

Test Rapport Montana

Jochem Vermeir

Fluid mechanics and Thermodynamics Research group (FTRG)

Erasmushogeschool Brussel

Nijverheidskaai, Brussels 1070, Belgium

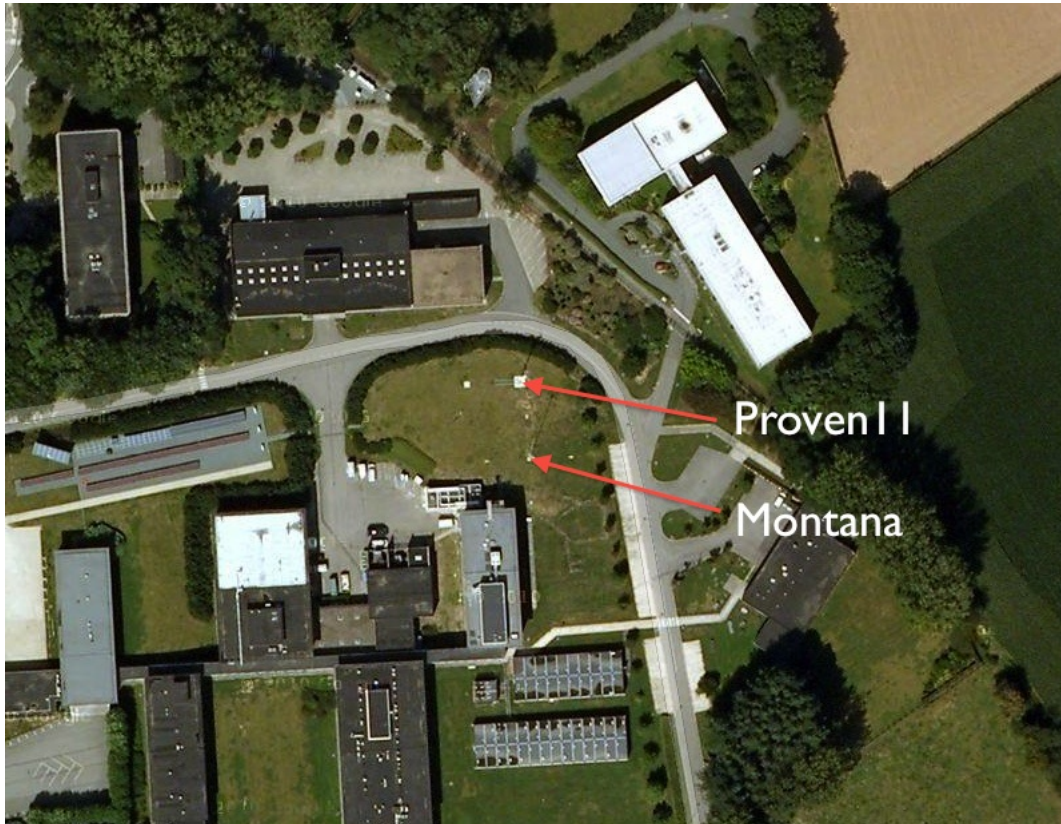
19 september 2012

1 Omschrijving wind turbine

- Montana Fortis Wind energy
- Rotor diameter = 5 m
- Nominaal vermogen = 5 kW
- Nominale wind snelheid = 15 m/s
- Aantal rotorbladen = 3
- Ashoogte 24 m
- Toren verankerd met kabels

