stark geprägt durch die jahreszeitliche Schwankung des Windangebots. Allerdings machte sich im März und April 1994 eine Störung des Anlagenbetriebs nachhaltig bemerkbar. Die maximale Leistung mußte während des betreffenden Zeitraums wegen eines bei Bauarbeiten mechanisch beschädigten Energiekabels auf 2400 kW beschränkt werden. Bei den hervorragenden Windverhältnissen im März 1994 (Rekordmonat des Jahres 94, mittlere Windgeschwindigkeit 10.6 m/s auf Nabenhöhe) wurde diese Leistungsbegrenzung häufig aktiv.

Der Betriebszustand des Aeolus II konnte vom DEWI im Zeitraum 01.01.94 bis 30.06.95 über 12413 Stunden, entsprechend 94.72 %, aufgezeichnet werden. Während dieser Zeit betrug die

Netzkoppeldauer ⁴ :	9305 h	75.0 %
Stillstandsdauer durch Störungen ⁵ :	712 h	5.7 %
Dauer anderer Stillstände	2396 h	19.3 %

Zu den nicht störungsbedingten, „anderen“ Stillständen zählen Stillstände aufgrund von zu schwachem oder zu starkem Wind für netzgekoppelten Betrieb der Windkraftanlage sowie wartungsbedingte Stillstände. Seit Oktober 94 können die entsprechenden Stillstandszeiten des Aeolus II unterschieden werden. Im Zeitraum 01.01.95 bis 30.06.95 betrug die

Netzkoppeldauer ⁴ :	3453 h	79.5 %
Stillstandsdauer durch Flaute ⁶ :	534 h	12.3 %
Stillstandsdauer durch Wartungen	139 h	3.2 %
Stillstandsdauer durch Störungen ⁵	218 h	5.0 %

³ Die Daten wurden vom DEWI gemessen. Die Energiemessung des DEWI war nur während 98.23 % des betrachteten Zeitraums verfügbar, so daß die tatsächlichen Produktionszahlen von den oben genannten leicht abweichen. Nach Angaben der PreussenElektra betrug die Netzeinspeisung im betrachteten Zeitraum 8914.571 MWh.

⁴ ohne Zeiten des Abfahrens bei einsetzenden Störungen

⁵ inklusive Zeiten des Abfahrens bei einsetzenden Störungen

⁶ oder zu viel Wind für netzgekoppelten Betrieb

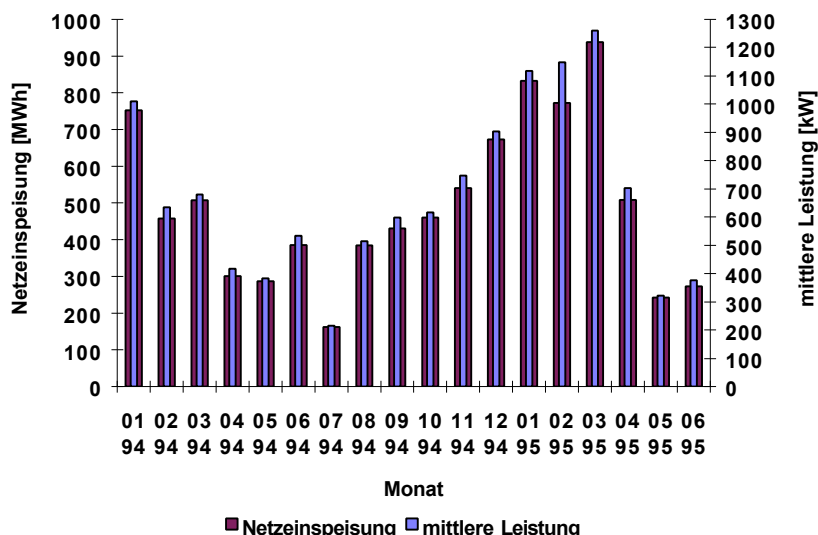


Abb. 5: Monatliche Netzeinspeisung und mittlere Nettoleistung vom 01.01.94-30.06.95. Für den Monat Februar 94 wurden wegen Ausfällen der Meßtechnik die Angaben der PreussenElektra übernommen.

Fig. 5: Monthly energy production and average net power during 01.01.94-30.06.95. Because of malfunctioning of the measuring equipment during February 94 data provided by the PreussenElektra are displayed.

Für das erste Halbjahr 1995 ergibt sich eine technische Verfügbarkeit der WKA von 91.8 %. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß es sich bei dem Aeolus II um einen Prototypen in bisher nur in wenigen Anlagen gebauter Größe handelt, ist dies ein hervorragender Wert.

5. Schlußbetrachtung

Die ersten eineinhalb Betriebsjahre absolvierte der Aeolus II ohne schwerwiegende Schäden mit einer Zeitverfügbarkeit und Netzkoppeldauer, die fast an Werte mittelgroßer Serienanlagen heranreicht. Wie zahlreiche Gegenbeispiele zeigen, ist dies für einen Prototypen dieser Größe keineswegs selbstverständlich. Auch die Leistungsbeiwertkurve kann, abgesehen vom Abschaltverhalten bei bereits ca. 20 m/s Windgeschwindigkeit, mit denen von Serienanlagen der Größenkategorie 500-600 kW konkurrieren. Aufgrund dieser eindrucksvollen Ergebnisse darf wieder auf eine optimistischere Zukunft von Großwindkraftanlagen gehofft werden.

6. Literatur

- [1] ECN. Recommendations for a European wind turbine standard on performance determination. Netherlands Energy Research Foundation, July 1989
- [2] IEA. Recommended practices for wind turbine testing and evaluation. 1. Power performance testing. Risø National Laboratory, DK 4000 Roskilde, 2. Edition 1990
- [3] Entwicklung eines standardisierten Meßprogramms für Windkraftanlagen. 2. Teilbericht zum Forschungsvorhaben der PreussenElektra AG „Nutzung der Windenergie mit großen Windkraftkonvertern“ (Planungsphase). BMFT-Förderkennzeichen 0328847A, 1989