

Bern, 24. April 2009

Windenergie-Projekt Rheinknie bei Balzers, Liechtenstein

Windgutachten – Schlussbericht nach zwölf Monaten Messung

Auftraggeber:
Solargenossenschaft Liechtenstein
Floraweg 19
FL-9490 Vaduz

Bearbeitung:
Dominik Eggli
Dr. Saskia Bourgeois

Zusammenfassung

Im Auftrag der Solargenossenschaft Liechtenstein führte **METEOTEST** bei Balzers im Fürstentum Liechtenstein Windmessungen durch. Am 27. März 2008 wurde ein 50-m-Messmast mit Anemometern auf drei verschiedenen Höhen installiert.

In diesem Bericht werden die Messdaten der gesamten Windmessung ausgewertet. Die Messdaten wurden bereinigt und mit der langjährigen Messreihe der Swiss-MetNet (SMN) Station Vaduz abgeglichen.

Für die Extrapolation der gemessenen Windgeschwindigkeit auf jene an der Nabenhöhe einer Windenergieanlage (WEA) wurde ein logarithmisches Windprofil angenommen, was jedoch nur eine grobe Annäherung darstellt.

Die langjährig korrigierte und auf 100 m extrapolierte Windgeschwindigkeit liegt am Messstandort zwischen 4.3 – 4.6 m/s.

Es wurde der durchschnittliche Jahresertrag einer Windturbine des Typs Enercon E-82 mit einer Nabenhöhe von 100 m am Maststandort abgeschätzt. Eine Zusammenfassung der Resultate ist in untenstehender Tabelle ersichtlich.

Typ Windturbine Leistung Nabenhöhe Rotordurchmesser	Enercon E-82 2'000 kW 100 m 82 m
Mittlere Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe	4.3 – 4.6 m/s
Energieertrag brutto	2'065 – 2'457 MWh/a
Kapazitätsfaktor	11.8 – 14.0 %
Abschlag Verfügbarkeit	5.0%
Transformator-Verlust	3.0%
Energieertrag netto E_{P50}	1'899 – 2'261 MWh/a
Kapazitätsfaktor	10.8 – 12.9 %
Energieertrag netto E_{P75}	1'707 – 2'032 MWh/a
Kapazitätsfaktor	9.7 – 11.5 %

Inhaltsverzeichnis

1. Standort der Windmessungen	4
1.1. Standortbeschreibung	4
1.2. Messanordnung	7
1.3. Messperioden	7
1.4. Datenverfügbarkeit.....	8
1.4.1. 50-m-Mast.....	8
2. Resultate Windmessungen.....	9
2.1. Windgeschwindigkeit	9
2.2. Windrose	11
2.3. Extrapolation auf Nabenhöhe.....	12
3. Langjährige Windverhältnisse	13
3.1. Korrelation von Meteostationen und Mastmessung.....	13
3.2. Langjähriger Abgleich der Mastmessung	14
4. Energieertrag	16
4.1. Windturbinentyp.....	16
4.2. Unsicherheit der Ertragsprognose.....	16
4.3. Energieertrag.....	16
4.4. Risikobewertung	16
5. Fazit.....	18
Anhang A: Leistungskurve.....	19
Anhang B: Kalibrationsprotokolle.....	20

1. Standort der Windmessungen

1.1. Standortbeschreibung

Der Standort des Messmasts lag am Rheinknie südwestlich von Balzers im Fürstentum Liechtenstein auf 488 m.ü.M. Etwa 450 m südöstlich des Standortes des Messmasts erhebt sich das 758 m hohe Ellhorn. Im Nordwesten grenzt der Hügelzug des Werdenbergs den Rheingraben ab. Richtung Südwesten und Nordosten ist das Gebiet sehr offen.

Abb. 1 zeigt den Messstandort und Tab. 1 enthält die entsprechenden Koordinaten. Abb. 2 und Abb. 3 zeigen den Messmast mit Blick gegen Nordosten respektive Südosten. Abb. 4 zeigt das Geländeprofil um den Messstandort entlang der Achsen NO-SW (dominante Windrichtungen) und NW-SO.

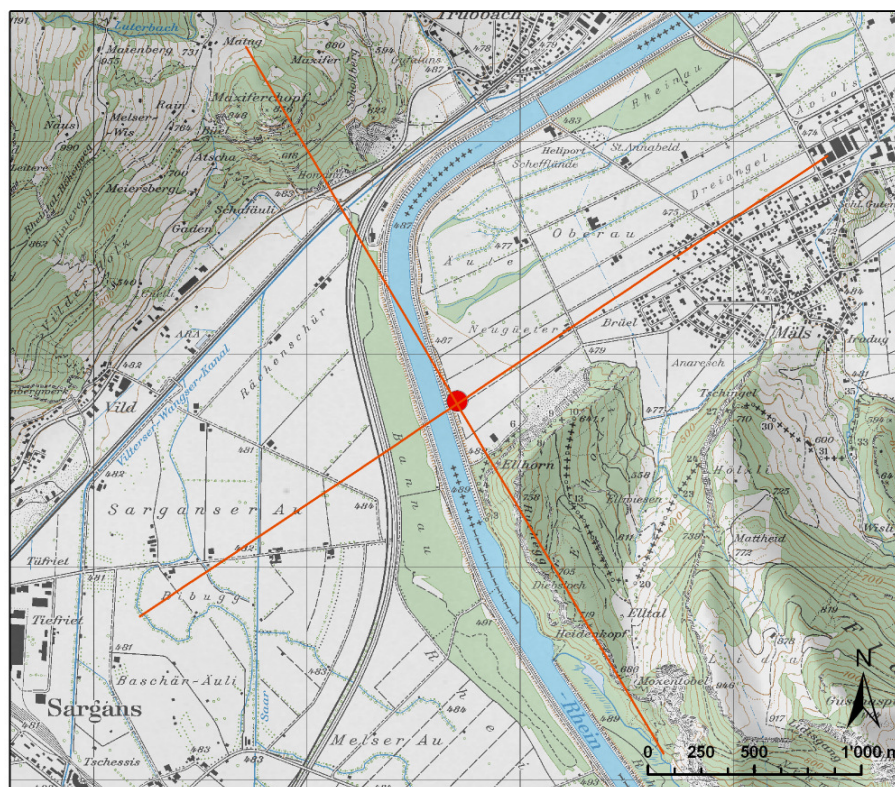


Abb. 1: Standort des Messmasts (roter Punkt). (1:25'000, PK25 © 2007 swiss-topo, DV 606.1). Die orangen Linien zeigen den Verlauf der in Abb. 4 abgebildeten Geländeprofile auf.

Tab. 1: Koordinaten des Standortes der Windmessung.

Messung	Koordinaten (Swiss Grid)	Höhe [m.ü.M.]
50-m-Messmast	754'707 / 213'783	488



Abb. 2: Der Messmast, Blickrichtung: Nordost.



