



Quirlige Burschen

Strom kommt nicht aus der Steckdose, zumindest nicht an Bord einer Fahrtenyacht, haben wir zuletzt im Jahr 2002 festgestellt und sieben kleine Windgeneratoren für den Einsatz auf Yachten vorgestellt. Diesmal hat Georg Seifert in einem sehr aufwändigem Härtetest elf Windgeneratoren gequält

Dieser Satz gilt heute noch mehr als vor vier Jahren, haben sich doch energiehungrige Gerätschaften wie Kühlanlagen, Laptops und Unterhaltungselektronik stark verbreitet und tragen neben der Beleuchtung in hohem Maße zur Entladung der Bordakkus bei. Die Hafengebühren steigen stetig, für den Anschluss des „schwarzen Festmachers“ ist ein zusätzlicher Obulus zu entrichten und so kommt schnell der Wunsch nach einer lauschigen Nacht vor Anker oder der Besuch kostenfreier Liegeplätze, beides ohne Landanschluss, auf. Ganz davon abgesehen dass Liegeplätze abseits der Marinas reizvoller und einfach ruhiger – und in vielen interessanten Fahrtengebieten Yachthäfen rar oder schlicht nicht vorhanden sind.

Scotty, Energie!

Zur Stromerzeugung an Bord sind geeignet: Wind- oder Schleppgeneratoren, Solarmodule (auch Solargeneratoren genannt), motorgetriebene Generatoren (Benzin oder Diesel), oder das regelmäßige Starten der Hauptmaschine, um die leergesaugten Akkus nachzuladen.

Einen motorgetriebenen Generator werden nur wenige Yachten fahren wollen oder aufgrund ihrer hochgerüsteten Ausstattung auch müssen. Die Hauptmaschine laufen zu lassen macht neben stundenlangem Lärm schon aus Kostengründen wenig Sinn. Die für eine Teil- oder gar Vollversorgung notwendige Fläche an Solarmodulen hat niemand an Bord zur freien Verfügung – außer auf einem großen Katamaran.

Bleibt die Windkraft: Ein Windgenerator verursacht nach der Anschaffung jahrelang keine weiteren Kosten. Er lädt zuverlässig die Batterien bei Abwesenheit, am Ankerplatz, nachts und auch bei Regen und Sturm. Und bietet, nach Euro pro Watt gerechnet, die preiswerteste Art der Energieversorgung an Bord, bezogen auf die Investitionskosten und den Ertrag. Womit wir schon mitten im Thema wären.

Welche Leistung ist notwendig?

Im Idealfall ersetzt der Generator den Verbrauch im Laufe eines Tages vollständig. Abhängig von Ihrem Schiff beziehungsweise dessen Ausrüstung, Fahrtgebiet und -dauer sowie Ihrem Energieverbrauchsverhalten kommen hier schnell 100 Amperestun-

den (Ah) am Tag zusammen. Dies ist natürlich nur ein Daumenwert, Ihren spezifischen Bedarf berechnen Sie leicht selbst, siehe auch PALSTEK 5-06, Seite 96.

Die Rotorfläche ist durch nichts zu ersetzen ...

In Abwandlung eines Zitats des Motorradbauers Harley-Davidson gilt bei Windgeneratoren das Fläche, gemeint ist hier die Rotorfläche, durch nichts zu ersetzen ist. Zum besseren Verständnis der Zusammenhänge erst ein wenig Theorie: Die von einem Windgenerator zu erzielende Leistung pro Quadratmeter Rotorfläche in Watt ist

$$0.5 \times 1.225 \times v^3.$$

Die Windgeschwindigkeit in Meter pro Sekunde (m/s) ist v . Einfacher ausgedrückt: Eine Verdoppelung der Windgeschwindigkeit von zum Beispiel 5 m/s auf 10 m/s bewirkt somit eine Verachtfachung der wirkenden

Kraft, eine kaum spürbare Steigerung der Windgeschwindigkeit von 10 m/s auf 11 m/s bedeutet bereits 33 Prozent Energiezunahme.

Weiter kommt auch noch das eingangs angeführte Zitat der nicht zu überlistenden Physik, wonach Fläche durch nichts zu ersetzen ist, zum Tragen. Die dem Wind zu entnehmende Energie ist proportional dem Quadrat des Rotordurchmessers, wobei wir wieder bei den Windgeneratoren angelangt sind. Ein Windgenerator mit einem Rotordurchmesser von 100 Zentimeter hat daher eine vierfach höhere potentielle Leistungsfähigkeit als einer mit 50 Zentimeter, was sich auch in den Leistungsdaten der Anlagen widerspiegelt.

Leistungserwartungen

Was können wir denn nun realistisch betrachtet aus einer mittelgroßen Windkraftanlage an Bord einer Yacht an Output erwarten? Die Statistiken der jährlichen mitleren

Windgeschwindigkeit an Nord- und Ostseeküste geben bezogen auf zehn Meter Meereshöhe eine durchschnittliche Windgeschwindigkeit zwischen 5 m/sec-1 (Ostsee, drei bis vier Beaufort) und 6 m/sec-1 (Nordsee, vier Beaufort) an. Wir haben in den einzelnen Testergebnissen den auf dieser Basis zu erwartenden Ertrag mit aufgeführt.

Arbeitsprinzip kleiner Anlagen

Windgeneratoren bis hin zu 500 Zentimeter Rotordurchmesser sind durchweg permanentmagneterregte mehrpolige Wechselstromgeneratoren und benötigen daher keine Fremdspannung zur Felderregung wie eine Lichtmaschine. Der erzeugte Strom wird über Diodenblöcke gleichgerichtet und kann dann zur Ladung der Bordakkumulatoren dienen. Um keine Schleifkontakte zu benötigen sitzen die Magnete auf dem Rotor, den Stator bilden die stromerzeugenden Kupferspulen. Zur Verringerung der zum Anlaufen

Testablauf

Bei den Überlegungen zum Testablauf schied die Anmietung eines Windkanals schnell aus: Die wenigen frei zugänglichen sind über Monate ausgebucht und exorbitant teuer. Ebenso ausgeschlossen wurde der Aufbau von allen elf am Test teilnehmenden Windmaschinen über Monate auf einer Deichkrone, um die Leistungsfähigkeit bei allen Windgeschwindigkeiten messtechnisch erfassen zu können. So wurde mit der Montage der Generatoren auf einem Fahrzeug eine praktikable Ersatzlösung gefunden, da leicht nahezu jede gewünschte Windgeschwindigkeit simuliert werden kann. Das hier Messfehler durch den Aufwind am Fahrzeugaufbau unvermeidbar sind haben wir billigend in Kauf genommen, aber der Messaufbau und somit Fremdeinflüsse sind für jede Messfahrt identisch und somit vergleichbar.

Für den Einsatz auf dem gewählten Ford-Pritschenwagen baute uns die Firma Dipa aus Lohmar (www.dipa-ship.de) dankenswerterweise eine spezielle Version ihres Windgeneratormastes mit auswechselbaren Adaptern für die unterschiedlichen Mastverbindungen. Dieser Mast wurde mit einer dicken Holzplatte verbolzt, welche wiederum mit Spanngurten auf der Ladefläche festgezurt wurde. So konnten die dynamischen Lasten der drei Meter hohen Konstruktion mit den bis zu 17 Kilogramm schweren Generatoren gut abgefangen werden.

Aus Gründen der Verkehrssicherheit (und der Angst vor einem Strafmandat) mieten wir den Übungsplatz eines Kartsportvereins an – so schnell wie Schumi waren wir aber nicht unterwegs. Leider waren die Geraden nicht lang genug um



die größeren Generatoren voll auszureizen – allerdings sind die Leistungen im Bereich hoher Windgeschwindigkeiten eh nicht das Ziel dieser Meßreihe, sondern der wünschenswert möglichst frühe Ladebeginn sollte genau ermittelt werden. So haben wir denn mehrere „Runden“ auf der Prüfstrecke mit stetig steigender Geschwindigkeit gefahren und immer wieder die Generatoren gewechselt. Jedem Probanden widmeten wir auf der Teststrecke rund eine Stunde. Der Wettergott meint es am Messtag gut mit uns: Der Wind wehte mit moderaten ein bis zwei Beaufort und schaltete ab Mittag auf Flaute.