2 Omschrijving test site

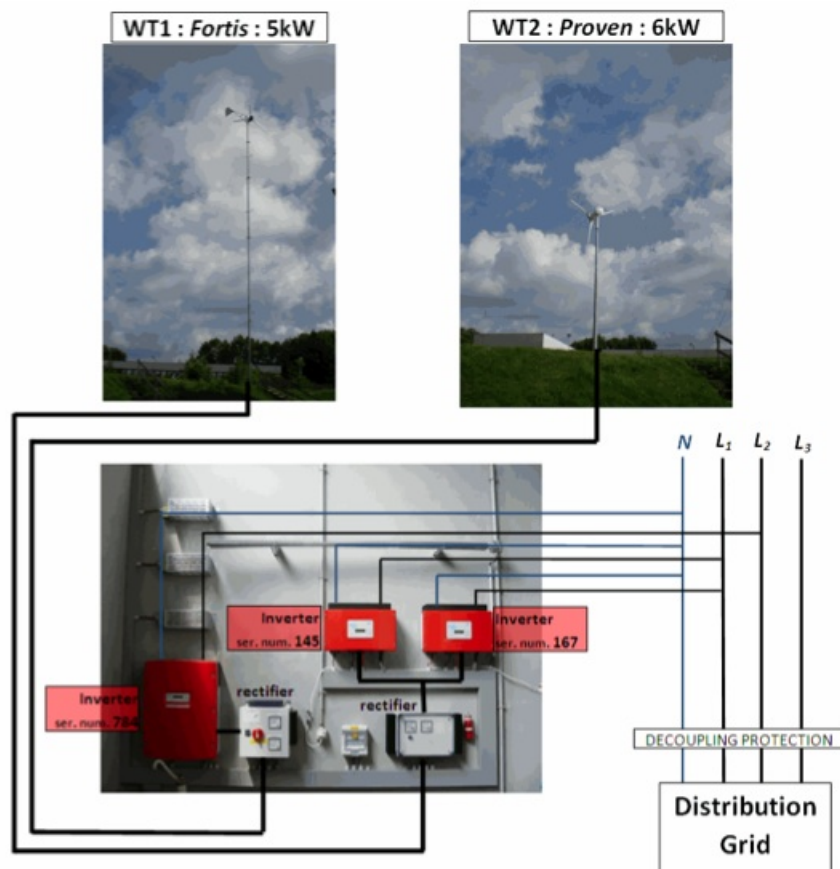
De turbine is geïnstalleerd op de bedrijvensite van Laborelec te Linkebeek. Op figuur 1 is een grondplan te zien van de plaats van de windturbine op dit bedrijventerrein.



Figuur 1: Grondplan installatie

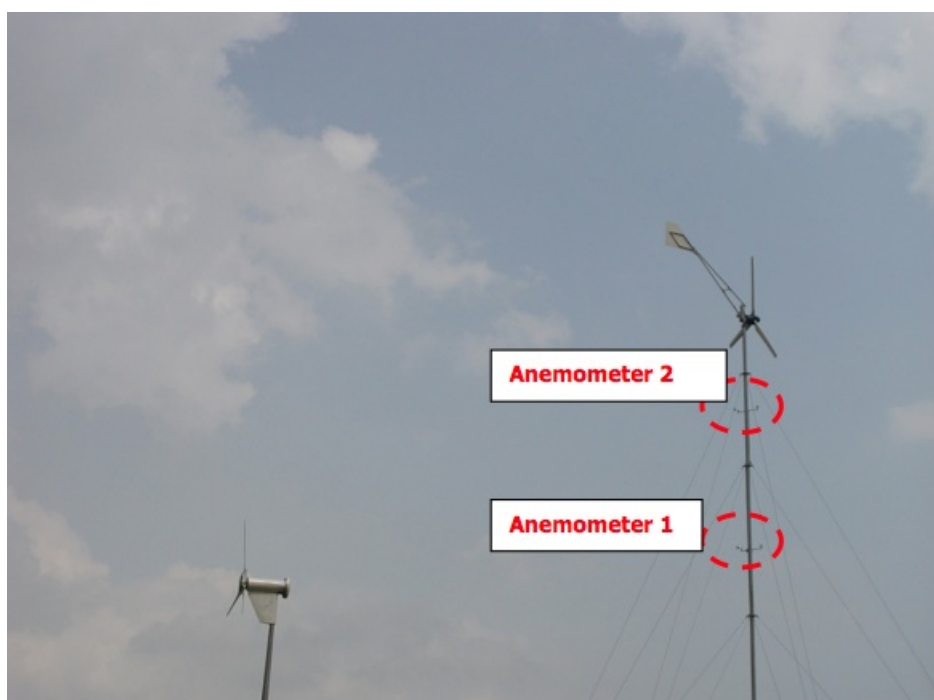
3 Omschrijving Test materiaal

De connectie met het net is tweefasig (Figuur 2). Er wordt gebruik gemaakt van 2 invertoren (type Windyboy) van 2,3 kW. Het vermogen afkomstig van de windturbine wordt eerst gelijkgericht om nadien terug naar een sinusvormige stroom te worden omgevormd met de juiste frequentie in de inverter.