Abb. 3: Der Messmast, Blickrichtung: Südost.

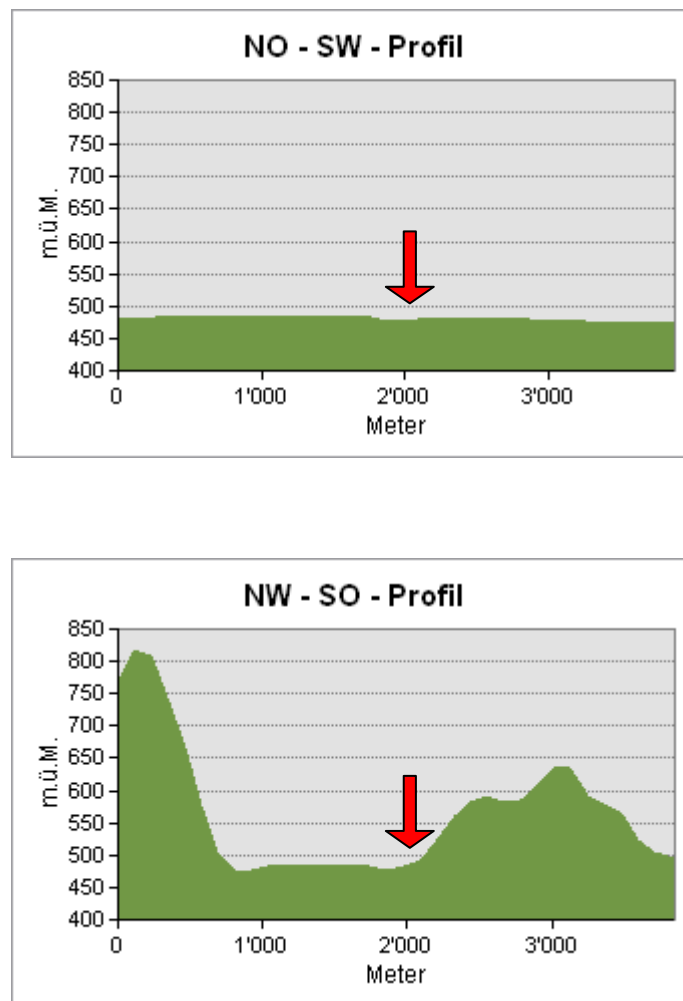


Abb. 4: Die Geländeprofile entlang bzw. rechtwinklig zu den Hauptwindrichtungen: oben ist das NO – SW Profil und unten das NW – SO Profil abgebildet. Die roten Pfeile zeigen den Standort des Messmasts.

1.2. Messanordnung

Tab. 2 zeigt die Konfiguration des 50-m-Messmasts. Die Referenzsensoren für diese Auswertung sind fett hervorgehoben. Es wurden vorgängig kalibrierte Anemometer verwendet. Die Kalibrationsprotokolle sind in Anhang B ersichtlich.

Tab. 2: Konfiguration des 50-m-Messmasts.

Sensor	Parameter	Seriennummer	Messhöhe [m]
Young Windmonitor	Windgeschwindigkeit und -richtung	11129	49.4
NRG #40 Max (B)	Windgeschwindigkeit	48831	48.7
NRG #40 Max (A)	Windgeschwindigkeit	48834	49.4
NRG #40 Max	Windgeschwindigkeit	48866	36.4
NRG #40 Max	Windgeschwindigkeit	57161	27.9
NRG 200P	Windrichtung	PV12	48.7
NRG 200P	Windrichtung	PV13	27.1
Rotronic 101MPA	Temperatur und Luftfeuchtigkeit	M2194800/1	3.0

Die Messwerte wurden alle 2 Sekunden mit einem Campbell CR10X Datenlogger abgerufen und als 10-Minuten-Mittelwerte abgespeichert. Von der Windgeschwindigkeit wurden zusätzlich die Standardabweichungen, Maxima und Minima aufgezeichnet.

1.3. Messperioden

Tab. 3 führt das Messprotokoll mit der Messperiode auf. Technisch bedingte Datenausfälle gab es keine.

Tab. 3: Messprotokoll der 50-m-Mastmessung.

Ereignis	Datum / Zeit (MEZ)
Beginn der 50-m-Mastmessung	27. März 2008, 19:00
Ende der 50-m-Mastmessung	07. April 2009, 13:20

1.4. Datenverfügbarkeit

1.4.1. 50-m-Mast

Für den vorliegenden Schlussbericht wurden die 10-Minuten-Mittelwerte vom 27. März 2008 bis 7. April 2009 verwendet. Der NRG #40 Max Sensor auf 49.4 m wurde als Referenz für die Windgeschwindigkeit ausgewählt. Für die Windrichtung wurde die NRG 200P Windfahne auf 47.7 m verwendet. Im vorliegenden Bericht werden diese Sensoren nachfolgend als 50 m-Sensoren bezeichnet.

Die Daten von Perioden potentieller Verfälschung durch Vereisung (5.3% bei den Windgeschwindigkeitsdaten, 3.3% bei den Windrichtungsdaten) wurden für die weitere Auswertung verworfen. Datenlücken in der Zeitreihe des Referenz-Sensors wurden, falls vorhanden, mit Werten des Young Windmonitors auf 49.4 m gefüllt (Windgeschwindigkeit und Windrichtung) und mit dem entsprechenden Faktor auf die Referenzhöhe korrigiert.

Nach der Bereinigung resultierte eine Verfügbarkeit der Windgeschwindigkeitsdaten von 98.2% und der Windrichtungsdaten von 97.2% über den gesamten Zeitraum.

2. Resultate Windmessungen

2.1. Windgeschwindigkeit

Abb. 5 zeigt den Verlauf der gemessenen Windgeschwindigkeiten als gleitendes Tagesmittel für die Messhöhen 28, 36 und 50 m über Grund.

Abb. 6 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit auf 50 m, gemessen am Messmast. Zusätzlich sind die Summenhäufigkeit und die approximierte Weibull-Verteilung eingezeichnet.

Abb. 7 zeigt die Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit und die monatliche 2-Sekunden-Böenspitze auf 50 m am Messmast. Der Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf 50 m über die gesamte Messperiode liegt bei 3.99 m/s.