Die Messtation sieht etwas improvisiert aus. Ist sie auch. Die Daten wurden aber präzise auf die Festplatte geschrieben

Messtechnik

Eine Spannung in Volt zu messen ist kein Problem, sogar den Strom in Ampere kann man von besseren Multimetern bis zu einer gewissen Stärke ablesen. Schwieriger gestaltet sich das Messen von Geschwindigkeit. Zur Vermeidung von Messfehlern durch den Einfluss des Windes kam die Erfassung durch simples Ablesen des Fahrzeugtachos, auch aus Gründen der Toleranz und späten Beginns der ablesbaren Geschwindigkeit, nicht in Betracht. Also haben wir uns bei der Windgeschwindigkeit auf einen Präzisionswindmessgeber mit Tachogenerator verlassen, der auf eine Stange in Höhe des Windgenerators thronte.

Weiterhin scheidet ein manuelles Aufschreiben der Meßwerte aus – wer kann schon drei Zahlen gleichzeitig ablesen und niederschreiben - und das gleich mehrfach pro Sekunde? Die Lösung: Ein Datenlogger am Laptop erfasst auf drei Kanälen je 100 Meßwerte pro Sekunde und schreibt diese direkt auf die Festplatte zur späteren Auswertung. Die Messung der Spannung war direkt ohne Probleme einlesbar, ebenso der Windmessgeber. Vor Schwierigkeiten stellte uns der Strom: Bis zu 40 Ampere wollten wir sicher ohne Abrauchen der teuren Messgeräte aufzeichnen. Der Einsatz eines Nebenwiderstandes löste das Problem noch nicht ganz, der entstehende Spannungsabfall am Shunt war zu gering, ist nur eine Spannungsdifferenz und zudem nicht massefrei. Also wurde mit Hilfe der Fachschule für Technik in Moers ein angepasster Instrumentenverstärker mit eigener symmetrischer Spannungsversorgung berechnet und durch Freund Peter in IC's und Halbleiter gelötet.



Geplant, berechnet, gelötet ...

Die Messelektronik hat auf dem Sitz zwischen Fahrer und Beifahrer Platz und besteht aus:

- dem von vielen Generatorbauern eingesetzten Regler Typ LVM 6TB12
- zwei Lastwiderständen zur Aufnahme des nicht von der im Fußraum installierten 65Ah-Batterie speicherbaren Leistungsüberschusses der Generatoren
- einem Datenlogger zur Speicherung und Übertragung der angefallenen Meßdaten (vier Kanäle zu je 100 Messungen pro Sekunde)
- des speziellen verstellbaren Instrumentenverstärkes zum Abgreifen des Stromes
- einer unter dem Beifahrersitz installierten 65Ah-Batterie
- und dem Laptop, der über den Datenlogger direkt die Messdaten erfaßt und in je eine Datei pro Generator schreibt.

Ein eigenes Problem stellten die sich aus den Meßfahrten ergebenden Datenmengen dar: So fielen pro Generator rund 21.000 Datensätze zu je drei Werten an. Diese per Hand abzugleichen, offensichtliche Messfehler auszusondern und Leistungskurven zu erstellen würde Tage dauern. Nun bin ich als Segler ja gewohnt tagelang See und Wellenspiel zu betrachten, jedoch nicht derartige Zahlenfriedhöfe. So wurde ein befreundeter Physiker mit der Aufgabe betraut per Softwareprogramm eine zeit- und nervenschonende Lösung herbeizuführen.

Die aufwändige Generierung von aussagekräftigen Grafiken verschlang noch einige Tage und ergab in einigen Fällen Abweichungen zu den Herstellerangaben, die mit den Lieferanten geklärt und auf die im Text zu den Generatoren näher eingegangen wurden.

Technisch korrekter wäre die Leistungsangabe in Watt (Volt mal Ampere), wir haben jedoch die gemessenen Ladeströme in Ampere gewählt – so kann der interessierte Yachteigner leichter kalkulieren, welchen Erfolg er mit den verschiedenen Modellen erwarten kann. Wir haben die Angabe der Windgeschwindigkeit in der meteorologisch gebräuchlichen Einheit m/sec-1 gewählt - eine Umrechnungstabelle in die in der Schifffahrt geläufigeren Beaufort und Knoten ist im Testbericht zu finden.

Nicht gemessen haben wir die Lautstärke der einzelnen Generatoren, dies ist von einem motorisierten Fahrzeug aus schlicht nicht sinnvoll möglich.

benötigten Kraft werden bis zu zwölf Magnete/Spulenpaare teilweise schräg zur Laufachse montiert. Die Magnete bestehen vornehmlich aus exotisch klingenden Materialien: Neodymium-Eisen-Boron. Magnete aus diesem Mix sind vierfach wirkungsvoller als Weicheisenmagnete, leider auch rund 30mal teurer, was in Grenzen den Preis dieser kleinen Windkraftwerke erklärt.

Der Strom wird im Generatorkopf erzeugt und von dort über Schleifringe und Abnehmer an die innerhalb des Montagerohres geführten Leitungen weitergereicht, da sich die Generatorköpfe ja mit dem Wind drehen sollen. Weil nun Windgeneratoren im Vergleich zur Rotorachse relativ wenig Drehungen um die Vertikalachse machen, liegt die Haltbarkeit der auswechselbaren Schleifkontakte bei rund zehn Jahren. Neben dem ebenfalls alle sieben bis zehn Jahre fälligen Austausch der Rotorlager sind das die einzigen Servicearbeiten – und zudem nicht einmal teuer.

Nun sind bis auf die kleinsten alle Windgeneratoren durchaus in der Lage bei mehrtägigem Starkwind auch große Akkumulatorenbänke zu kochen und durch Überladung das Leben auszupusten. Um dies zu vermeiden ist ein angepasster Laderegler vonnöten.

Regelungstechnik

Windgeneratoren benötigen interne oder externe Gleichrichter, die für eine Gleichstrom-Ausgangsspannung sorgen. Kontrolliert und eben geregelt wird die Abgabe des Ladestromes über die Ladespannung durch Messung eben dieser (Rutland, LVM) oder durch Unterbrechung des Ladevorganges und Messung der Batteriespannung (Ampair, Air X).

Bei den Reglern von LVM wird beim Erreichen der voreingestellten Ladeschlussspannung die überschüssige Energie über einen Lastwiderstand geleitet und somit „verbrannt“, also in Wärme umgewandelt. Die Widerstände dieser Regeleinheiten müssen an einem belüfteten Ort installiert werden, sie erreichen durchaus 70 Grad Celsius. Alle Generatoren die konstruktionsbedingt nicht ohne Last arbeiten dürfen verwenden diese sogenannten Shunt-Regler.



Einige Windgeneratoren waren in wenigen Minuten zusammengeschrubt, andere erforderten etwas technisches Verständnis. Probleme beim Zusammenbau machte aber keiner der Generatoren

Weiter werden bei Ampair Regler mit einem Spannungssensor verwandt, die bei Erreichen der höchstzulässigen einstellbaren Batteriespannung die Versorgung unterbrechen. Der Laderegler schaltet sich in Intervallen wieder zu und hält die Batterie auf Maximalspannung. Diese Generatortypen müssen schon konstruktiv auf die bei Leerlaufbetrieb entstehenden hohen Spannungen und Temperaturen ausgerichtet sein. Marlec geht bei seinen Rutland-Generatoren einen etwas anderen Weg und schließt bei Überschreiten der Ladeschlussspannung die Statorwicklungen kurz – die Ladung stoppt und der Generator wird gebremst.

Ähnlich arbeitet der interne Regler des Air X Marine, welcher die Rotordrehzahl über Kurzschließen der Statorwindungen elektromagnetisch nach dem Prinzip der Wirbelstrombremse anpassen kann.

Mehrere Batterien ...

Zur Ladung mehrerer Batterien werden häufig Diodenverteiler eingesetzt. Hier kann es zu Problemen kommen. Die Dioden verhindern nämlich die Messung der Batteriespannung – zudem ist der Spannungsabfall an den Diodenbrücken zu kompensieren, was nur bei einstellbaren Reglern möglich ist.

Zur Ladung mehrerer getrennter Akkumulatorensätze wird folglich

der Einsatz eines Relais- oder Thyristorgeschalteten Ladestromverteilers empfohlen, sofern Laderegler mit mehreren Ausgängen nicht verfügbar sind.

... und andere Fragen

Irritation gibt es auch bei der Frage, ob sich nicht die bei Fahrtenyachten oftmals zusätzlich vorhandenen Solarmodule und deren Regelelektronik mit den Windgeneratorreglern gegenseitig beeinflussen, zum Beispiel ein laufender Ladevorgang der Solaranlage bei aufkommendem Wind den Windgeneratorregler veranlasst abzuschalten oder umgekehrt.