Figuur 2: Netconnectie

De anemometer werd op de mast van de turbine zelf bevestigd. De hoogte van de bevestiging is gelijk aan 18 m. In figuur 3 (anemometer 2) is een situatieschets te zien van de wind metingen. Volgens de IEC 61400-12-1 normen dient de windsnelheid echter op $\pm 2,5\%$ van de ashoogte gemeten worden. Aangezien er 2 windmetingen simultaan plaatsvinden, kan de windsnelheid op ashoogte geëxtrapoleerd worden. De berekeningen voor de extrapolatie zijn terug te vinden in hoofdstuk 6: Resultaten van de windmetingen voor de testsite.



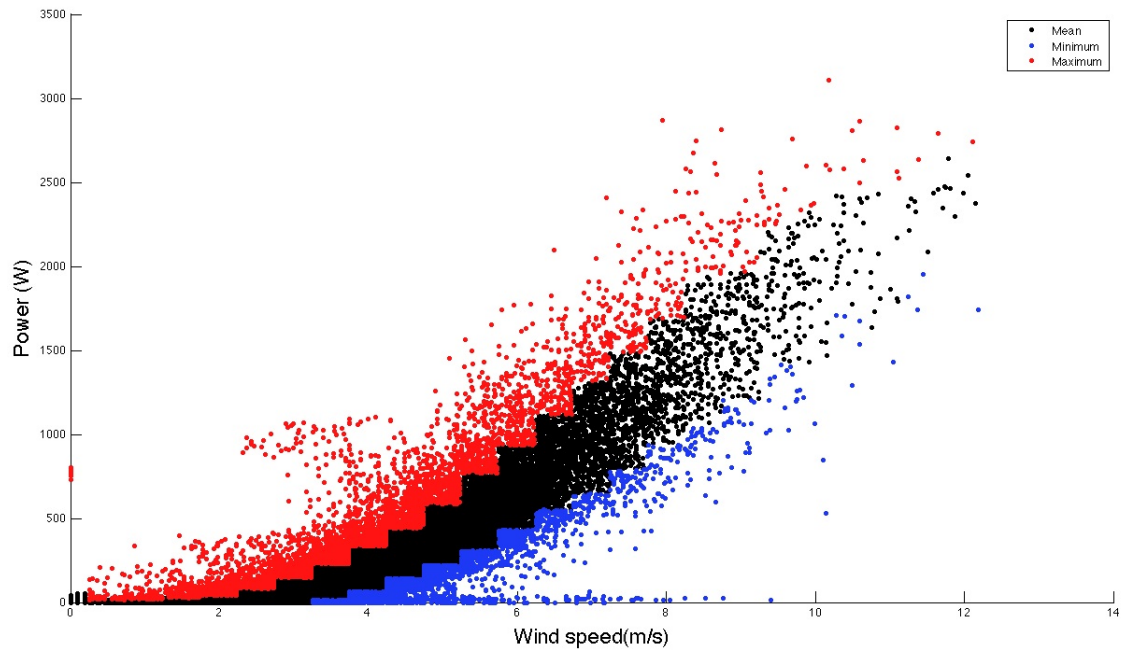
Figuur 3: Wind meting

4 Omschrijving meet procedure

- Meetperiode ± 1 jaar
- Start vermogensmetingen 01/01/09
- Start windmetingen 16/01/09
- Einde metinge 01/01/10
- Uitmiddelingperiode voor de vermogensmetingen = 5 min
- Uitmiddelingperiode voor de windmetingen = 10 min

5 Presentatie van de metingen

In figuur 4 worden alle meetpunten weergegeven in een grafiek, met een onderverdeling van hun afwijking tegenover het gemiddelde.



