

Furtwangen den 22.08.2010

WEMOTEC UG  
(haftungsbeschränkt)  
Sommerbergstr. 31  
78120 Furtwangen

[www.wemotec.net](http://www.wemotec.net)

Tel. 07723-50422-80 - Email: [info@wemotec.net](mailto:info@wemotec.net)

## **Vermessung des Generators der Black 300 Windkraftanlage.**

### **Vorwort**

Viele Kleinwindräder bzw. Kleinwindkraftanlagen die heute serienmäßig hergestellt werden stammen oft aus kleinen Bastlerstuben und von findigen Tüftlern die sich ganz dem Thema Windkraft verschrieben haben. Es ist vielmals der jahrelangen Kleinarbeit dieser Leute zu verdanken dass inzwischen recht brauchbare „Micro-Turbinen“ am Markt sind. Der hier vermessene Generator stammt aus einem Black 300 Windrad der Vertriebsfirma „preVent GmbH“ ([www.prevent-germany.com](http://www.prevent-germany.com))

### **Zum „Black 300“**

Verfolgt man verschiedene Foren aus dem Bereich Windkraft so fällt einem sehr schnell das „Black 300“ der „preVent GmbH“ auf. Es wird von seinen Anwendern sehr gelobt. Außerdem kann man dem Windrad einen sehr günstigen Anschaffungspreis bescheinigen.

Das Windrad wird in einer 12, 24 oder 48 Volt Variante geliefert. Zur Vermessung haben wir uns für die 12 Volt Version entschieden. Wirkungsgradtechnisch sind zwischen den verschiedenen Versionen nur sehr geringe Unterschiede zu erwarten. Diese stammen einerseits aus den bei höheren Windungszahlen größeren Isolationsanteil der Wicklung, werden aber andererseits wieder durch geringere Gleichrichterverluste aufgrund des niedrigeren Stromes wettgemacht.

### Technische Details zu den Spannungsvarianten:

Bei einer gewünschten Verdopplung der Spannung bei identischer Drehzahl muss die Windungszahl verdoppelt werden. Da der Wickelraum im Generator aber gleich bleibt, erfolgt eine Reduktion des Drahtquerschnittes auf mindestens die Hälfte. Dies hätte für sich alleine betrachtet bereits eine Verdopplung des Innenwiderstandes zur Folge.

Da aber auch die Drahtlänge im selben Faktor zunimmt, steigt der Innenwiderstand der Wicklung ( $R_l$ ) mit Faktor 4 bei einer Verdopplung der Windungszahl bzw. der resultierenden Generatorspannung.

Ebenfalls im Quadrat berechnen sich Kupferverluste die durch den eingepprägten Strom resultieren (Verluste in  $W = R \cdot I^2$ )

Bei Verwendung des Generators mit doppelter Spannung muss für die selbe Abgabeleistung nur noch der halbe Stromfluss erfolgen. Dadurch sinkt das Ergebniss aus „ $I^2$ “ auf ein Viertel ab und im Gegenzug erhöht sich „ $R$ “ um 4.

Die Verluste in der Wicklung bleiben also konstant. Somit lassen sich auch die Wirkungsgrade auf die verschiedenen Spannungsvarianten des Generators übertragen.

Der Innenwiderstand des 12V Generators beträgt 0,53 Ohm jeweils von Phase zu Phase gemessen. Für ein 300 Watt Windrad ein sehr guter Wert. Daraus ließe sich bereits ein theoretischer maximal möglicher Wirkungsgrad ermitteln. Allerdings sind die ohmschen Verluste auch bei einem sogenannten „Eisenlosen Generator“ nur ein Teil der gesamten Verluste. Hinzu kommen Reibung/Lagerverluste sowie Eisenverluste. Ebenfalls sind in den Messungen die Verluste des Gleichrichters enthalten.