Solange die Akkumulatoren nicht voll geladen sind wird hier immer ein Spannungsgefälle von der Spannungsquelle zur Batterie vorhanden sein. Beide Regler messen also noch einen Spannungsunterschied und lassen eine Ladung bis zum Erreichen der eingestellten Ladeschlussspannung zu.

Gel, AGM oder Blei-Säure geeignet ?

Durch die bei fast allen Reglern einzustellende Ladeschlussspannung sind diese sowohl für Blei-Säure-, als auch Gel-, oder AGM-Batterien geeignet. Diese einmalig durchzuführende Justierung sollte ►



Bereits zusammgebaut warten weitere Probanden um ihre Runden auf der Kartbahn zu drehen

bei mindestens fünf Beaufort und vollen Batterien durch Messung der Ladespannung (V) direkt an den Batterien vorgenommen werden, um die korrekte Ladeschlussspannung einzustellen sowie um Leitungsverluste und Übergangswiderstände auszugleichen.

Sturm Stärke 10 – was tun?

Alle Windgeneratorhersteller garantieren das „Überleben“ ihrer Modelle bis zu 60 Knoten Wind oder zwölf Beaufort. Wie aus den Leistungsdiagrammen ersichtlich, steigt die Ladeleistung jedoch oftmals nicht wie zu vermuten stetig an, sondern bricht zumeist ab rund 45 Knoten (neun Beaufort) deutlich ein. Grund ist hier die Optimierung der Rotoren durch die Hersteller auf einen Windbereich um vier bis acht Beaufort, der auf den Passatrouten zumeist angetroffenen Windstärke. Dies hat umgekehrt zur Folge, dass bei hohen Windgeschwindigkeiten eine zu schnelle Rotordrehzahl vermieden werden muss, um zum einen den Generator nicht zu zerstören und zum anderen die Ladespannung nicht in gefährliche Höhen schießen zu lassen.

Die Lösungen der Produzenten sind unterschiedlich: Ampair und Superwind bedienen sich einer mechanisch fliehkraftgesteuerten Rotorblattverstellung. Der Air X setzt auf eine mikroprozessorgesteuerte Drehzahlkontrolle und senkt ab rund 1.000 Umdrehungen die

Drehzahl durch Kurzschließen der Statorwicklungen als Magnetbremse drastisch ab. Die fünf- und sechsbältrigen Generatoren von Ampair, Eclectic, LVM und Rutland schließlich setzen auf das simple Prinzip der Aerodynamik, dass sich dicht hintereinander folgende Rotorflügel ab einer bestimmten Drehzahl in der Anströmung so stören, dass eine gefährlich hohe Drehzahl gar nicht erst nicht aufkommen kann.

Integration

Entscheidend für eine akzeptable Integration in das Gesamtbild Ihres Schiffes ist die Montage der Anlage. Meist seitlich achtern auf einem Mast aufgestellt, bietet sich auch ein über die Schiffsbreite reichender Geräteträger (Goalpost) an – hier können sogar noch Solarmodule und Antennen oder ein Radom untergebracht werden.

Ein laufender Windgenerator macht Geräusche. Auf See gehen diese durch die Strömungsgeräusche an den Rotorblättern verursachten Windgeräusche jedoch unter. Als störend empfunden werden Windgeneratoren zumeist nachts im Hafen oder vor Anker. Ab zirka fünf Beaufort macht sich der Generator eben bemerkbar, ab sieben Beaufort ist das Rigg meist lauter. Und notfalls stellen Sie den Generator eben einfach nachts ab, per Stoppschalter oder Sorgleine. Auch ist die richtige Montage des Gerätes wichtig. Meint: Das in Abhängigkeit

von der Ausführung und Stabilität der Mastenheit mögliche Entstehen von Resonanzschwingungen muss im Vorfeld unterbunden werden. In schwierigen Fällen (lauten Generatoren oder besonders sensiblen Ohren) hilft der Ausrüster mit körperschalentkoppelten Generatormasten oder Aufnahmen.

Zum Vergleichstest

Unser letzter Vergleich kleiner Windkraftwerke im PALSTEK liegt nun vier Jahre zurück – höchste Zeit also mal den hiesig angebotenen Produkten auf den Zahn zu fühlen. Diesmal mit dem umfangreichsten Vergleichstest, der je in einer Fachpublikation stattgefunden hat.

Testmodalitäten und Setup

Vornehmlich interessierte uns die Frage, welche Leistung bei welcher Windgeschwindigkeit die einzelnen Windkraftwerke denn nun liefern. Es sollten nicht nur die Angaben der Hersteller in ihren Produktunterlagen verifiziert werden, vor allem der kritische untere Windgeschwindigkeitsbereich interessierte uns besonders. Wann fangen die Generatoren effektiv an zu laden? Weiter haben wir die Generatoren allesamt aus ihren Versandkartons befreit und anhand der beigelegten Montageanleitung zusammgebaut. Da der Kunde in aller Regel nur einmal pro Schiff einen Generator kauft und installiert, ist die Einfachheit oder Umständlichkeit der Installation zwar kein KO-Kriterium, beeinflusst jedoch die Zufriedenheit mit dem gewählten Produkt.

Relativitätstheorie

Ein wenig muss ich mich jetzt winden: Eine exakte Wissenschaft ist das angewandte Messverfahren (siehe Kasten Messtechnik) leider nicht. Zu stark sind Einflüsse auf die Meßgrößen durch Abwinde am Fahrzeug, Nachlaufen der Windgeneratoren durch die Massesträgheit der Rotoren, Beschleunigen und Abbremsen des Fahrzeuges um am Ende der Bahn nicht aus der folgenden Kurve getragen zu werden. Die Messwerte können also nicht als absolut angesehen werden und



Der DuogenII fühlt sich im Wind und im Wasser wohl. Als Schleppgenerator bringt er bei fünf Knoten Fahrt sechs Ampere Ladestrom (kein Testwert)

weichen teilweise von den Herstellerangaben ab, sind aber durch Ihre Vergleichbarkeit ein Indikator für die Leistungsfähigkeit.

Lautstärke

Nicht messen konnten wir die Geräusentwicklung der Generatoren. Der LKW als Windmaschine ist einfach selbst zu laut, auf eine subjektive Beurteilung haben wir verzichtet. Nur soviel: Die dreiblättrigen Rotoren sind bei höheren Windgeschwindigkeiten je nach Produkt mehr oder weniger wahrnehmbar, die fünf- und sechsflügeligen Vertreter gehen vollständig im Fahrgeräusch unter. Aus eigenen Erfahrungen kann ich sagen, dass ein Windgenerator auf See nicht störend ist, im Hafen mag dies manchmal der Fall sein. Alle Generatoren können jedoch recht einfach durch die Installation eines sogenannten Stoppschalters ruhiggestellt werden. Dieser schließt die Feldwicklungen des Stators kurz und baut ein Magnetfeld auf, dass den Generator nur noch langsam und nahezu lautlos drehen lässt. Dies ist bei allen Generatoren möglich – jedoch ist anzuraten, diese Umschaltung nicht bei wochenlanger Abwesenheit durchzuführen. Einige Hersteller weisen nämlich auf die mögliche Erwärmung der Statorwicklungen bei Starkwindperioden hin und empfehlen, den Generator dann doch manuell (mit einer Sorgleine) festzusetzen.

Vorbereitungen

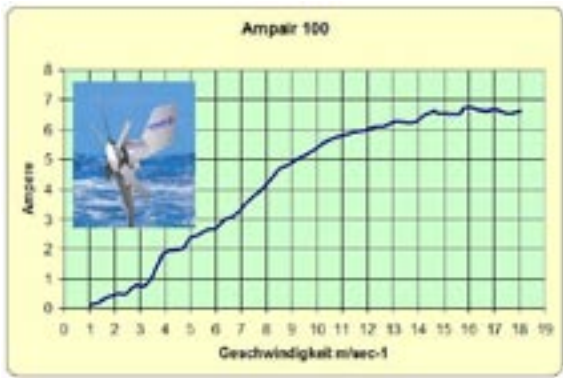
Allen Windgeneratoren gemein ist, dass in der Regel spezielle Werkzeuge wie Innensechskantschlüssel der Lieferung beigelegt sind, die an Bord erwartete Standardausrüstung wie Gabel- oder Ringschlüssel in den gängigen Größen jedoch nicht.

Weiter sollten für die Installation Leitungsmaterial in hinreichender Länge und Stärke, Kabelverbinder und -schuhe, Hammer, Körner, Akkuschauber und Isoliermaterial bereitgelegt werden. Es ist anzuraten die Montage erst nach Vorliegen der in der Regel ausführlichen und bebilderten Montageanleitungen zu planen, um nötigenfalls noch Installationsmaterial beschaffen zu können. Vor allem die Leitungslängen sind mit durchschnittlich wenigen Zentimetern am Generator und ebenso am Regler sicher nicht ausreichend und müssen mit geeigneter Leitung ausreichender Stärke (je nach Generator zwischen 2.5 bis 25 Quadratmillimeter) verlängert werden.