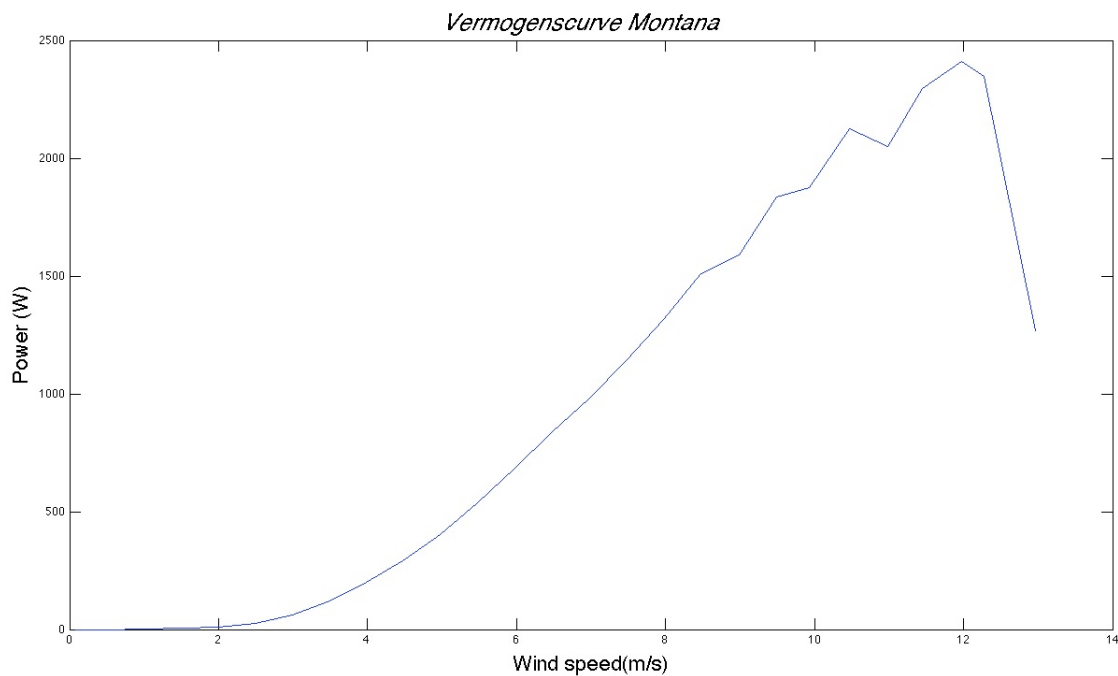
Figuur 4: Scatter Plot

Voor het opstellen van de vermogenscurve van de turbine zijn de resultaten opgedeeld in bins van 0,5 m/s. De eerste 2 bins zijn weggelaten omdat deze geen bruikbare resultaten leveren. Aangezien er geen metingen zijn waar de windsnelheid boven 13,2 m/s bestaat is het aantal bins gereduceerd. In tabel 1 worden de statistische resultaten van de metingen in tabelvorm weergegeven. De windsnelheden die gebruikt zijn voor het verwerken van de metingen zijn zoals eerder vermeld de geëxtrapoleerde waarden naar ashoogte.

Tabel 1: Calibration 1

Bin	$U_{Mean}(m/s)$	$P_{Mean}(W)$	$P_{Min}(W)$	$P_{Max}(W)$	$P_{std}(W)$	Nr. samples	C_p
3	1,0	2,61	0,0	800,1	15,1	2708	0,217
4	1,5	4,6	0,0	398,4	22,9	3942	0,113
5	2,0	9,9	0,0	374,6	30,9	5112	0,103
6	2,5	24,9	0,0	1005,2	58,1	5633	0,133
7	3,0	62,9	0,0	1070,8	85,3	5326	0,194
8	3,5	120,9	0,0	1048,8	108,4	4767	0,234
9	4,0	199,4	0,0	1101,4	134,5	4173	0,259
10	4,5	292,0	0,0	1088,3	150,9	3439	0,266
11	5,0	403,1	0,0	1450,1	181,7	2720	0,268
12	5,5	537,6	0,0	1653,2	229,3	2094	0,269
13	6,0	682,9	0,0	1773,2	250,1	1588	0,263
14	6,5	834,7	0,0	2098,7	283,2	1059	0,253
15	7,0	983,2	0,0	2405,8	333,4	808	0,238
16	7,5	1140,6	13,1	2333,6	346,2	601	0,225
17	8,0	1316,4	13,8	2868,9	369,0	373	0,214
18	8,5	1511,0	22,7	2811,6	445,8	238	0,205
19	9,0	1588,7	25,4	2393,9	378,4	166	0,181
20	9,5	1834,8	12,4	2756,3	412,3	98	0,178
21	10,0	1875,3	533,0	3108,5	457,6	57	0,156
22	10,5	2124,3	1290,2	2866,5	357,2	36	0,153
23	11,0	2051,1	1429,5	2824,6	421,1	13	0,128
24	11,5	2294,7	1742,2	2789,1	288,7	15	0,125
25	12,0	2411,4	1740,5	2742,8	285,1	9	0,116
26	12,3	2348,9	2348,9	2348,9	0,0	1	0,100
27	13,0	1268,3	157,1	2130,0	1009,8	3	0,048

Deze waarden kunnen nu gebruikt worden in een grafiek die dan de vermogenscurve weergeeft. Door het lage aantal meetpunten in de laatste bins, heeft de curve een abnormaal verloop bij hogere snelheden. Het vermogen in deze bins is lager dan verwacht. Dit wordt wellicht veroorzaakt door rukwinden die optreden in een 10 min uitgemiddelde periode. Deze rukwinden (korte periode sterkere windsnelheid) zorgen voor een hoger gemiddelde van de windsnelheid, terwijl de windturbine vanwege zijn traagheid de hogere windsnelheid niet kan omzetten in een hogere energieproductie. In figuur 5 wordt deze vermogenscurve weergegeven.