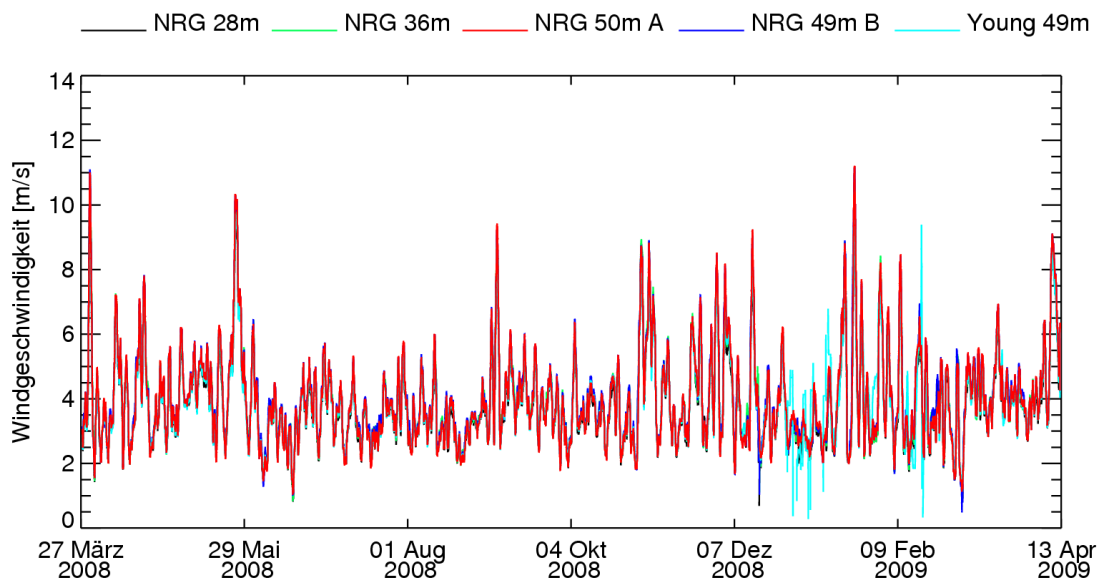


Abb. 5: Verlauf der Windgeschwindigkeit auf den verschiedenen Messhöhen als gleitende Tagesmittelwerte. Die "NRG 50 m A" Datenreihe stellt die bereinigte Referenzmessung dar.

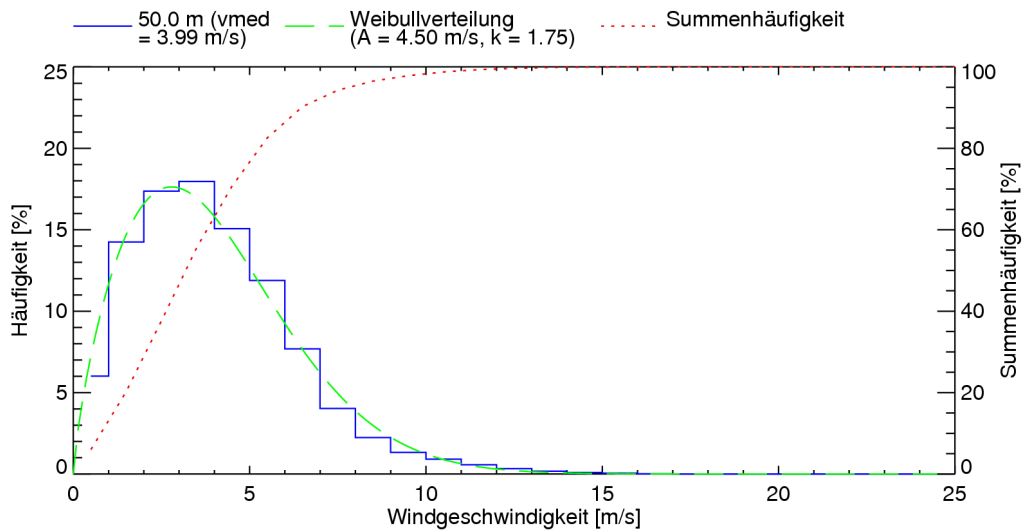


Abb. 6: Verteilung der Windgeschwindigkeit auf 50 m mit der entsprechenden Summenhäufigkeit und der approximierten Weibull-Verteilung.

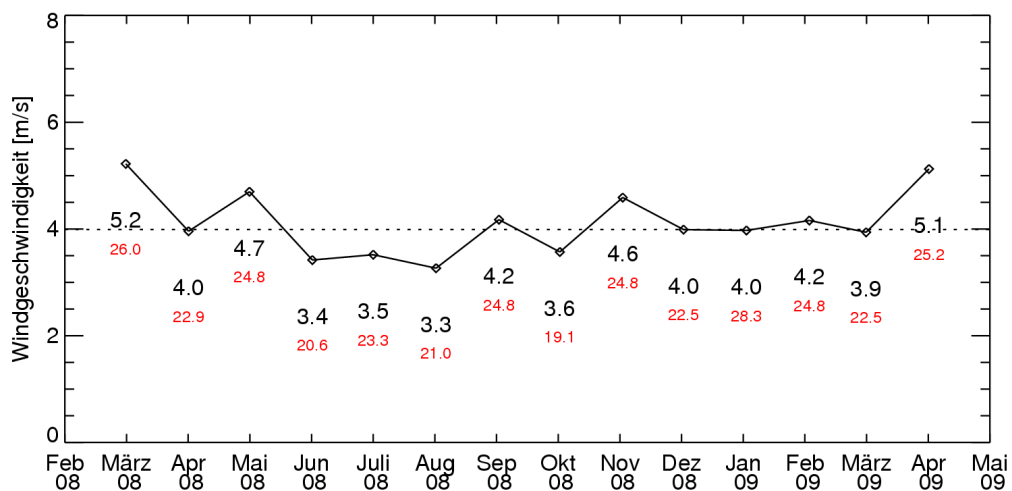


Abb. 7: Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit auf 50 m in schwarz. In rot die monatliche 2-Sekunden-Boenspitze auf 50 m. Die gestrichelte Linie bezeichnet den Mittelwert der Windgeschwindigkeit der gesamten Messperiode von 3.95 m/s. Die Datensätze für März 2008 und April 2009 sind unvollständig.

2.2. Windrose

Abb. 8 zeigt die Windrose der 50-m-Mastmessung. Während der Messkampagne herrschte vorwiegend Nordost- und Süd-südwestwind. Die höchsten Windgeschwindigkeiten wurden während Föhnlagen (Südwind) gemessen.