Unsere elf Kandidaten

Ampair

George Durrant, Gründer von Ampair und Altvater der kleinen Windgeneratoren aus Poole in England ist seit nahezu 30 Jahren im Geschäft und mit zwei Modellen in unseren Test vertreten: Dem aktualisierten ►



Das Diagramm zeigt, dass die Ladung bereits bei 2m/sec-1 beginnt

Ampair Pacific 100 und dem neuen Ampair Pacific 300.

Dem Pacific 100 wird Unzerstörbarkeit und leiser Lauf nachgesagt, dieses Modell begründete mit dem konstruktiv gleichen Aquair-Schlepp-generator den guten Ruf bei Langfahrtseglern in aller Welt. Der 100 verfügt über einen sechspoligen Zweiphasen-Wechselstromgenerator mit Ferrit-Permanentmagneten, was seine relativ geringe Leistungsfähigkeit erklärt. Die Gehäuse beider Generatoren sind aus Aluminiumguss, die Lager voll gekapselt und überdimensioniert. Ampair liefert zu seinen kleinen Generatoren Drei-Phasen „Multistage“-Regler mit ein oder drei Ausgängen, die den Generator vom Netz entkoppeln. Ein Regler für den kombinierten Betrieb von Solar- und Windenergie mit zwei Eingängen ist ebenfalls lieferbar. Der Pacific 300 ist eine Neuentwicklung mit fliehkraftgesteuerter simultaner Rotorblattverstellung der drei Flügel, wir konnten das erste Gerät aus der aktuellen Fertigung testen. Der 300 leitet die erzeugte Energie als einziger in der Testrunde als Wechselstrom zu dem Regler, benötigt daher auch drei Leitungen im Mast und einen Gleichrichter. Vorteil ist die leichtere Integration in 230-Volt-Systeme, sicher ein Marktziel des Herstellers.

Ampair 100 Pacific

Die Montage des Ampair 100 gestaltet sich relativ einfach: Nach Entnahme aller Bauteile des zerlegt gelieferten Generators aus einem Karton wird zuerst der Rotor montiert.

Die Rotorflügel werden in gewichtsmäßig abgeglichenen und farbcodierten Paaren geliefert, Unwuchten und



Ampair 100 in Einzelteilen

Geräusche durch wenn auch leichte Gewichtsunterschiede werden so zuverlässig vermieden. Der Zusammenbau ist einfach und wird durch das bebilderte Manual, das mit Explosionszeichnungen und einer kompletten Teileliste versehen ist, gut unterstützt. Auffällig die äußerst stabile Ausführung aller Teile, man ist versucht zu sagen: überdimensioniert. Der Rotorkopf wird auf einen Konus gesetzt und von der Frontseite her mit einer Stopfmutter gesichert. Noch die Windfahne mit drei Schrauben befestigt, fertig zur Montage. Technische Fakten: Der Ampair 100 passt in eine Rohraufnahme von 40 Millimeter Innendurchmesser und hat einen Drehkreis von 465 Millimeter Radius bei einem Rotordurchmesser von 928 Millimeter. Er

wiegt komplett 12,6 Kiogramm und ist in 12 und 24 Volt-Ausführung lieferbar.

Der Ampair 100 erreicht maximal sieben Amperestunden (Ah) Ladestrom, fängt nach unseren Messungen ab 2m/sec-1 bereits zu laden an und erzielt einen durchschnittlichen Ertrag von 55 bis 65 Ampere in 24 Stunden. Äußerst stabil und sehr leise laufend ist er eine gute Wahl für die mittlere Fahrtenyacht.

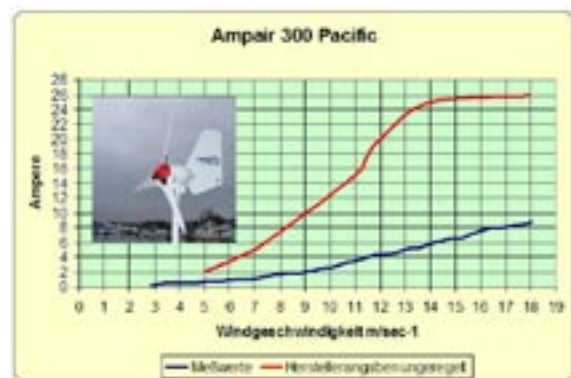
Ampair 300 Pacific

Der mit einem sehr umfangreichen, bebilderten Handbuch versehene Ampair 300 ist in rund fünfzehn Minuten komplett montiert: Zunächst werden die drei Rotorflügel mit der Rotornabe verbunden, der hierfür benötigte Fünf-Millimeter-Innensechskantschlüssel befindet sich im Lieferumfang. Die Rotorblätter werden auf der Nabe besfettigt, die Windfahne montiert und die Montage auf dem Generatormast kann erfolgen.

Ein relevanter Unterschied zu den anderen zehn Windkraftwerken ist die erst nach dem Generator erfolgen-



Hart im Nehmen, der stabile Ampair 300 Pacific



Die rote Linie zeigt die Herstellerangaben, die blaue unsere Messungen. Der krasse Unterschied erklärt sich durch unseren Testaufbau

de Gleichrichtung des produzierten Wechselstromes. Es sind also drei Leitungen vom Montageort zum Gleichrichter/Regler zu legen, ebenso ist der optionale Stoppschalter ein dreipoliger und wird vor dem Gleichrichter eingeschliffen. Weiter verfügt er wie der Superwind 350 über eine Rotorblattverstellung, die mit zunehmender Windstärke die Rotordrehzahl begrenzt, um Drehzahl und Spannung im Rahmen zu halten.

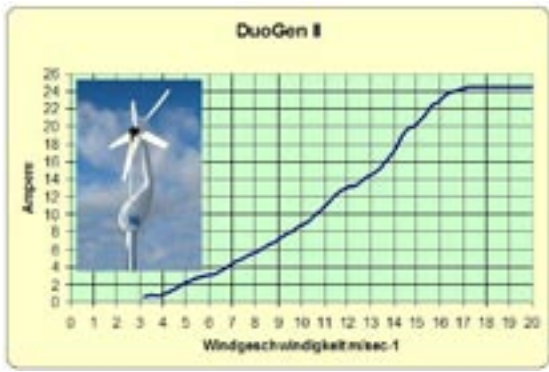
Der Ampair 300 ist ebenso wie sein kleinerer Bruder sehr massiv aufgebaut und lässt die Aussage des Herstellers glaubhaft erscheinen, auch schwere Stürme überleben zu können. Er hat einen Drehradius von 468 Millimeter, einen Rotordurchmesser von 1.200 Millimeter, wiegt komplett zwölf Kilogramm und ist in 12 und 24 Volt erhältlich.

Technische Fakten: Die Mastaufnahme erfolgt auf ein Rohr von 41 Millimeter Innendurchmesser.

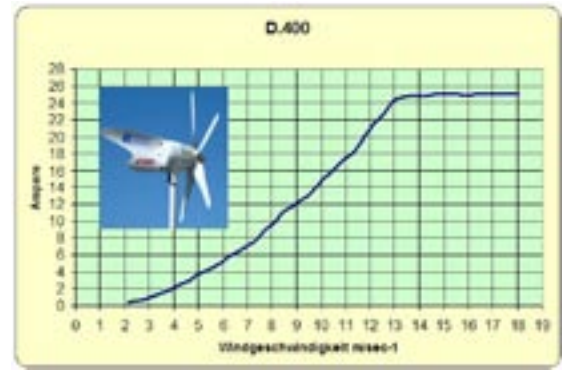
Bei unseren Messungen erreichte der Ampair 300 nicht seine volle Leistung – die Ursache war allerdings in unserem Meßaufbau zu finden. Die dem Ampair zwischengeschaltete Gleichrichter-/Reglereinheit misst den Ladezustand der angehängten Batterie – und die war durch die vorangegangenen Messfahrten mit 12,6 Volt im Ruhezustand bereits relativ voll. Wir haben daher nachfolgend die Herstellerangaben in rot ebenfalls eingetragen: Wie fast alle Windgeneratoren beginnt auch der Ampair 300 bei rund 3m/sec-1 zu laden und erreicht einen maximalen Ladestrom von 27 Ampere. Er erzielt einen durchschnittlichen Ertrag in unseren Breiten von 48 bis 80 Ampere in 24 Stunden. Er ist für höhere Windgeschwindigkeiten als die anderen Modelle konstruiert, was seine massive Bauweise belegt.