Figuur 5: Vermogenscurve Montana

De vermogensfactor C_p kan berekend worden aan de hand van onderstaande formule. In figuur 6 wordt (C_p) weergegeven voor de verschillende windsnelheden uit de bins. Wat meteen opvalt zijn de hoge waarden bij lagere snelheden. Dit is wellicht te wijten aan de invloed van extreme waarden binnen de meetperiode bij lage windsnelheden. Indien de uitmiddelingperiode kleiner zou genomen worden (bijvoorbeeld 1 min) dan zou de C_p -curve een ander verloop kennen bij lage windsnelheden.

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho AU^3} \quad (1)$$

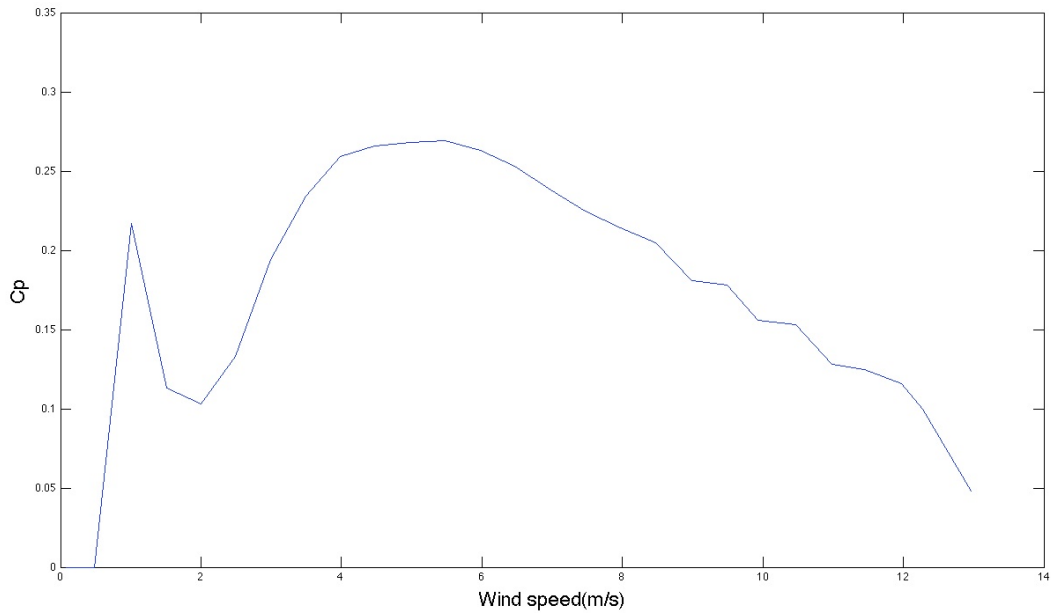
Met

P is het gemeten vermogen [W]

ρ is de luchtdichtheid. De waarde die wordt gebruikt is gestandaardiseerd [1.225 kg/m³]