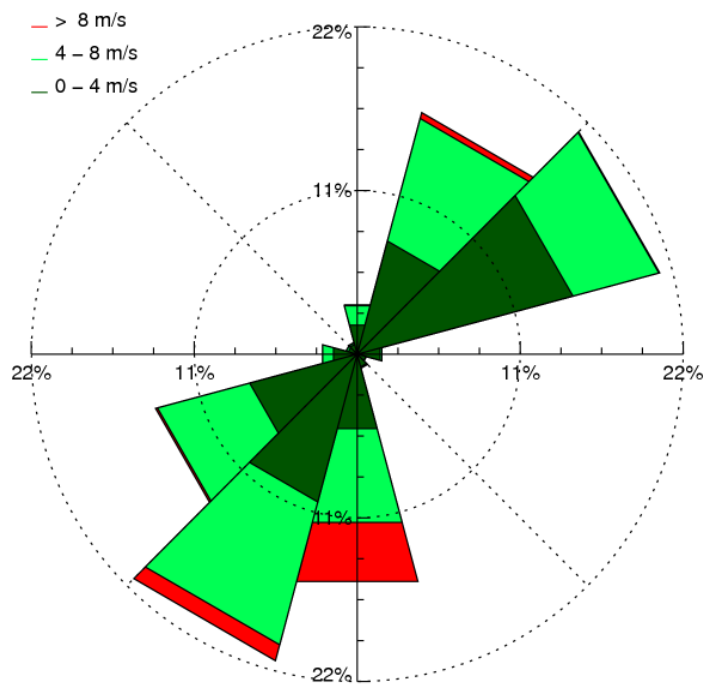


Abb. 8: Windrose auf 50 m, gemessen am Messmast.

2.3. Extrapolation auf Nabenhöhe

Da keine SODAR- oder LIDAR-Messung durchgeführt wurde, wurde die Zeitreihe der gemessenen Windgeschwindigkeit auf 50 m mit der Annahme eines logarithmischen Windprofils auf Nabenhöhe extrapoliert:

Logarithmisches Windprofil:

$$v_2 = v_1 \frac{\ln\left(\frac{h_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_1}{z_0}\right)}$$

wobei: v_1 : Windgeschwindigkeit auf Referenzhöhe h_1 (hier: 50 m)
 v_2 : Windgeschwindigkeit auf Höhe h_2
 z_0 : Rauigkeitslänge

In komplexem Gelände ist die Verwendung eines logarithmischen Windprofils mit einer grossen Unsicherheit verbunden. Aus diesem Grund wurde ein Bereich möglicher Vertikalprofile auf Basis unterschiedlicher Rauigkeitslängen bestimmt. Tab. 4 zeigt die verwendeten Rauigkeitslängen sowie die entsprechenden Geländeoberflächentypen¹. Die mit diesen Werten berechnete Windgeschwindigkeit auf 100 m über Grund liegt während der Messperiode zwischen 4.2 und 4.6 m/s.

Tab. 4: Rauigkeitslängen z_0 , entsprechende Typen von Geländeoberflächen und extrapolierte Windgeschwindigkeit auf 100 m über Grund.

Rauhigkeitslänge z_0	Typen von Geländeoberflächen	Windgeschwindigkeit 100 m.ü.G.
0.0024 m	Offenes Gelände mit glatter Oberfläche, z.B. gemähtes Gras	4.27 m/s
0.1 m	Landwirtschaftliches Gelände mit einigen Häusern und 8 Meter hohen Hecken im Abstand von ca. 500 m.	4.44 m/s
0.4 m	Landwirtschaftliches Gelände mit vielen oder hohen Hecken, Wäldern und sehr rauhes, unebenes Terrain.	4.56 m/s

¹ Quelle: <http://www.wind-data.ch/tools/profile.php> (Zugriff: 23.4.2009)

3. Langjährige Windverhältnisse

3.1. Korrelation von Meteostationen und Mastmessung

Die Daten des Messmasts wurden mit den Daten von 113 permanenten Meteostationen der MeteoSchweiz korreliert. Die beste Korrelation wurde mit der SwissMet-Net (SMN) Station Vaduz gefunden, mit einem Korrelationskoeffizienten von 0.67 bezogen auf die Stundenmittelwerte. Für langjährige Abschätzungen werden immer nur ganze Jahresdatensätze verwendet. Die Datenreihe der SMN Station Vaduz vom 8. April 1999 bis zum 7. April 2009 ist lückenlos, zeigt jedoch eine kontinuierliche Abnahme der mittleren Windgeschwindigkeit ab Mai 2004 (siehe Abb. 9). In Rücksprache mit Bruno Dürr vom Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz (14. Oktober 2008) konnte mit einer provisorisch abgeschätzten Korrektur der Messreihe um +0.45 m/s ab Mai 2004 diese Inhomogenität berücksichtigt und eine konstante Messreihe erstellt werden. Für den langjährigen Abgleich der Messdaten wurde die korrigierte Messreihe benutzt. Die genaue Ursache für die Inhomogenität in den Windgeschwindigkeitsdaten wird derzeit bei MeteoSchweiz abgeklärt.

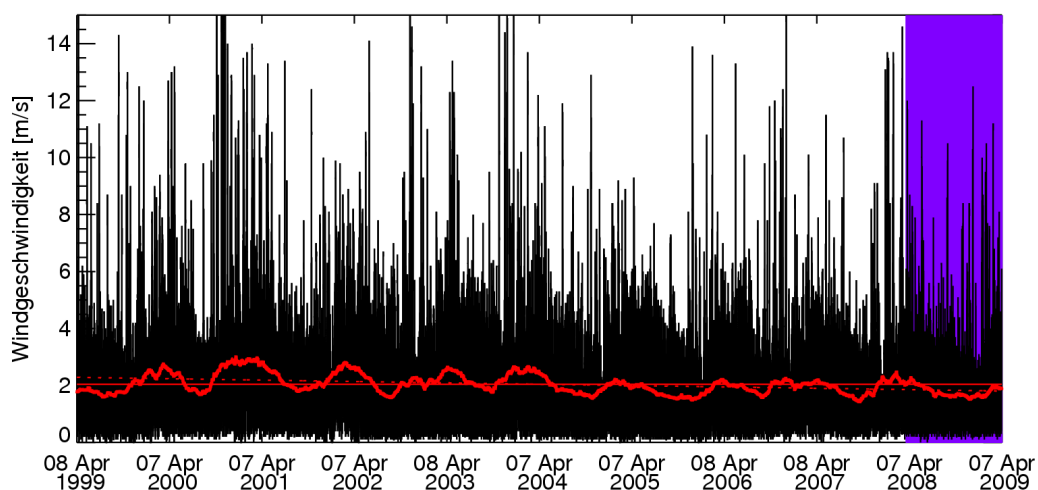


Abb. 9: Verlauf der Windgeschwindigkeit der Station Vaduz von April 1999 bis April 2009 (unkorrigiert). Stündliche Werte in schwarz, gleitendes 3-Monatsmittel in rot. Die dünne rote Linie stellt den Mittelwert der Windgeschwindigkeit des ganzen verwendeten Messdatensatzes dar. Die Messperiode des Messmasts bei Balzers ist in violett hervorgehoben.

Tab. 5 enthält die Koordinaten der SMN Station Vaduz sowie den Korrelationskoeffizienten der Stundenmittelwerte mit der 50 m Mastmessung bei Balzers.

Tab. 5: Koordinaten der SMN Station Vaduz.