Eclectic Energy

Mit dem Kombigenerator DuoGen betraten die Engländer unter Peter Anderson Neuland: Der DuoGen, mittlerweile in der zweiten Generation gereift, wird im Schleppmodus an seinem Haltemast ins Wasser abgesenkt, die Windturbine gegen einen Wasserpropeller getauscht. Dies außergewöhnlich bedie- ■



Die Windwerte des Wind- und Wasser-Generators



Einschränkungen durch unsere Messstrecke

nungsfreundliche Konzept verbunden mit der hohen Leistung speziell als Schleppgenerator verschaffte dem DuoGen trotz des relativ hohen Preises einen festen Platz in der Gemeinde der Langfahrtsegler.

Auf dessen Generator basiert der D.400, als reines Windkraftwerk konzipiert. Das Kraftwerk besteht aus zwölf Magneten und neun Spulen, ein relativ großer Generator. Simpel im Konzept, dabei aber hoch leistungsfähig wird der D.400 als schwarzes „Stealth“-Modell in England häufig für die Energieversorgung und Einspeisung in Energienetze eingesetzt. Der D.400 wird als besonders leise und auf niedrige Windgeschwindigkeiten hin optimiert beworben – was zu prüfen war.

DuoGen II

Die Eigenschaften des DuoGen II als Schleppgenerator werden hier nicht geprüft, nur soviel: er liefert



Anmutiges Design, leider mehr auf Wasserantrieb optimiert

bei drei Knoten Fahrt bereits zwei Ampere, bei fünf Knoten sechs Ampere und bei sieben Knoten zwölf Ampere Ladestrom.

Die Lieferung erfolgt aufgrund der Größe in drei Kartons per Spedition mit Generatorkopf nebst Antrieb, dem Rotorset und dem Wasserpropeller mit Leitwerk. Der Aufbau geht anhand der durchgehend bebilderten Anleitung gut vonstatten, die Rotorblätter werden wie bei einem Puzzle zusammengesteckt und zwischen zwei Mitnehmerscheiben verschraubt. Lediglich das Umsetzen von Wind- auf Wasserbetrieb verbunden mit dem Tausch des Antriebsteils (Wind- oder Wasserturbine) bedarf (kurzer) Übung.

Den DuoGen II gibt es in drei Größen für Schiffe mit einem Freibord (wichtig wegen der Länge und Neigung des Wasserantriebes) zwischen 70 bis 180 Zentimeter Höhe. Er wiegt als Windgenerator rund 19 Kilogramm, hat einen Drehkreis von 550 Millimeter und einen Rotordurchmesser von 1.100 Millimeter. Die Installation benötigt keinen weiteren Haltemast, er wird mit einer Universalhalterung geliefert, sollte aber wegen der wahlweisen Nutzung als Schlepp- und Windgenerator und den damit verbundenen Anforderungen an den Aufstellungsort mit dem Lieferanten vorab besprochen werden.

Der DuoGen II ist in 12 und 24 Volt lieferbar. Wir haben bei unseren Messungen beobachtet, dass die relativ kleine wirksame Fläche des als Windfahne genutzten Haltearms den Rotor gegen die Rotationskräfte des vertikalen Antriebsschaftes nicht immer in Windrichtung halten kann, er weicht im Winkel aus, was erhebliche Einflüsse auf die Leistung



D.400 zeigt Spitzenwerte

hat. Da auf See der Wind relativ beständig aus einer Richtung weht, vor Anker das Boot mit Windrichtungsänderungen den Bug in den Wind drehen empfehlen wir, wie auch auf unserer Montagekonstruktion auf dem LKW durchgeführt, den Generator im Windmodus durch ein Gummiseil oder ähnliches in Windrichtung zu unterstützen.

Technische Fakten: Der effektive Ladebeginn startet bei rund 4m/sec-1, der maximale Ladestrom liegt bei 25 Ampere und unser Durchschnittswert ergibt 48 bis 72 Ampere in 24 Stunden. Der DuoGen II wird sicher ausschließlich von in Langfahrt befindlichen Seglern gewählt, hier ist er aufgrund seiner Doppelnutzung und Effektivität auch zu Hause.

D.400

Der auf dem gleichen Generatorkopf basierende D.400 kommt in zwei Kartons und einer bebilderten Montageanleitung. Die Montage des Rotors ist deutlich aufwändiger als beim DuoGen, hier werden die Rotorflügel mit zwei Aufnahmen verschraubt und auf der Rotorachse festgesetzt – anhand der Bilder aber kein wirkliches Problem. Die Windfahne


wird mit drei Schrauben schnell und sicher befestigt, der Rotor auf die Achse des Generators gesetzt und dort gesichert. Das Aufstecken der Nabenabdeckung erfordert etwas Fingerspitzengefühl – fertig ist der D.400 für den Einsatz.

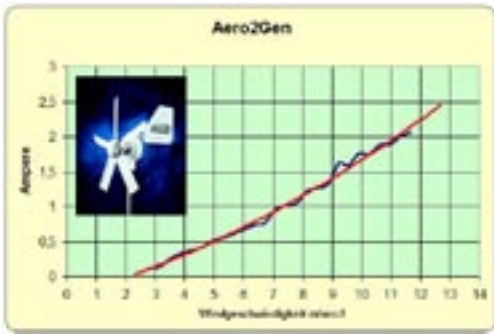
Technische Fakten: Der D.400 wird in ein Rohr mit 42 Millimeter Innendurchmesser eingesetzt, er wiegt 16 Kilogramm bei einem Rotordurchmesser von 1.100 Millimeter und einem Drehkreis von 585 Millimeter.

Die von uns gemessenen Leistungsdaten steigen ab 13m/sec-1 im Gegensatz zu den Vorgaben des Herstellers nicht weiter an – hier schlägt das eingangs besprochene Manko unserer Messstrecke negativ zu Buche. Wir konnten nur für wenige Sekunden maximal 65 km/h schnell fahren, die großen Generatoren benötigen jedoch eine gewisse Anlaufzeit, um Drehzahl aufzunehmen. Zudem halten wir die Leistungsfähigkeit bei relativ schwächeren Winden für wesentlich wichtiger – und hier schlägt sich der D.400 vorbildlich: Ein Ladebeginn unter 3m/sec-1 und ein durchschnittlicher Ertrag von 96 bis 156 Amperestunden sind Spitzenwerte. Ein leistungsfähiger Windgenerator und (subjektiv) leise und laufruhig – eine gute Wahl für die große und energiehungrige Fahrtenyacht.

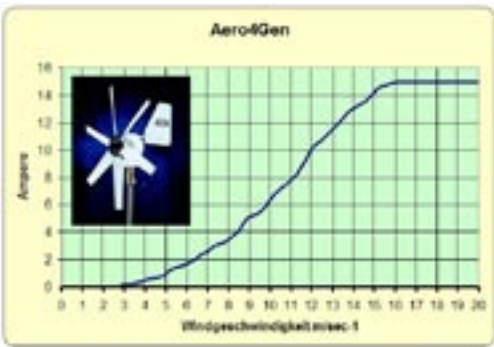
LVM

Seit über 25 Jahren baut LVM in England eine nahezu unveränderte Serie von Wind- und Schleppgeneratoren – die Modelle Aero2Gen, Aero4Gen und Aero6Gen stellen sich hier unserem Testmobil. Der zweite „alte Engländer“ im Bunde spricht von der dritten Generation ihrer Generatoren: So werden bereits hochmoderne Neodymium-Boron Magnete verbaut. Der durch bis zu zwölf Magnetspulenpaare erzeugte dreiphasige Strom wird durch Diодensätze bereits im Generatorgehäuse gleichgerichtet.

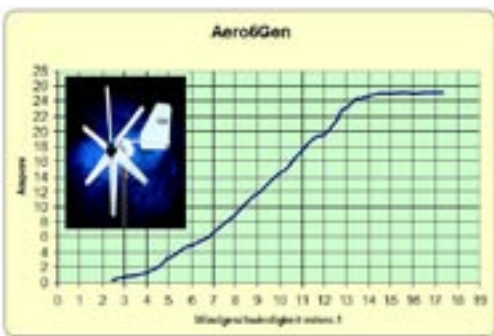
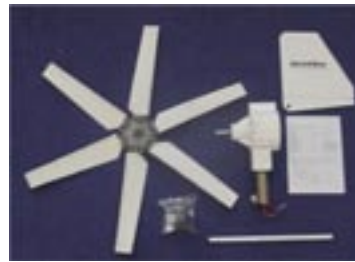
Als alter Player am Markt findet man LVM-Generatoren vornehmlich unter Langzeitseglern im englischsprachigen Raum, aber auch spezielle Modelle für den Einsatz an Land (Wohnmobile, Berghütten, Versorgung technischer 



Die Ladekurven und Details des Aero2Gen ...