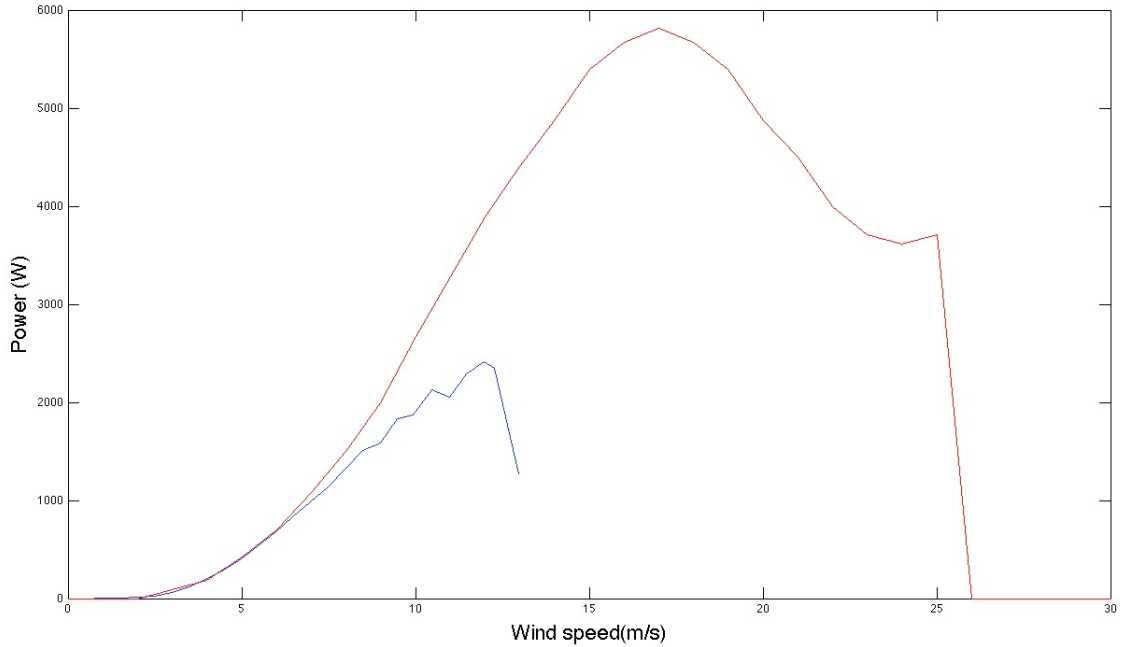
A is het rotoroppervlak [m²]

U is de windsnelheid op ashoogte [m/s]



Figuur 6: Cp-curve

De gemeten vermogenscurve kan vergeleken worden met de gegevens van de fabrikant. Deze vergelijking wordt weergegeven in figuur 7. Het valt op dat er een goede overeenkomst is tussen beide curven bij lage windsnelheden. Naarmate de windsnelheid groter wordt, vergroot ook de afwijking. Bij de hoogst gemeten windsnelheden is het verschil relatief groot wat wellicht te wijten is aan het lage aantal meetpunten in deze bins.



Figuur 7: Vergelijking gemeten vermogenscurve met gegevens fabrikant

De jaarlijkse energie productie kan berekend worden op basis van de Rayleigh verdeling. De rayleigh verdeling wordt berekend aan de hand van de volgende formule.

$$F(U_i) = 1 - \exp\left(\frac{-\pi}{4} \left(\frac{U_i}{U_{Mean}}\right)^2\right) \quad (2)$$

Met

$F(U_i)$ is de cumulatieve kansdichtheidsfunctie voor de windsnelheid

U_i is de gemiddelde windsnelheid in bin i [m/s]

U_{Mean} is de jaargemiddelde windsnelheid op ashoogte [m/s]

Op basis van deze windsnelheidsverdeling kan een schatting gemaakt worden van de jaarlijkse opbrengst voor een bepaalde gemiddelde windsnelheid. De formule die hiervoor gehanteerd wordt is de volgende :

$$AEP = N_h \sum_{i=1}^N [F(U_i) - F(U_{i-1})] \left(\frac{P_{i-1} + P_i}{2}\right) \quad (3)$$

Met

AEP de jaarlijkse energieopbrengst [kWh/jaar]

N_h het aantal uren per jaar (± 8760) [u]

N het aantal bins

Volgens de IEC-61400-12-1 normen moet dit nagegaan worden voor jaar-gemiddelde windsnelheden van 4,5,6,7,8,9,10,11 m/s en eventueel voor de ge-middelde windsnelheid (3,3 m/s) voor de testsite. Aangezien er geen meet-resultaten zijn voor snelheden boven 13,2 m/s is het niet mogelijk om de jaarlijkse opbrengst te berekenen voor windsnelheden hoger dan 4 m/s.