Station	WMO-Nummer	Koordinaten (Swiss Grid)	Höhe [m.ü.M.]	Korrelationskoeffizient (Std-Werte)
Vaduz	69900	757'043 / 221'837	460	0.67

3.2. Langjähriger Abgleich der Mastmessung

Abb. 10 zeigt die langjährigen Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit sowie die Monatsmittelwerte der Messperiode der SMN Station Vaduz (unkorrigiert). Zudem sind die Monatsmittelwerte der 50-m-Mastmessung bei Balzers eingetragen (Mast Messperiode). Der parallele Verlauf der Kurven der SMN Station Vaduz und der Mastmessung bei Balzers bestätigt die gute Korrelation.

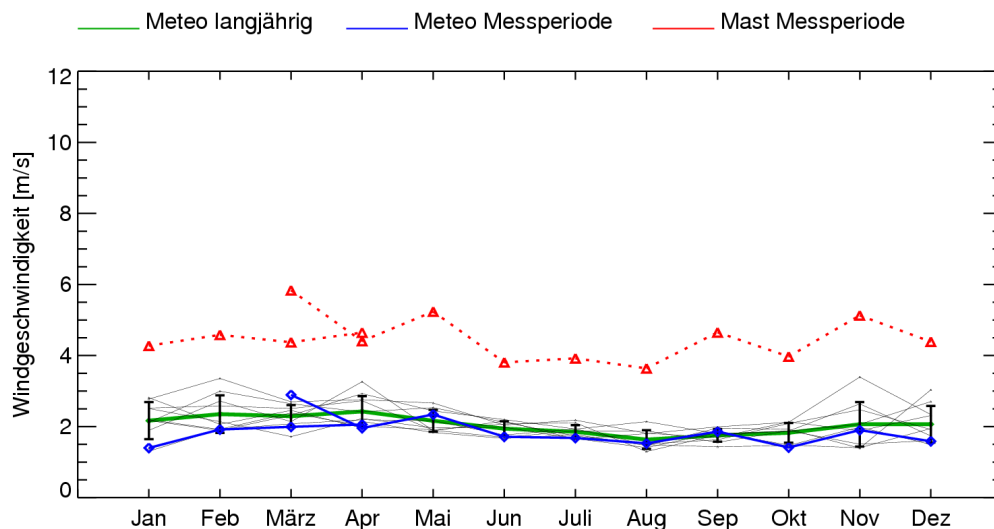


Abb. 10: Langjährige Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit (April 1999 bis April 2009, grün) und deren Standardabweichung (Balken) sowie die Monatsmittelwerte der Messperiode (blau) der SMN Station Vaduz. Die grauen Linien im Hintergrund zeigen die Monatsmittelwerte der einzelnen Messjahre. In rot sind die Monatsmittelwerte der 50-m-Mastmessung bei Balzers eingetragen.

Die Bestimmung des langjährigen Windpotenzials wurde mit folgender Formel vorgenommen:

$$v_{Mast, langjährig} = v_{Mast, Messperiode} \cdot \frac{v_{Meteo, langjährig}}{v_{Meteo, Messperiode}}$$

An der SMN Station Vaduz beträgt das Verhältnis der langjährigen Windgeschwindigkeit zur Windgeschwindigkeit während der Messperiode 1.01. Dies bedeutet, dass am Messstandort im langjährigen Mittel mit ungefähr den gleichen Windge-

schwindigkeiten gerechnet werden kann wie während der Messperiode (langjährig: plus 1%).

Unter Berücksichtigung des langjährigen Abgleichs liegt der Mittelwert der Windgeschwindigkeit am Messstandort auf 100 m über Grund zwischen 4.3 und 4.6 m/s.

4. Energieertrag

4.1. Windturbinentyp

Die Ertragsberechnungen wurden für eine Windturbine des Typs Enercon E-82 mit einer installierten Leistung von 2'000 kW und einer Nabenhöhe von 100 m durchgeführt.

4.2. Unsicherheit der Ertragsprognose

Zur Unsicherheit der Ertragsprognose am Messpunkt tragen folgende Faktoren bei: Messung, Extrapolation auf Nabenhöhe, standardisierte Leistungskurve und langjähriger Abgleich. Auf der Basis lediglich einer Mastmessung ohne SODAR-Messung oder Modellierung kann keine differenzierte Unsicherheitsanalyse in Nabenhöhe durchgeführt werden. In diesem Bericht wurde deshalb für die Unsicherheit der Ertragsprognose der konservative Wert von 15% angenommen.

4.3. Energieertrag

Der **Brutto-Energieertrag** wurde durch die Verknüpfung der Windmessung mit der Leistungskurve der WEA (Anhang A) berechnet und entspricht dem Erwartungswert gemäss den verfügbaren Daten. Die Leistungskurve wurde für eine Luftdichte auf Nabenhöhe von 1.17 kg/m^3 korrigiert.

Die Luftdichte wurde wie folgt berechnet²:

$$\rho = 1.247015 \cdot e^{-0.000104 \cdot h} = 1.17 \text{ kg/m}^3$$

h : Nabenhöhe einer WEA am Standort des Messmasts (588 m.ü.M.)

Zur Berechnung des mittleren **Energieertrags netto** E_{P50} wurden folgende Abschläge eingeführt:

- Es wird von einer Verfügbarkeit der WEA von 95% ausgegangen.
- Es wird ein Transformator-Verlust von 3% angenommen.

4.4. Risikobewertung

Näherungsweise darf davon ausgegangen werden, dass die Wahrscheinlichkeit einen bestimmten Energieertrag zu erzielen normal verteilt ist. Die ermittelte Ertragsprognose E_{P50} entspricht somit dem wahrscheinlichsten Ergebnis und die Gesamt-Unsicherheit (hier 15%, siehe Abschnitt 4.2) der Schwankungsbreite des zu er-

² METEOTEST, 1999: Planung von Windenergieanlagen – Leitfaden für die Schweiz.

wartenden Ergebnisses um das wahrscheinlichste Ergebnis im Sinne einer Standardabweichung. Der Energieertrag E_{P75} wurde ebenfalls basierend auf der Ertragsunsicherheit von 15% berechnet und bezeichnet den Ertrag mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 75%, bzw. einem Risiko von 25%, dass er im Mittel nicht erreicht wird.

Tab. 6 enthält eine Übersicht des geschätzten Ertrages am Standort des Messmasts (siehe Abb. 1 und Tab. 1).

Tab. 6: Zusammenfassung der Ertragsprognose.