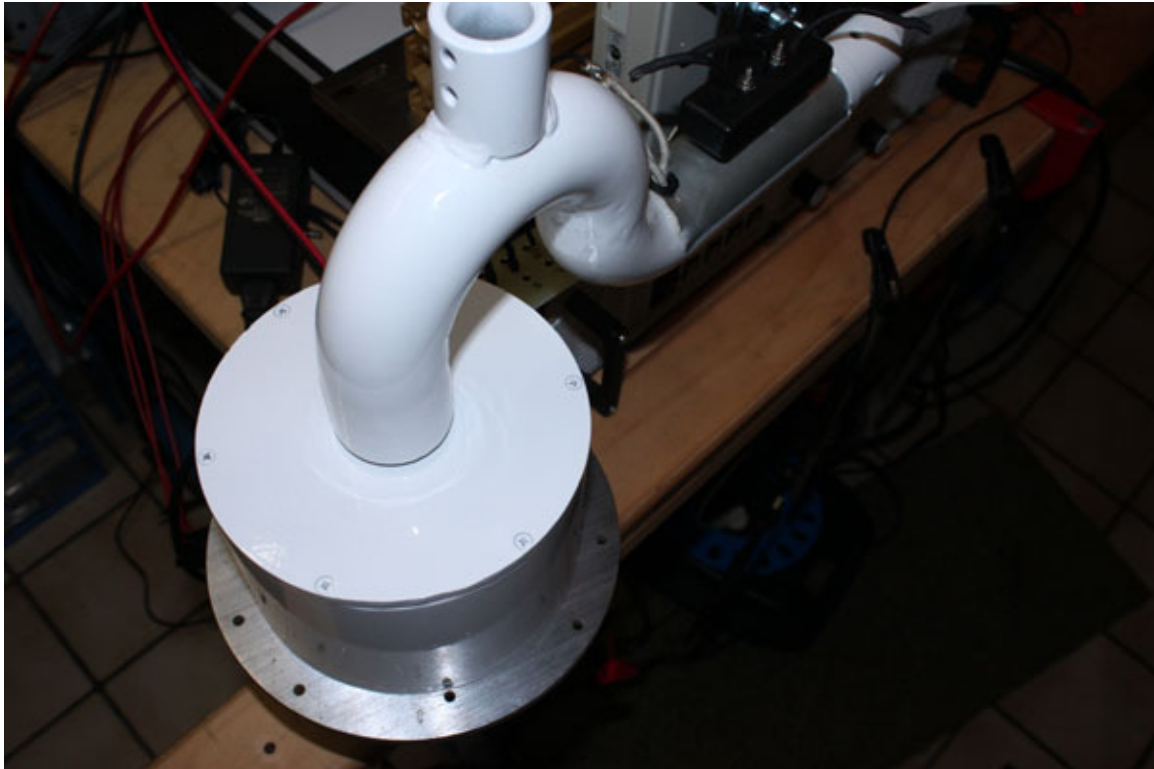
### Meßaufbau

Da wir es ganz genau wissen wollen was der Generator des Black 300 wirklich leistet, musste etwas improvisiert werden. Der Generator konnte aufgrund der fehlenden Welle nicht direkt auf unseren normalen Meßstand aufgebaut werden. Statt dessen wurde ein normaler Arbeitstisch verwendet.