Tabel 2: Calibration 1

$U_{Mean}(m/s)$	$AEP(kWh/jaar)$
2,5	756,3
3	1342,8
3,3	1714,1
3,5	2087,2
4	2952,6

6 Resultaten van de windmetingen voor de testsite

Zoals vermeld in hoofdstuk 3 is de windsnelheid niet gemeten op ashoogte maar op 18 m hoogte. Aangezien er ook een 2de anemometer aanwezig was in hetzelfde vlak kan de windsnelheid naar ashoogte worden geëxtrapoleerd. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de volgende vereenvoudigde formule:

$$U(Z) = U(Z_R) \frac{\ln\left(\frac{Z_R}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)} \quad (4)$$

Met

$U(Z_R)$ de gemeten windsnelheid op 18 m hoogte [m/s]

$U(Z)$ de windsnelheid op ashoogte namelijk 24 m [m/s]

Z_0 de ruwheidslengte [m]

Met de gemeten windsnelheid op 18 m en 15 m hoogte kan voor elk datapunt de ruwheidslengte bepaald worden. Aan de hand van deze ruwheidslengte en de windsnelheid op 18 m hoogte kan de windsnelheid op 24 m geëxtrapoleerd worden.

Het gemiddelde voor de test site voor het jaar 2009 op een hoogte van 18 m bedraagt zoals hierboven vermeld 2,6 m/s. In tabel 3 worden de maandelijkse gemiddelde windsnelheden tijdens de meetperiode weergegeven.

Tabel 3: Calibration 1

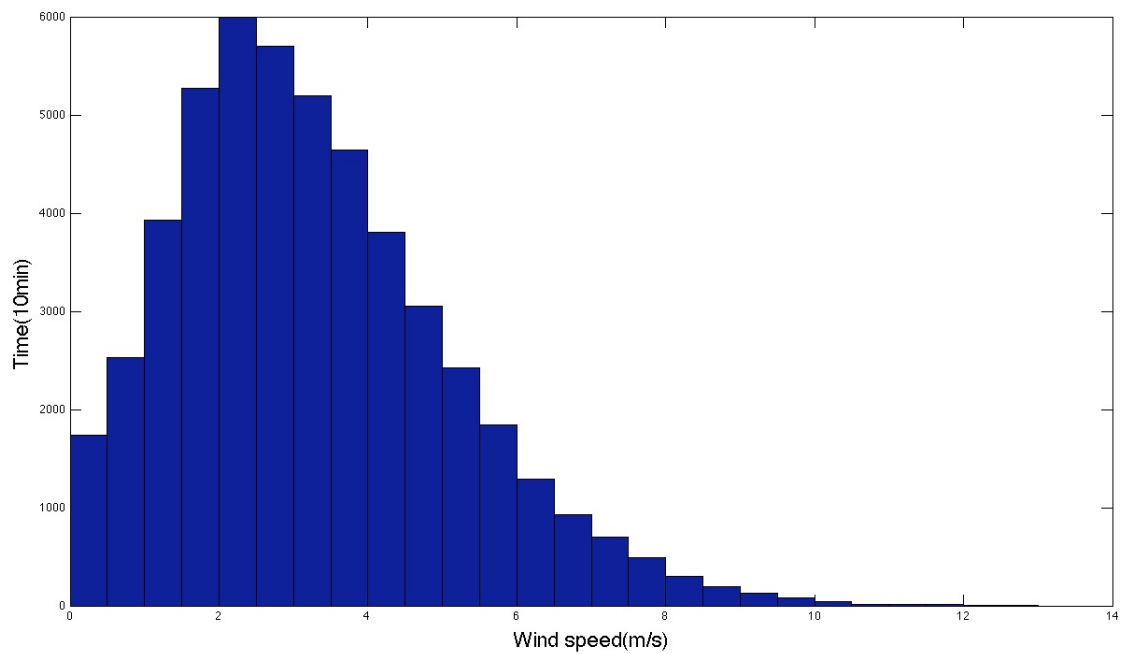
Maand	Gemiddelde (m/s)	Maximum (m/s)
Januari	3,4	10,8
Februari	2,4	9,2
Maart	3,0	8,9
April	2,1	8,4
Mei	2,4	11,1
Juni	2,1	10,0
Juli	2,5	8,3
Augustus	1,9	8,6
September	2,3	8,8
Oktober	2,2	7,9
November	4,0	11,1
December	3,0	7,6

Dezelfde tabel (tabel 4) kan nu opgesteld worden voor een ashoogte van 24 m. Dit zijn ook de windsnelheden die gebruikt zijn om de vermogenscurve te bepalen. De gemiddelde windsnelheid voor deze hoogte is 3,3 m/s.