Typ Windturbine Leistung Nabenhöhe Rotordurchmesser	Enercon E-82 2'000 kW 100 m 82 m
Mittlere Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe	4.3 – 4.6 m/s
Energieertrag brutto Kapazitätsfaktor	2'065 – 2'457 MWh/a 11.8 – 14.0 %
Abschlag Verfügbarkeit Transformator-Verlust	5.0% 3.0%
Energieertrag netto E_{P50} Kapazitätsfaktor	1'899 – 2'261 MWh/a 10.8 – 12.9 %
Energieertrag netto E_{P75} Kapazitätsfaktor	1'707 – 2'032 MWh/a 9.7 – 11.5 %

5. Fazit

Die berechneten Windgeschwindigkeiten auf 100 m (Nabenhöhe) am Messstandort liegen nach Bereinigung der Messdaten, langjährigem Abgleich und Extrapolation zwischen 4.3 und 4.6 m/s. Im vorliegenden Bericht wurde die auf 50 m gemessene Windgeschwindigkeit mit der Annahme eines logarithmischen Windprofils auf 100 m extrapoliert. Diese Annahme ist jedoch sehr generell, da Windprofile je nach Standort stark variieren können. Mit SODAR-Messungen könnten die Windverhältnisse auf Nabenhöhe genauer untersucht werden.

Eine Strömungssimulation, welche im Herbst 2008 von der Firma Weatherpark für ein grösseres Gebiet um den Maststandort durchgeführt wurde, hat gezeigt, dass die Rheinebene nordwestlich des Maststandortes windexponierter sein könnte. Es besteht die Wahrscheinlichkeit, dass der 50-m-Mast durch das Ellhorn leicht abgeschattet worden ist und nordwestlich davon bessere Bedingungen zur Nutzung der Windenergie vorherrschen. Die Ergebnisse der neuen Messkampagne mit einem 50-m-Mast, welcher im April 2009 westlich von Triesen installiert wurde werden darüber mehr Klarheit bringen.

Anhang A: Leistungskurve

Leistungskurve der **Enercon E-82**, 2'000 kW für Standardbedingungen (Temperatur: 15°C, Luftdruck: 1'013 mbar; Luftdichte: 1.225 kg/m³).

Windgeschwindigkeit [m/s]	Leistung [kW]
1	0
2	3
3	25
4	82
5	174
6	321
7	532
8	815
9	1180
10	1612
11	1890
12	2000
13	2050
14	2050
15	2050
16	2050
17	2050
18	2050
19	2050
20	2050
21	2050
22	2050
23	2050
24	2050
25	2050

Anhang B: Kalibrationsprotokolle



630 Peña Drive, Suite 800
Davis, CA 95618
530.757.2264
www.otechwind.com

ANEMOMETER CALIBRATION REPORT

Customer: NRG Systems, Inc.

This document reports that a wind tunnel test was performed for the anemometer listed below in accordance with transfer function protocols defined by ASTM D 5096-02, ISO 17713-1, and IEC 61400-12-1. The following data and transfer function is the relationship between the reference wind speed measurement in the wind tunnel test section and the unadjusted signal output from the instrument under test (IUT) given the prescribed speed range.

IUT Model No: NRG #40
IUT Serial No: 179500048831
IUT Output: AC Sine Wave

Test Date and Time: 1/7/08 10:12 AM
Test Speed Range: 4 - 26 m/s

Wind Tunnel Test Facility

Otech Tunnel ID: WT2B
Type: Eiffel (open circuit, suction)
Test Section Size: 0.61 m x 0.61 m x 1.22 m
Manufacturer: Engineering Laboratory Design, Inc.

Measuring Equipment

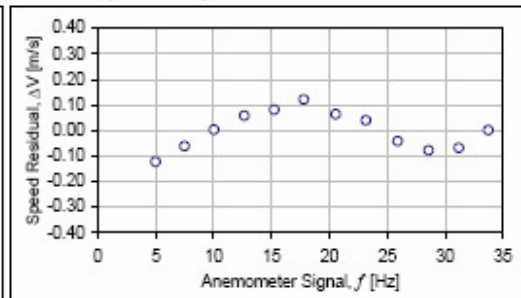
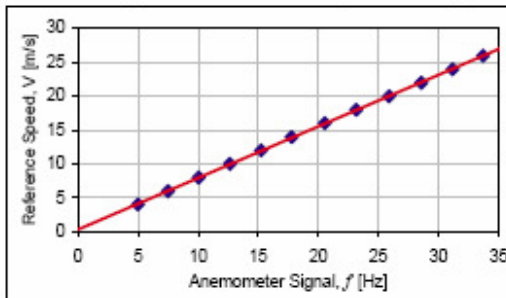
Reference Speed: Four United Sensor Type PA Pitot-static tubes sensed by an MKS Barotron Type 220D Differential Pressure Transducer (NIST traceable)
Amb. Pressure: Setra Model 270 Barometer (NIST traceable)
Amb. Temperature: OMEGA HX04 SS Probe (NIST traceable)
Relative Humidity: OMEGA HX04 SS Probe (NIST traceable)

Data Acquisition

Hardware: National Instruments CDAQ-9172 USB 2.0 chassis with NI 9205 32-chan 16-bit AI module
Software: National Instruments LabVIEW 8.2.1
Signal Reduction Method for IUT: FFT to determine frequency

Test Conditions

Reference Speed Position Correction = 1
Reference Speed Blockage Correction = 1
Mean Ambient Pressure = 101532 Pa
Mean Ambient Temperature = 20.7 deg C
Mean Relative Humidity = 34.4% RH
Mean Density = 1.2002 kg/cubic meter



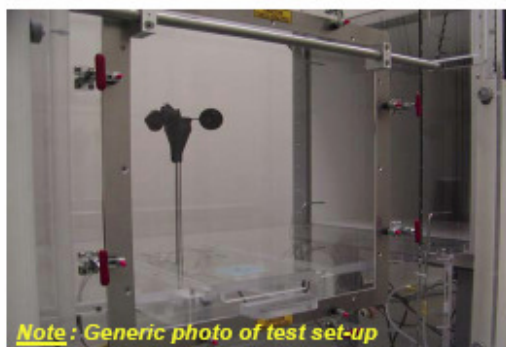
Transfer Function

Test Results:

$$V \text{ [m/s]} = 0.76 f \text{ [Hz]} + 0.34$$

$r = 0.99995$

std. err. estimate = 0.0784 m/s



Note: Generic photo of test set-up

Reference Speed [m/s]	Anemometer Output [Hz]	Residual [m/s]	Ref. Speed Uncertainty
4.017	4.997	-0.122	0.522%
7.981	10.046	0.003	0.483%
12.006	15.237	0.081	0.465%
16.018	20.536	0.064	0.476%
19.991	25.900	-0.042	0.472%
23.973	31.172	-0.068	0.468%
25.978	33.717	0.002	0.479%
21.987	28.572	-0.077	0.464%
17.983	23.162	0.040	0.484%
13.981	17.781	0.121	0.471%
10.011	12.643	0.059	0.471%
5.970	7.486	-0.061	0.482%

References available upon request.

179500048831_2008-01-07.pdf

Abb. 11: Kalibrationsprotokoll des NRG#40 Anemometers auf 48.7 m mit der Seriennummer 48831.