... hier der Aero4Gen ...



... und abschließend der Aero6Gen



Einrichtungen) werden angeboten. Alle LVM-Windgeneratoren haben Aluminiumgussgehäuse und gekapselte Lager, die Rückwand ist aus Aluminiumblech.

Regler werden als Shunt-Regler für eine Batteriebank oder zwei Batteriebanken angeboten. Hier wird mit Erreichen der einstellbaren Ladeschlussspannung zweipolig vom Bordnetz weg auf den Lastwiderstand umgeschaltet. Der Shunt „verbrennt“ die nun überschüssige Energie und wandelt sie in Wärme um. Ein Tip: Der einfachste Regler mit nur einem Ausgang taugt nicht für die Fahrtenyacht, da er parallel zur Batteriebank geschaltet werden muss und somit allen Strom mit Spannung oberhalb der Ladeschlussspannung „verbrät“, auch der Solarpanele oder Ladegeräte. LVM baut die größte Palette an Wind- und Wassergeneratoren, auch ein Kombimodell

ist im Angebot. Nebenbei bemerkt nutzen sowohl Eclectic Energy als auch Superwind die Regler von LVM – auch ein Indiz für die Qualität der Produkte.

Aero2Gen

Der kleinste Windgenerator von LVM kommt in einer Box, sauberlich sortiert in Generatorkopf, Windfahne, Rotorblätter und Montagmaterial. Spezielles Werkzeug wie Sechskantschlüssel sowie alles zur Montage benötigte Material (Schrauben, Stopfmuttern etc.) sind beigelegt, Basistools wie Schraubenschlüssel und -dreher nicht. Die Bedienanleitung ist bebildert und verfügt über Explosionszeichnungen mit Benennung aller Teile. Zunächst wird der Rotor zusammengebaut: Die einzelnen Flügel werden zwischen zwei Aluminiumgussteilen

quasi eingespannt, dieses Arrangement mit Schrauben verbolzt. Die Rotorflügel sind an Markierungen auf den Gussteilen im Anstellwinkel auszurichten, dies soll eine auch später mögliche Anpassung auf durchschnittlich abweichende Windgeschwindigkeiten ermöglichen. Diese Vorgehensweise ist identisch mit den Aero4 und Aero6 und schon der größte Aufwand bei der Montage. Mit einem Akkuschauber und Aufstecknüssen sollte das in einer Viertelstunde erledigt sein. Es folgt das Einstecken des Windfahnenträgers in den Rotorkopf, mit zwei Schrauben schnell die Windfahne befestigt und der Weg zum Montageort ist geebnet.

Technische Fakten: Den Aero2Gen gibt es mit einer Aufnahme auf ein Rohr von einem Zoll oder 25,4 Millimeter Außendurchmesser in 12 oder 24 Volt. Der Aero2 hat einen Rotordurchmesser von 580 Millimeter, einen Drehkreis von 350 Millimeter, der gesamte Generator wiegt 5,0 Kilogramm.

Der Aero2Gen erzielt maximal vier Amperestunden Ladestrom, der Ladebeginn liegt bei oberhalb 3m/sec-1 oder drei Beaufort. Die Leistung dieses kleinen Generators reicht mit in unserem Vergleichsdurchschnitt anzusetzenden 12 bis 15 Amperestunden pro Tag nicht für die Versorgung selbst einer kleinen Yacht, jedoch zum Aufrechterhalten eines Spannungspegels um die Batterien voll geladen zu halten ist er, zudem sehr laufruhig, eine gute Wahl.

Aero4Gen

Wie auch beim Aero2Gen ist der Lieferumfang und Vorgehensweise bei der Montage.

Technische Fakten: Für den Aero4Gen sind wahlweise ein Zoll (25,4 Millimeter) oder eineinhalb Zoll (38,1 Millimeter) Aufnahmen (Mast-Außendurchmesser) erhältlich. Wir empfehlen aus Stabilitätsgründen die größere Variante. Gewählt werden kann auch zwischen 12 oder 24 Volt Leistung. Der Aero4 misst 870 Millimeter im Durchmesser bei

einem Drehkreis von 470 Millimeter und wiegt 8,5 Kilogramm. Mit maximal 19 Amperestunden Ladestrom, einem Ladebeginn bei rund drei Beaufort und dem errechneten Durchschnittswert von 30 bis 45 Amperestunden pro Tag ist der Aero4 bereits in der Lage, eine mittlere Fahrtenyacht ohne Kühlschranks und ausufernde Elektrik voll zu versorgen. Dies Gerät ist vor allem im englischsprachigen Raum als lafruhig und robust bekannt und dort häufig zu sehen.

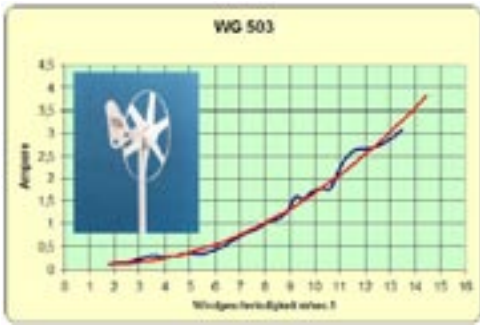
Aero6Gen

Der größte Generator von LVM kann mit einer 1 1/2 Zoll-Aufnahme (38.1 Millimeter) und in 12 oder 24 Volt geordert werden. Mit fast dem gleichen Generatorkörper wie dem Aero4 verfügt er aber über einen erheblich größeren Rotor von 1.220 Millimeter, hat einen Drehkreis von 650 Millimeter und wiegt 12,5 Kilogramm.

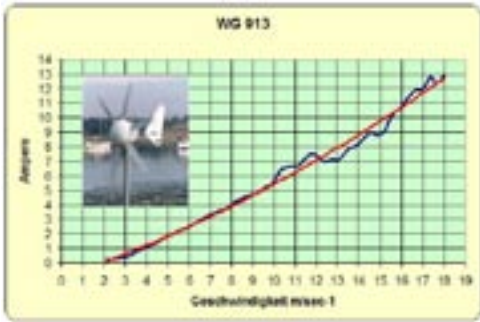
Mit einem Ladebeginn oberhalb 3m/sec-1 oder drei Beaufort erzielt er einen beachtlichen rechnerischen Durchschnittswert von 72 bis 120 Amperestunden pro Tag, die Spitzenleistung beträgt 36 Amperestunden. Der Aero6 wird, schon wegen seiner Größe nur auf größeren Schiffen eingesetzt. Man sieht ihn häufiger im Mittelmeerraum, wohl auch aufgrund seines relativ frühen Ladebeginns. Er ist der einzige Generator für den der Hersteller empfiehlt, ihn ab 45 Knoten (oberhalb neun Beaufort) manuell festzusetzen. Ein auf eher schwächere mittlere Winde hin optimierter, lafruhiger Generator.

Marlec Industries

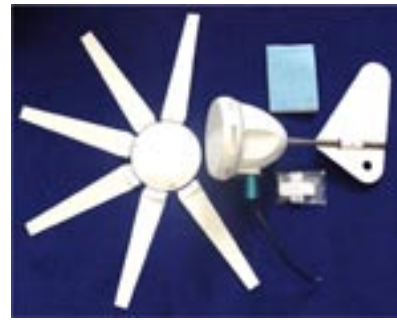
Ein weiterer Hersteller aus England ist Marlec mit den hierzulande auch häufig von Autobahnbaustellen zur Energieversorgung von Hinweistafeln und Mautstationen bekannten Modellen WG503 und WG913. Beide Generatoren sind aufgrund ihrer Bauweise in Kunststoff-Spritzgusstechnik relativ preiswert – alle anderen Hersteller setzen auf pulverbeschichtete Aluminiumgehäuse. Die Wellenlager sitzen in Kunststoffbuchsen im Rotor. Wo andere bis zu zwölf Magnete (und somit Pole) pro Generatoreinheit einsetzen, verbaut Marlec



Der einfachste Generator im Test, der Rutland WG503



Komplett in Kunststoff und preiswert - der Rutland WG913



aus Gründen des besseren Anlaufens bei Schwachwind zwei. Die neuen Rutland-Laderegler überprüfen ständig die Batteriespannung; wenn die obere Ladeendspannung erreicht wird regeln sie den Ladestrom herunter bis zur Ladesperre. Meint: Der Regler stoppt den Stromfluss komplett, wenn die Batterie 0,5 Volt über dem Einschaltpunkt des Ladereglers liegt. Das wird erreicht durch eine interne Kurzschlusschaltung (Cut-in), die den Generator bremst und seine Ausgangsleistung minimiert.