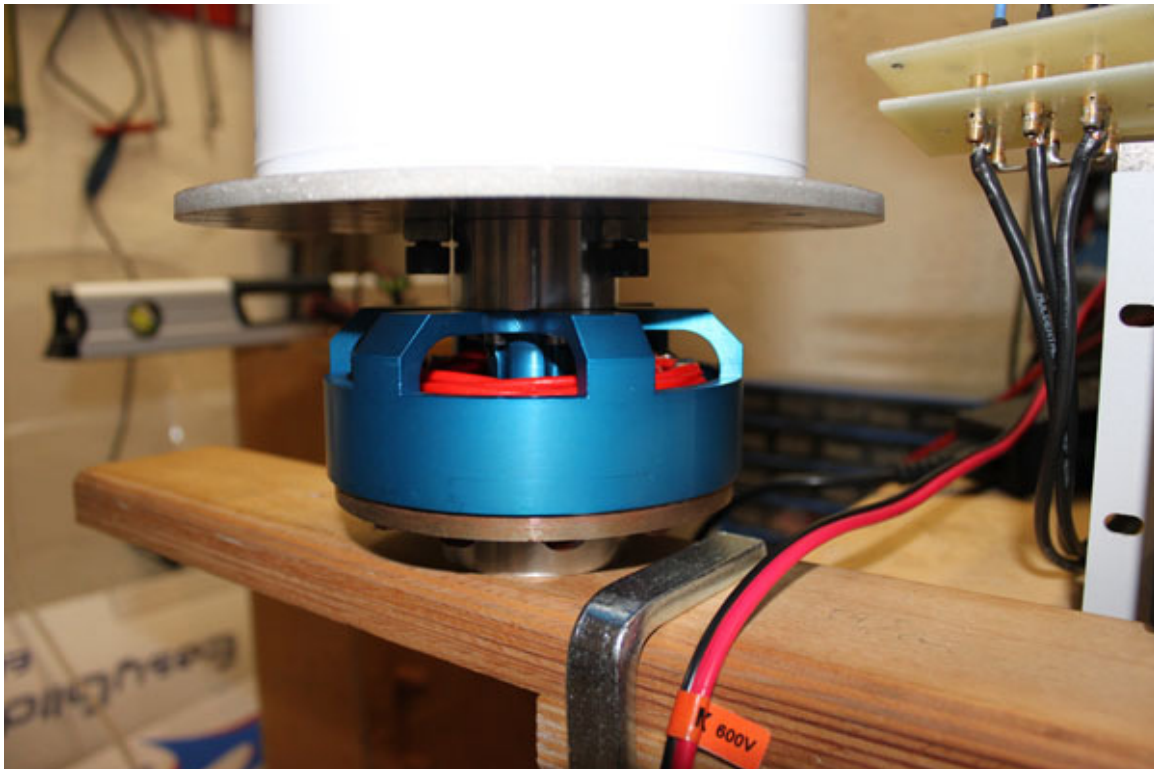
Als Antrieb wurde ein Motor vom Typ „Flyware BigRex 1240-100“ benutzt. Dieser sitzt flach liegend auf einem stabilen Holzbrett. Über eine 6mm starke Adapterscheibe wurde der Generator direkt auf den Motor geschraubt und nach Ausmittlung zur Motorachse angezogen. Die Schleifkontakte wurden deaktiviert .

Die Generatorkabel gehen über ein Steckfeld mit 6 qmm Silikonkabel direkt auf den hochwertigen 3-Phasen Schottky Brückengleichrichter. Die gleichgerichtete Spannung wird über ein Multimeter vom Typ „Agilent U1251A“ gemessen. Die Strommessung erfolgt ebenfalls über ein Multimeter vom Typ „Agilent U1251A“. Allerdings wird hierzu ein spezielles Zangenamperemeter Typ PAC11 von „Chauvin Arnoux“ vorgeschaltet. Dieses gibt pro Ampere eine Spannung von 10mV aus.

Nanu wo sitzt denn nur der Antriebsmotor ???



Ahh hier also....



...deutlich kleiner und nur 1/5 vom Generatorgewicht. Aber durch den 32-poligen Aufbau Drehmoment genug. Zumindest für den 300 Watt Generator.

Mit den oben beschriebenen Messgeräten lassen sich schon mal über Spannung und Strom die Abgabeleistungen des Generators sehr genau ermitteln. Jetzt muss nur noch der Generator entsprechend belastet werden können. Hierzu wurde unsere „Elektronische Last“ vom Typ BFC 2000 vom Hersteller „Elektro Automatik“ aus unserem normalen Meßstand ausgebaut.



Dieses Gerät kann den Generator mit einem stufenlos einstellbaren Strom belasten. Damit die Energie nicht verheizt werden muss, speist das Gerät, ähnlich einem Wechselrichter, direkt ins Netz zurück.

Die Drehfrequenz wird mit einem Speicheroszilloskop vom Typ „Tektronix TDS 2024B“ am Generator erfasst und entsprechend der Polzahl umgerechnet.

Laut Hersteller ist der Generator mit 4 Polpaaren ausgestattet. Die Frequenz muss deshalb mit 15 multipliziert werden um auf die Drehzahl pro Minute zu kommen. ( $RPM = f \cdot 60/4$ )

Um nun letztendlich die tatsächliche Wellenleistung am Generator zu ermitteln muss neben der Drehzahl auch das Drehmoment gemessen werden. Hierzu wird das Gegendrehmoment des Generatorarms benutzt.