ANEMOMETER CALIBRATION REPORT

Customer: NRG Systems, Inc.

This document reports that a wind tunnel test was performed for the anemometer listed below in accordance with transfer function protocols defined by ASTM D 5096-02, ISO 17713-1, and IEC 61400-12-1. The following data and transfer function is the relationship between the reference wind speed measurement in the wind tunnel test section and the unadjusted signal output from the instrument under test (IUT) given the prescribed speed range.

IUT Model No: NRG #40
IUT Serial No: 179500048834
IUT Output: AC Sine Wave

Test Date and Time: 1/7/08 10:23 AM
Test Speed Range: 4 - 26 m/s

Wind Tunnel Test Facility

Otech Tunnel ID: WT2B
Type: Eiffel (open circuit, suction)
Test Section Size: 0.61 m x 0.61 m x 1.22 m
Manufacturer: Engineering Laboratory Design, Inc.

Measuring Equipment

Reference Speed: Four United Sensor Type PA Pitot-static tubes sensed by an MKS Barotron Type 220D Differential Pressure Transducer (NIST traceable)

Amb. Pressure: Setra Model 270 Barometer (NIST traceable)

Amb. Temperature: OMEGA HX94 SS Probe (NIST traceable)

Relative Humidity: OMEGA HX94 SS Probe (NIST traceable)

Data Acquisition

Hardware: National Instruments CDAQ-9172 USB 2.0 chassis with NI 9205 32-chan 16-bit AI module

Software: National Instruments LabVIEW 8.2.1

Signal Reduction Method for IUT: FFT to determine frequency

Test Conditions

Reference Speed Position Correction = 1

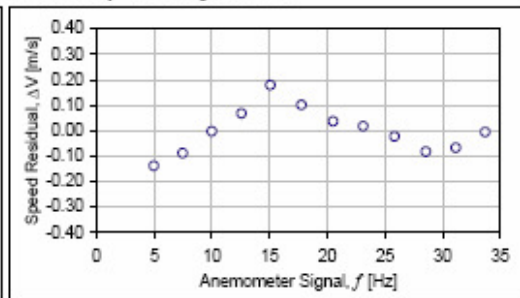
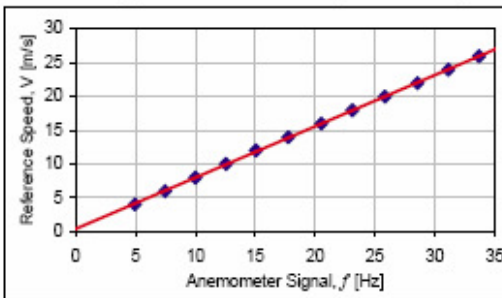
Reference Speed Blockage Correction = 1

Mean Ambient Pressure = 101543 Pa

Mean Ambient Temperature = 20.6 deg C

Mean Relative Humidity = 34.7% RH

Mean Density = 1.2006 kg/cubic meter



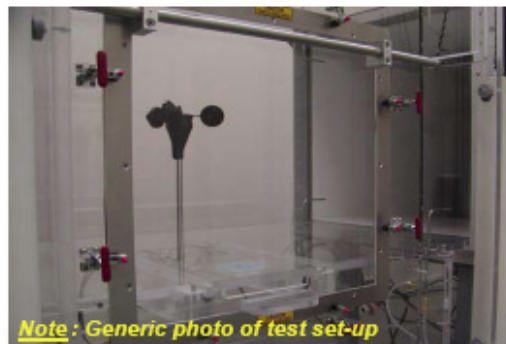
Transfer Function

$$V \text{ [m/s]} = 0.759 f \text{ [Hz]} + 0.39$$

Test Results:

$r = 0.99992$

std. err. estimate = 0.0936 m/s



Note: Generic photo of test set-up

Reference Speed [m/s]	Anemometer Output [Hz]	Residual [m/s]	Ref. Speed Uncertainty
4.014	4.957	-0.138	0.497%
7.978	9.997	-0.002	0.478%
12.008	15.081	0.180	0.485%
16.000	20.507	0.037	0.508%
19.990	25.841	-0.023	0.477%
23.963	31.130	-0.067	0.462%
25.969	33.689	-0.005	0.480%
21.992	28.555	-0.082	0.472%
17.968	23.124	0.018	0.463%
13.975	17.756	0.102	0.474%
10.000	12.568	0.068	0.464%
5.968	7.465	-0.088	0.504%

References available upon request.

179500048834_2008-01-07.pdf

Abb. 12: Kalibrationsprotokoll des NRG#40 Referenz-Anemometers auf 49.4 m mit der Seriennummer 48834.

ANEMOMETER CALIBRATION REPORT

Customer: NRG Systems, Inc.

This document reports that a wind tunnel test was performed for the anemometer listed below in accordance with transfer function protocols defined by ASTM D 5096-02, ISO 17713-1, and IEC 61400-12-1. The following data and transfer function is the relationship between the reference wind speed measurement in the wind tunnel test section and the unadjusted signal output from the instrument under test (IUT) given the prescribed speed range.

IUT Model No: NRG #40
IUT Serial No: 179500048866
IUT Output: AC Sine Wave

Test Date and Time: 1/7/08 10:36 AM
Test Speed Range: 4 - 26 m/s

Wind Tunnel Test Facility

Otech Tunnel ID: WT2B
Type: Eiffel (open circuit, suction)
Test Section Size: 0.61 m x 0.61 m x 1.22 m
Manufacturer: Engineering Laboratory Design, Inc.

Measuring Equipment

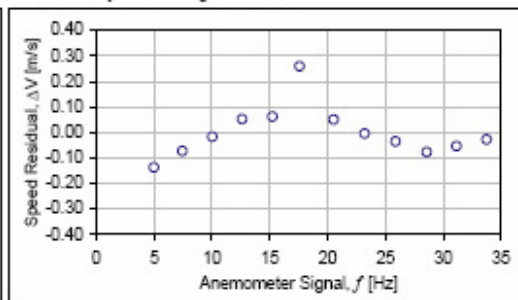
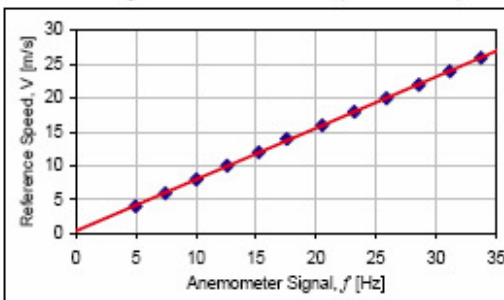
Reference Speed: Four United Sensor Type PA Pitot-static tubes sensed by an MKS Baratron Type 220D Differential Pressure Transducer (NIST traceable)
Amb. Pressure: Setra Model 270 Barometer (NIST traceable)
Amb. Temperature: OMEGA HX94 SS Probe (NIST traceable)
Relative Humidity: OMEGA HX94 SS Probe (NIST traceable)