Die WG's erhielten in den letzten Jahren ein Redesign, Marlec baut weiter größere Windgeneratoren für die Hausinstallation.

WG 503

Der am schnellsten aufzubauende WG503 kommt in lediglich zwei Teilen: Der kompletten Turbine mit integriertem Generator und der Windfahne, so ist der Zusammenbau in Minuten erledigt. Die bebilderte Installationsanleitung wird daher nur kurz benötigt.

Die Flügel laufen in einem Schutzing, hierdurch soll die Gefahr eines unbeabsichtigten Hineingreifens gemindert werden.

Technische Fakten: Der WG503 hat einen Rotordurchmesser von 510 Millimeter, der Drehkreis beträgt

lediglich 255 Millimeter. Der Generator wiegt komplett 3,5 Kilogramm und ist in 12 Volt verfügbar. Er wird in eine Rohraufnahme von 31,7 Millimeter gesteckt. Mit einer maximalen Leistung von 5 Ampere Ladestrom fängt der WG503 bei rund 2m/sec-1 bereits an zu laden, allerdings ist der Output gering: Bei unseren Durchschnittswerten liegt er bei einem Ertrag von 9 bis 12 Ampere in 24 Stunden.

WG913

Der Rutland WG913 ist als direkter Nachfolger des WG910 seit vielen Jahren in Produktion. Der Zusammenbau des Rotors erfordert einen Akkuschauber oder ein kräftiges Handgelenk, wollen doch 24 selbstschneidende Schrauben durch Generatorplatte und Rotorflügel gedreht werden.

Die Rotorblätter lassen sich nur in einer Stellung fixieren und rasten hörbar in ihren Sitz ein – gut gelöst. Die hintere Abdeckkappe auf das Halterohr aufstecken, die Windfahne befestigen, den montierten Rotor-/Generatorsatz mit einer weiteren Kappe abdecken – fertig ist der WG913.

Technische Fakten: Der WG913 passt in ein Rohr mit 41 Millimeter Innendurchmesser und wiegt komplett 10,5 Kilogramm bei einem

Rotordurchmesser von 910 Millimeter und einem Drehkreis von 462 Millimeter. Er ist in 12 und 24 Volt verfügbar. Bei einem maximalen Ladestrom von 18 Amperestunden erreicht der WG913 eine durchschnittliche Ladung zwischen 48 bis 60 Ampere in 24 Stunden. Der Ladebeginn liegt bei knapp unter 3m/sec-1. Der WG913 läuft sehr leise, einzig die Rotorlagerung in Kunststoffsitzen macht uns nachdenklich.

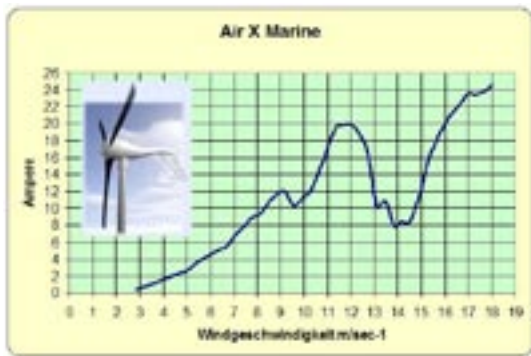
Southwest Windpower Air X Marine

Eine neue Leistungsklasse eröffnete in den frühen 90ern dieser amerikanische Produzent, mittlerweile in der dritten Generation seit 2002 als Air X

Marine für den Einsatz auf Yachten im Handel. Die Air-Generatoren polarisieren: Sie sind leicht, formschön, leistungsfähig, stecken voller High-Tech und sind bezahlbar, gelten aber als laute Vertreter ihrer Gattung und hatten bei einigen Modellreihen Probleme mit der Lackierung und Rotorblattaufnahme. Diese Schwierigkeiten sollen mit dem aktuellen Modell überwunden sein und so wenden wir uns diesem zu:

Der Air-X Marine hat ein Gehäuse aus Aluminium, vollgekapselte Lager und eine im Generatorgehäuse integrierte Ladeelektronik. Diese regelt seit der letzten Modellpflege auch die Drehzahl bei Überschreiten eines Grenzwertes von rund 1.000/UpM ab, was der Sicherheit bei Starkwind dient und wodurch die Spitzenleistung zugunsten der Geräuschkulisie sank. Southwest baut weiterhin große Windkraftanlagen für die Versorgung von Häusern, der Air X Marine ist das kleinste Modell und dieser für den Betrieb in salzgeschwängelter Seeluft konzipiert.

Das Handbuch lässt keine Wünsche offen und beschreibt die Montage des Rotors ausführlich. Notwendiges Spezialwerkzeug wie zöllige Innensechskantschlüssel sind beigefügt. Die drei Leitungen, welche aus dem Generator austreten sind schnell identifiziert: Plus und Minus



Der Air X aus den USA - elektronisch geregelt und leicht

zur Batterie sind klar, der dritte Leiter ist ein Schutzleiter (Erde).

Technische Fakten: Mit einem Gewicht von lediglich sechs Kilogramm gehört der Air X zu den Leichtgewichten. Er hat einen Rotordurchmesser von 1.170 Millimeter, einen Drehradius von 620 Millimeter und ist in 12, 24 sowie als Sonderanfertigung in 36 und 48 Volt zu bekommen. Der integrierte Regler des Air X ist von außen über eine Stellschraube auf den jeweiligen Batterietyp zu justieren.

Der prozessorgesteuerte Regler unterbricht periodisch den Ladevorgang und misst die Batteriespannung, regelt im Bedarfsfall den Output herunter – wie auch schön an unserer Meßkurve zu erkennen ist.

Die Meßdaten des Air X zeigen einen Ladebeginn bei rund 3m/sec-1, die maximale Leistung ist mit rund 30 Ampere angegeben. Wir kommen hier auf unser statistisches Mittel von 55 bis 100 Ampere in 24 Stunden. Der Air wird auf ein Rohr von 48.3 Millimeter Außendurchmesser gesetzt.

Im Preis-Leistungsverhältnis ist der Air X bei den leistungsfähigeren Windgeneratoren kaum zu schlagen, leider ist er auch, verursacht durch die integrierte Regelung welche die

Drehzahl sinken und ansteigen lässt, im Fahrerhaus des Wagens zu hören.

Superwind

Zwei Ingenieure aus Brühl, Segler und akribische Technikfreaks, bauen seit rund drei Jahren den einzigen deutschen Vertreter in dieser Runde: den Superwind 350.

Der Superwind kommt in einem eleganten Aluminiumguss-Gehäuse daher, seine drei relativ breiten Rotorflügel sind aus kohlefaserverstärktem Kunststoff und sicher mit dem Verstellmechanismus in der Nabe verbunden. Besonders anzumerken hier die drehzahlabhängige Fliehkraft-Rotorblattverstellung zur Drehzahlbegrenzung und die in den Generatorfuß integrierte Körperschall-Entkopplung durch eingesetzte Gummiringe. Der ganze Generator macht, obwohl das erste Modell aus der Schmiede in Brühl, einen absolut ausgereiften und kompetent entwickelten Eindruck.

Das Handbuch ist mit vielen Zeichnungen und einem sehr ausführlichen Text eine besonders gut gelungene Hilfe bei der Montage, die im übrigen keine besonderen Schwierigkeiten aufwirft. Alle zur

Montage benötigten Schrauben und Innensechskantschlüssel sind im Lieferumfang, das Handbuch führt sogar zusätzlich benötigtes Werkzeug auf. Zunächst wird die Windfahne am Generatorgehäuse angeschraubt, dann die Rotorflügel auf die Nabe. Die Achsstummel verfügen über ein speziell beschichtetes Innengewinde, so ist eine Stopmutter überflüssig – clever!

Dann die Nabe auf der Rotorachse mit der langen Inbusschraube befestigt und nach einem letzten Check ist der Superwind bereit für die Mastmontage. Der Superwind 350 wird in ein Rohr von 44.3 oder 55.7 Millimeter Innendurchmesser eingesetzt. Der Superwind startet bei unserer Messfahrt bei rund 3.5m/sec-1 mit einer schnell ansteigenden Ladekurve. Die maximale Leistung liegt bei rund 29 Ampere, von uns wegen der kurzen Messtrecke nicht ganz erreicht. Unser statistisches Ertragsmittel liegt mit 96 bis 138 Ampere Ladung in 24 Stunden an zweiter Stelle – hervorragend!