Am Festschraubpunkt des Windrades wurde eine Schraube eingedreht die mit einem Abstand von  $\frac{1}{3}$  m aus der Drehachse auf die Wägezelle der „Mettler Toledo Präzisionswaage“ drückt. Durch Umrechnung kann nun das erzeugte Drehmoment direkt ermittelt werden.

Da der Motor zum Antrieb des Generators für das zu erwartende Drehmoment einen hohen Strom benötigt, wurden 2 Netzgeräte vom Typ „MAAS SPS9600“ mit jeweils 15V und 60A bereitgestellt. Alternativ könnte auch noch unser Hochleistungsnetzteil von EA Typ „PS9036“ mit 36V und 80A zum Einsatz kommen.

Als Antriebsregler wurde ein Flyware „PowerMax 60/80“ mit einem Servotester verwendet. (Poti zur Einstellung der Drehzahl)

## Erste Messungen

Da unser normaler Meßstand nicht verwendet werden konnte und die Messungen über eine freitragende Konstruktion erfolgen muss von einem höheren Toleranzbereich der Messungen (ca. 5%) ausgegangen werden. (Normalerweise 1%)

Es wurden Meßreihen für 4 verschiedene Drehzahlen durchgeführt. Diese sind 375, 500, 750 und 1000 RPM. Die Drehzahl wurde pro Meßreihe bewusst konstant gehalten bzw. immer nach stärkerer Strombelastung wieder auf den Sollwert eingeregelt. Hierdurch lassen sich später weitere Diagramme über Wirkungsgradverläufe bei verschiedenen Lastkurven relativ einfach ermitteln.

### 375 RPM

---

| Strom<br>Ampere | Spannung<br>Volt | Gewichtskraft<br>Gramm | Drehmoment<br>Nm | Wellenleistung<br>Watt | Abgabeleistung<br>Watt | Wirkungsgrad<br>% |
|-----------------|------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| 0               | 15,8             | 0                      | 0                | 0                      | 0                      | 0,00              |
| 0,5             | 15,38            | 72                     | 0,22             | 8,75                   | 7,69                   | 87,85             |
| 1               | 15               | 130                    | 0,40             | 15,81                  | 15,00                  | 94,91             |
| 1,5             | 14,65            | 197                    | 0,61             | 23,95                  | 21,98                  | 91,75             |
| 2               | 14,25            | 267                    | 0,83             | 32,46                  | 28,50                  | 87,80             |
| 2,5             | 13,9             | 333                    | 1,03             | 40,49                  | 34,75                  | 85,83             |
| 3               | 13,65            | 410                    | 1,27             | 49,85                  | 40,95                  | 82,15             |
| 4               | 13,12            | 540                    | 1,67             | 65,65                  | 52,48                  | 79,94             |
| 5               | 12,5             | 670                    | 2,07             | 81,46                  | 62,50                  | 76,73             |
| 6               | 11,9             | 800                    | 2,48             | 97,26                  | 71,40                  | 73,41             |
| 7               | 11,35            | 923                    | 2,86             | 112,22                 | 79,45                  | 70,80             |
| 8               | 10,76            | 1055                   | 3,27             | 128,27                 | 86,08                  | 67,11             |
| 9               | 10,18            | 1170                   | 3,62             | 142,25                 | 91,62                  | 64,41             |
| 10              | 9,6              | 1300                   | 4,02             | 158,05                 | 96,00                  | 60,74             |
| 12              | 8,5              | 1556                   | 4,82             | 189,18                 | 102,00                 | 53,92             |