Data Acquisition

Hardware: National Instruments CDAQ-9172 USB 2.0 chassis with NI 9205 32-chan 16-bit AI module
Software: National Instruments LabVIEW 8.2.1
Signal Reduction Method for IUT: FFT to determine frequency

Test Conditions

Reference Speed Position Correction = 1
Reference Speed Blockage Correction = 1
Mean Ambient Pressure = 101546 Pa
Mean Ambient Temperature = 20.6 deg C
Mean Relative Humidity = 34.9% RH
Mean Density = 1.2006 kg/cubic meter



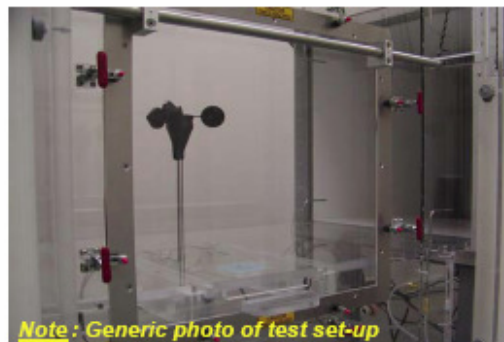
Transfer Function

$$V \text{ [m/s]} = 0.759 f \text{ [Hz]} + 0.37$$

Test Results:

$r = 0.9999$

std. err. estimate = 0.1058 m/s



Note: Generic photo of test set-up

Reference Speed [m/s]	Anemometer Output [Hz]	Residual [m/s]	Ref. Speed Uncertainty
4.015	4.978	-0.137	0.523%
7.980	10.041	-0.017	0.468%
12.004	15.236	0.062	0.462%
16.000	20.514	0.050	0.466%
19.985	25.874	-0.036	0.465%
23.971	31.148	-0.054	0.471%
25.974	33.750	-0.027	0.470%
21.993	28.573	-0.077	0.475%
17.981	23.194	-0.004	0.461%
13.977	17.573	0.260	0.487%
9.994	12.602	0.052	0.466%
5.961	7.455	-0.073	0.483%

References available upon request.

179500048866_2008-01-07.pdf

Abb. 13: Kalibrationsprotokoll des NRG#40 Anemometers auf 36.4 m mit der Seriennummer 48866.

ANEMOMETER CALIBRATION REPORT

Customer: NRG Systems, Inc.

This document reports that a wind tunnel test was performed for the anemometer listed below in accordance with transfer function protocols defined by ASTM D 5096-02, ISO 17713-1, and IEC 61400-12-1. The following data and transfer function is the relationship between the reference wind speed measurement in the wind tunnel test section and the unadjusted signal output from the instrument under test (IUT) given the prescribed speed range.

IUT Model No: NRG #40
IUT Serial No: 179500057161
IUT Output: AC Sine Wave

Test Date and Time: 1/28/08 7:53 PM
Test Speed Range: 4 - 26 m/s

Wind Tunnel Test Facility

Otech Tunnel ID: WT2B
Type: Eiffel (open circuit, suction)
Test Section Size: 0.61 m x 0.61 m x 1.22 m
Manufacturer: Engineering Laboratory Design, Inc.

Measuring Equipment

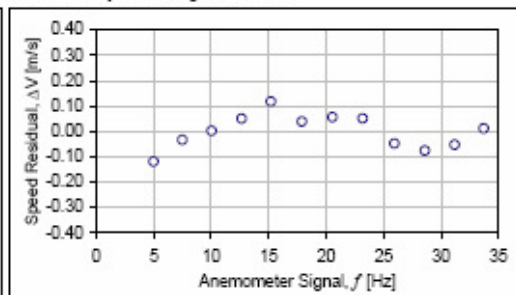
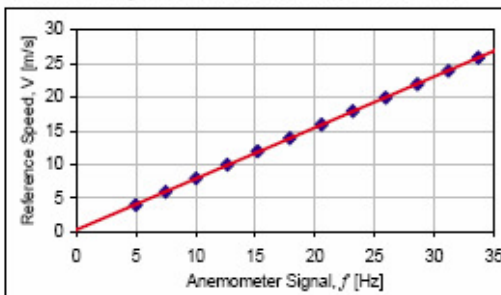
Reference Speed: Four United Sensor Type PA Pitot-static tubes sensed by an MKS Barotron Type 220D Differential Pressure Transducer (NIST traceable)
Amb. Pressure: Setra Model 270 Barometer (NIST traceable)
Amb. Temperature: OMEGA HX94 SS Probe (NIST traceable)
Relative Humidity: OMEGA HX94 SS Probe (NIST traceable)

Data Acquisition

Hardware: National Instruments CDAQ-9172 USB 2.0 chassis with NI 8205 32-chan 16-bit AI module
Software: National Instruments LabVIEW 8.2.1
Signal Reduction Method for IUT: FFT to determine frequency

Test Conditions

Reference Speed Position Correction = 1
Reference Speed Blockage Correction = 1
Mean Ambient Pressure = 101878 Pa
Mean Ambient Temperature = 21 deg C
Mean Relative Humidity = 33.9% RH
Mean Density = 1.203 kg/cubic meter

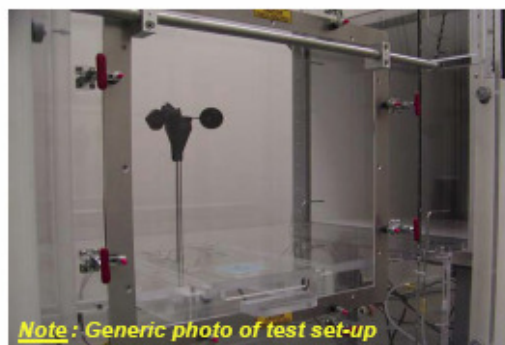


Transfer Function Test Results:

$$V \text{ [m/s]} = 0.76 f \text{ [Hz]} + 0.3$$

$r = 0.99996$

std. err. estimate = 0.0707 m/s



Note: Generic photo of test set-up

Reference Speed [m/s]	Anemometer Output [Hz]	Residual [m/s]	Ref. Speed Uncertainty
3.975	4.991	-0.119	0.517%
7.931	10.038	0.002	0.492%
11.961	15.190	0.118	0.470%
15.972	20.550	0.057	0.480%
19.958	25.933	-0.048	0.469%
23.946	31.188	-0.053	0.476%
25.916	33.697	0.012	0.458%
21.948	28.589	-0.076	0.470%
17.957	23.169	0.051	0.481%
13.940	17.899	0.039	0.479%
9.970	12.658	0.050	0.468%
5.962	7.494	-0.034	0.564%

References available upon request.

179500057161_2008-01-28.pdf

Abb. 14: Kalibrationsprotokoll des NRG#40 Anemometers auf 27.9 m mit der Seriennummer 57161.