Der Superwind hat sich schnell eine feste Marktposition erobert: die Leistung, robuste Ausführung, das Preis-/Leistungsverhältnis und auch die relativ geringen Laufgeräusche überzeugen. ►



Wind-Tech aus Deutschland – der Superwind 350

Windgeneratorentest Vergleichstabelle

	Ampair		Eclectic Energy		
	Ampair 100	Ampair 300	D.400	DuoGen II	
Gebaut seit	1976	2006	2005	2005 (DG1, 2003)	
Verkaufte Anzahl	> 5.000		350	250	
Leistung maximal in W	100	300	400	300	
bei Drehzahl	1.500	1.100	1.200	950	
Anzahl Magnete	6	12	12	12	
Magnet Art / magnet type	Ferrit	Neodymium	Hi energy ferrite	Hi energy ferrite	
Anzahl Spulen / number coils	6	12	9	9	
Wechselstrom AC oder Gleichstromgenerator DC	AC	AC	AC	AC	
Phasen	2	3	3	3	
Gehäusematerial	Aluminiumguss, pulverbeschichtet	Aluminiumguss, pulverbeschichtet	Aluminiumguss, pulverbeschichtet	Aluminiumguss, pulverbeschichtet	
Material Rotorblatt	Polyester Glasfaserverstärkt	Polyester Glasfaserverstärkt	Nylon Glasfaserverstärkt	Nylon Glasfaserverstärkt	
Gewicht kompletter Generator in Kilogramm	12,6	12	17	19	
Drehkreis Rotor	915	1.200	1.100	1.100	
Drehkreis horizontal	480	620	585	550	
Mastaufnahme innen / außen	39mm innen	39mm innen	42mm innen	Komplettlieferrung mit Universal-Halterung	
Anzahl Rotorblätter	6	3	5	5	
Rotorblätter Gewicht angeglichen	Ja	Ja	Ja	Ja	
Werksgarantie	12 Monate	12 Monate	24 Monate	12 Monate	
Regler Modell	Ampair, 2-Phasen	Ampair, 3-Phasen	LVM, shunt type	LVM, shunt type	
Besonderheiten / Specials		Drehzahlregelung über Rotorblattverstellung		Wind-/Wasser Kombi, Antriebswelle	
Verfügbare Spannung	12V, 24V	12V, 24V	12V, 24V, 48V	12V, 24V	
Preis Basismodell 12V in Euro	899	1.599	1.390	2.699	
Preis Regler ab in Euro	159	319	219	219	

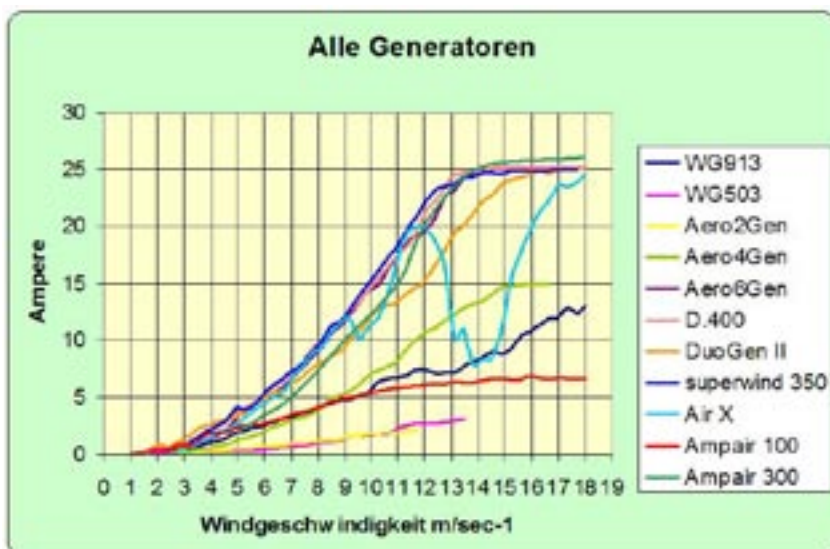
Fazit

In der untenstehenden Grafik sehen Sie als Zusammenfassung die Leistungsdaten aller Windgeneratoren.

Wir haben einen großen Aufwand getrieben, hunderttausende Messdaten zusammengetragen – nur um Ihnen abschließend zu sagen: den idealen, den besten Windgenerator

gibt es nicht. In Abhängigkeit von Schiff, Eigner, Fahrtgebiet und benötigter Energie muss aus einer weiten Palette der für die Anforderung passende Generator ausgewählt werden. Am Besten mit Unterstützung des Fachhandels, der auch Erfahrung in Aufstellung und Montage sowie den Eingliederungsmöglichkeiten in die Bordelektrik verfügen sollte. Abschließend die Importeure (im Falle Superwind des Herstellers). Hier werden Sie kompetent beraten und bekommen auf Anfrage auch Fachhandelspartner vor Ort genannt:

Ampair, DuoGen, D.400, LVM AeroGen:
 Shipshop.de
 Geibelstr. 9-11, 47057 Duisburg
 Telefon 0203 - 352 044
 www.shipshop.de
 E-Mail: info@shipshop.de



LVM			Marlec / Rutland		Southwest	Superwind	
Aero2Gen	Aero4Gen	Aero6Gen	WG503	WG913	Air X Marine	Superwind 350	
1982	1982	1982	1999	1995	2002	2004	
Gesamte Produktion aller Typen > 30.000					17.000	500	
48	220	360	60	220	500	350	
3.000	1.700	950	1.400	1.400	1100	1300	
2	12	12	2	2	12	6	
Neodymium-Boron	Neodymium-Boron	Neodymium-Boron	Ferrit	Ferrit	Neodymium-CubicCurve	Neodymium	
16	36	36	2	2	12	18	
AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	
3	3	3	2	2	3	3	
Aluminiumguss, pulverbeschichtet	Aluminiumguss, pulverbeschichtet	Aluminiumguss, pulverbeschichtet	Kunststoff-Spritzguss	Kunststoff-Spritzguss	Aluminiumguss, pulverbeschichtet	Aluminiumguss, pulverbeschichtet	
Polyester Glasfaserverstärkt	Polyester Glasfaserverstärkt	Polyester Glasfaserverstärkt	Kunststoff-Spritzguss	Kunststoff-Spritzguss	Polyester Glasfaserverstärkt	Polyester Kohlefaserverstärkt	
5	8,5	12,5	3,5	10	5,85	11,5	
580	870	1220	510	910	1.150	1.220	
350	480	650	255	462	556	630	
25.4mm außen	25.4 / 38.2mm außen	25.4 / 38.2mm außen	31mm innen	41mm innen	48,3 mm außen	55,7 / 56,3 / 55,0 / 44,3 mm innen	
5	6	6	6 (Ring)	6	3	3	
Nein	Nein	Nein	entfällt	Nein	Ja	Ja	
12 Monate	12 Monate	12 Monate	12 Monate	12 Monate	36 Monate	36 Monate	
LVM, shunt type	LVM, shunt type	LVM, shunt type	Rutland, short circuit	Rutland, short circuit	integriert, MPP	Superwind, shunt type oder LVM, shunt type	
					integrierte Ladesteuerung mit Drehzahlbegrenzer	Leistungsregelung und Drehzahlbegrenzung über Rotorblattverstellung	
12V, 24V	12V, 24V	12V, 24V	12V	12V, 24V	12V, 24V	12V, 24V, 48V	
539	889	1.289	438	734	1.239	1.249	
109	129	219	103	114	entfällt	219	

Air X Marine:

Windpower Enertec
Walter Lackermayr
Zeppelinstr. 4
82178 Puchheim
Telefon 089 - 89 02 67 81
www.windpower.de,
E-Mail: info@windpower.de

Marlec Industries (Rutland):

Sunset Energietechnik GmbH
Industriestr. 8
91325 Adelsdorf
Telefon 0 91 95 - 949 40
www.sunset-solar.de,
E-Mail: info@sunset-solar.com

Superwind:

Superwind GmbH
Bonnstr. 18, 50321 Brühl
Telefon 0 22 32 - 577 357
www.superwind.com
E-Mail: power@superwind.com



Die obige Grafik veranschaulicht vergleichend den rechnerisch zu erwartenden Ertrag der Generatoren bei der durchschnittlichen Windstärke in Ostsee (5m sec-1 = 3 bis 4 Beaufort) und Nordsee (6m/sec-1 = 4 Beaufort) – erheblich aussagekräftiger als die reine theoretische Leistungsfähigkeit auf der gegenüberliegenden Seite!