---

## 500 RPM

---

| Strom<br>Ampere | Spannung<br>Volt | Gewichtskraft<br>Gramm | Drehmoment<br>Nm | Wellenleistung<br>Watt | Abgabeleistung<br>Watt | Wirkungsgrad<br>% |
|-----------------|------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| 1               | 20,35            | 130                    | 0,40             | 21,07                  | 20,35                  | 96,57             |
| 2               | 19,85            | 265                    | 0,82             | 42,96                  | 39,70                  | 92,42             |
| 3               | 19,5             | 420                    | 1,30             | 68,08                  | 58,50                  | 85,92             |
| 4               | 18,6             | 550                    | 1,70             | 89,16                  | 74,40                  | 83,45             |
| 5               | 17,97            | 680                    | 2,11             | 110,23                 | 89,85                  | 81,51             |
| 6               | 17,67            | 816                    | 2,53             | 132,28                 | 106,02                 | 80,15             |
| 7               | 16,78            | 923                    | 2,86             | 149,62                 | 117,46                 | 78,50             |
| 8               | 16,2             | 1056                   | 3,27             | 171,18                 | 129,60                 | 75,71             |
| 9               | 15,6             | 1170                   | 3,62             | 189,66                 | 140,40                 | 74,03             |
| 10              | 15               | 1320                   | 4,09             | 213,98                 | 150,00                 | 70,10             |
| 12              | 13,8             | 1570                   | 4,86             | 254,50                 | 165,60                 | 65,07             |

## 750 RPM

---

| Strom<br>Ampere | Spannung<br>Volt | Gewichtskraft<br>Gramm | Drehmoment<br>Nm | Wellenleistung<br>Watt | Abgabeleistung<br>Watt | Wirkungsgrad<br>% |
|-----------------|------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| 2               | 30,5             | 260                    | 0,80             | 63,22                  | 61,00                  | 96,49             |
| 3               | 30,13            | 385                    | 1,19             | 93,62                  | 90,39                  | 96,55             |
| 4               | 29,2             | 500                    | 1,55             | 121,58                 | 116,80                 | 96,07             |
| 5               | 28,7             | 630                    | 1,95             | 153,19                 | 143,50                 | 93,68             |
| 6               | 28,3             | 755                    | 2,34             | 183,58                 | 169,80                 | 92,49             |
| 7               | 27,6             | 878                    | 2,72             | 213,49                 | 193,20                 | 90,50             |
| 8               | 27,1             | 1006                   | 3,11             | 244,62                 | 216,80                 | 88,63             |
| 9               | 26,5             | 1140                   | 3,53             | 277,20                 | 238,50                 | 86,04             |
| 10              | 25,6             | 1266                   | 3,92             | 307,84                 | 256,00                 | 83,16             |
| 12              | 24,4             | 1510                   | 4,67             | 367,17                 | 292,80                 | 79,75             |
| 14              | 23,25            | 1754                   | 5,43             | 426,50                 | 325,50                 | 76,32             |

---

## 1000 RPM

| Strom<br>Ampere | Spannung<br>Volt | Gewichtskraft<br>Gramm | Drehmoment<br>Nm | Wellenleistung<br>Watt | Abgabeleistung<br>Watt | Wirkungsgrad<br>% |
|-----------------|------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| 1               | 42,5             | 135                    | 0,42             | 43,77                  | 42,50                  | 97,10             |
| 2               | 41,63            | 264                    | 0,82             | 85,59                  | 83,26                  | 97,28             |
| 3               | 40,80            | 388                    | 1,20             | 125,79                 | 122,40                 | 97,30             |
| 4               | 40,30            | 515                    | 1,59             | 166,97                 | 161,20                 | 96,55             |
| 5               | 39,50            | 645                    | 2,00             | 209,12                 | 197,50                 | 94,45             |
| 6               | 38,90            | 767                    | 2,37             | 248,67                 | 233,40                 | 93,86             |
| 7               | 38,30            | 890                    | 2,76             | 288,55                 | 268,10                 | 92,91             |
| 8               | 37,40            | 1022                   | 3,16             | 331,34                 | 299,20                 | 90,30             |
| 9               | 37,00            | 1166                   | 3,61             | 378,03                 | 333,00                 | 88,09             |
| 10              | 36,68            | 1298                   | 4,02             | 420,82                 | 366,80                 | 87,16             |
| 11              | 35,20            | 1425                   | 4,41             | 462,00                 | 387,20                 | 83,81             |
| 12              | 35,15            | 1574                   | 4,87             | 510,31                 | 421,80                 | 82,66             |
| 13              | 34,50            | 1700                   | 5,26             | 551,16                 | 448,50                 | 81,37             |
| 14              | 33,80            | 1801                   | 5,58             | 583,90                 | 473,20                 | 81,04             |
| 16              | 32,70            | 2033                   | 6,29             | 659,12                 | 523,20                 | 79,38             |

## Fazit

Aus den Messwerten ist ersichtlich dass der Generator aufgrund seines eisenlosen Aufbaus bei geringen Strömen einen wirklich hervorragenden Wirkungsgrad von bis zu 97% erreicht.