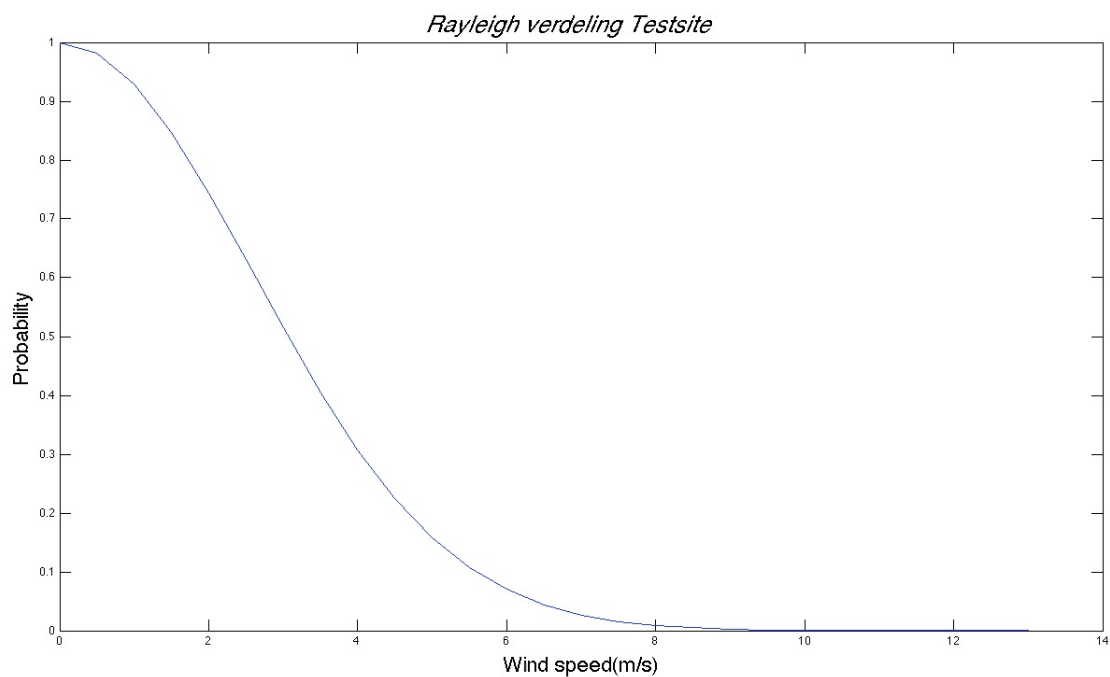
Tabel 4: Calibration 1

Maand	Gemiddelde (m/s)	Maximum (m/s)
Januari	4,1	12,3
Februari	3,1	11,4
Maart	3,7	10,4
April	2,8	10,6
Mei	3,0	13,0
Juni	2,8	11,3
Juli	3,1	10,0
Augustus	2,4	9,9
September	3,0	10,4
Oktober	2,9	9,6
November	4,9	13,2
December	3,8	9,2

In figuur 8 en figuur 9 worden resp. een frequentietabel en een rayleigh verdeling weergegeven van de verschillende windsnelheden op ashoogte.

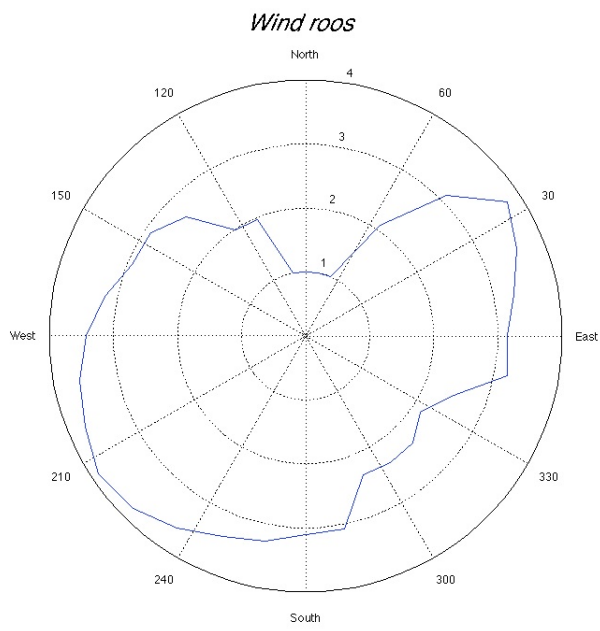


Figuur 8: Frequentie tabel



Figuur 9: Rayleigh verdeling windsnelheid

In figuur 10 wordt een windroos weergegeven met de gemiddelde windsnelheid per windrichting op ashoogte.



Figuur 10: Wind roos