Aufgrund der Baugröße und seinem Gewicht von ca. 13,5 Kg resultiert auch der recht niedrige Innenwiderstand von 0,53 Ohm pro Phase. Der niedrige RI wird auch unbedingt benötigt um bei einem entsprechendem Sturm bzw. zu hoher Windlast, durch Kurzschluss der Motorphasen, einen hohen Strom in den Phasenwicklungen zu erzeugen. Das dadurch resultierende Bremsmoment ist direkt proportional mit der Drehzahl.

Bei zu schwach ausgelegten Generatoren mit höherem Innenwiderstand reicht oftmals das Bremsmoment nicht aus um bei Sturm richtig zu bremsen bzw. durch die sich erwärmende Wicklung lässt das Bremsmoment nach und die Drehzahl und Leistung erhöht sich stetig, bis zum Defekt des Generators bzw. des kompletten Windrades.

Durch den massiven Generator des „Black 300“ kann dieser sicherlich auch im Bremsbetrieb einiges vertragen. Bei unseren Messungen wurde jedenfalls keine übermäßige Erwärmung im Dauerbetrieb mit bis zu 500 Watt Abgabeleistung festgestellt.

Das Leistungsverhalten der Repellerblätter kommt dem Wirkungsgrad des „Black 300“ entgegen, da bei höheren Drehzahlen, die bei stärkerem Wind auftreten, der Wirkungsgrad gerade auch bei höheren Strömen ansteigt. (Bsp: 10A - 375 RPM = 60 % / 10A - 1000 RPM = 87 % )

Der Vorteil der Belastbarkeit durch das hohe Gewicht und der großen Oberfläche des Generators hat aber leider auch eine kleine Schattenseite. Durch das hohe Gewicht resultiert auch eine hohe Massenträgheit der bewegten Teile.

Bei entsprechenden starken aber kurzen Windböen muss die Drehzahl des Rotor der Windgeschwindigkeit entsprechend schnell folgen um im Optimum des Wirkungsgrades der Repellerblätter zu bleiben. Durch die hohe Masse des Rotors folgt nun diese Drehzahländerung verzögert und die Blätter sind in dieser kurzen Zeit in einem ungünstigeren Wirkungsgradbereich.

Für die gängigen erhältlichen Wechselrichter und Batterieladeregler mit passivem Gleichrichter ist ein Generator mit hoher Masse zumindest zum jetzigen Zeitpunkt vorzuziehen da die heutigen Geräte mit schnell wechselnden und impulsiven Spannungen und Strömen nicht korrekt umgehen können.

Von der technischen Seite ist jedenfalls an dem Generator der „Black 300 Windkraftanlage“ vor allen zu diesem Preis nichts auszusetzen.

Interessant wäre noch der Vergleich zu unserem verwendeten „Flyware“ Antriebsmotor. Dieser ist ebenfalls als Generator einsetzbar, ist aber in eisenbehafteter Technik und 32-polig aufgebaut. Ein Test als Generator mit Wicklung in 12V Ausführung wird folgen.

Andreas Wehrle

**WEMOTEC UG**

(haftungsbeschränkt)

Sommerbergstr. 31

78120 Furtwangen

[www.wemotec.net](http://www.wemotec.net)

Tel. 07723-50422-80

Fax. 07723-914106

Email: [info@wemotec.net](mailto:info@wemotec.net)

**Vertretungsberechtigter Geschäftsführer:**

Andreas Wehrle

**Registergericht:**

Amtsgericht Freiburg i.Br. - Nummer HRB 704111

**Umsatzsteuer-Identifikationsnummer gemäß § 27 a Umsatzsteuergesetz:**

DE270488956