

Test Rapport Proven 11

Jochem Vermeir

Fluid mechanics and Thermodynamics Research group (FTRG)

Erasmushogeschool Brussel

Nijverheidskaai, Brussels 1070, Belgium

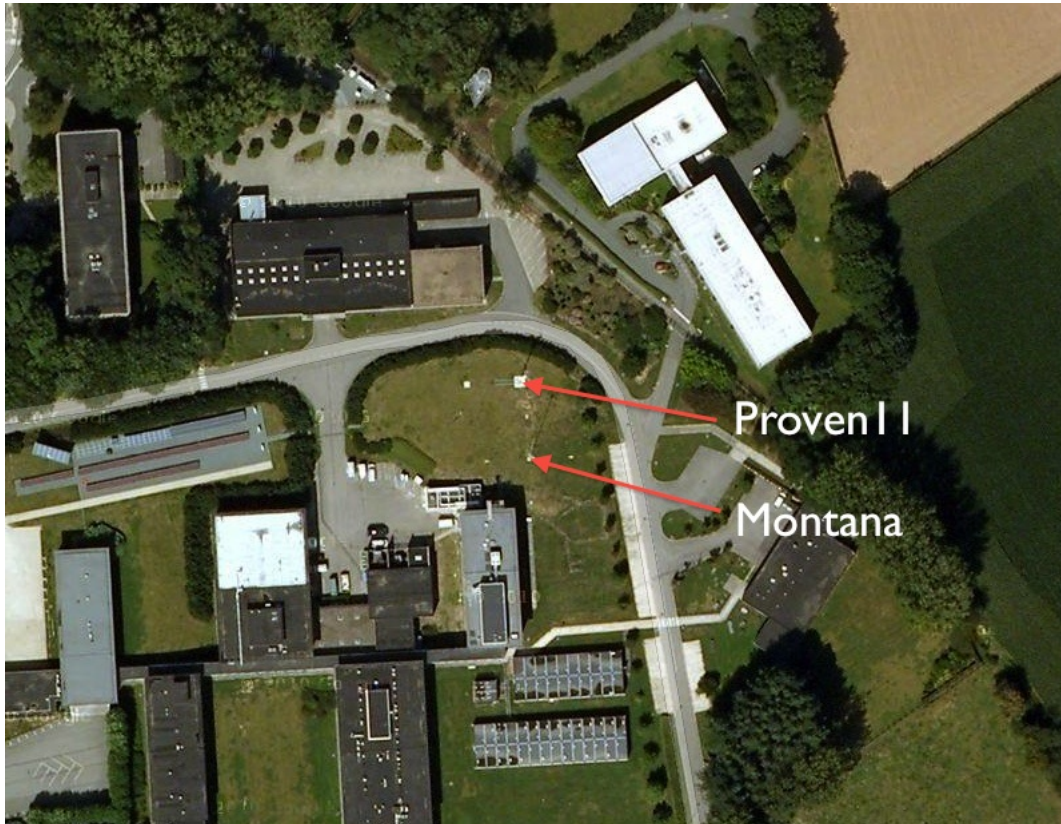
19 september 2012

1 Omschrijving wind turbine

- Proven 11 van Proven Energy
- Rotor diameter = 5,5 m
- Nominaal toerental = 200 tr/min
- Nominaal vermogen = 5.2 kW
- Nominale wind snelheid = 11 m/s
- Aantal rotorbladen = 3
- "Pitch" hoek variabel
- Ashoogte 15 m
- Toren verankerd met kabels

2 Omschrijving test site

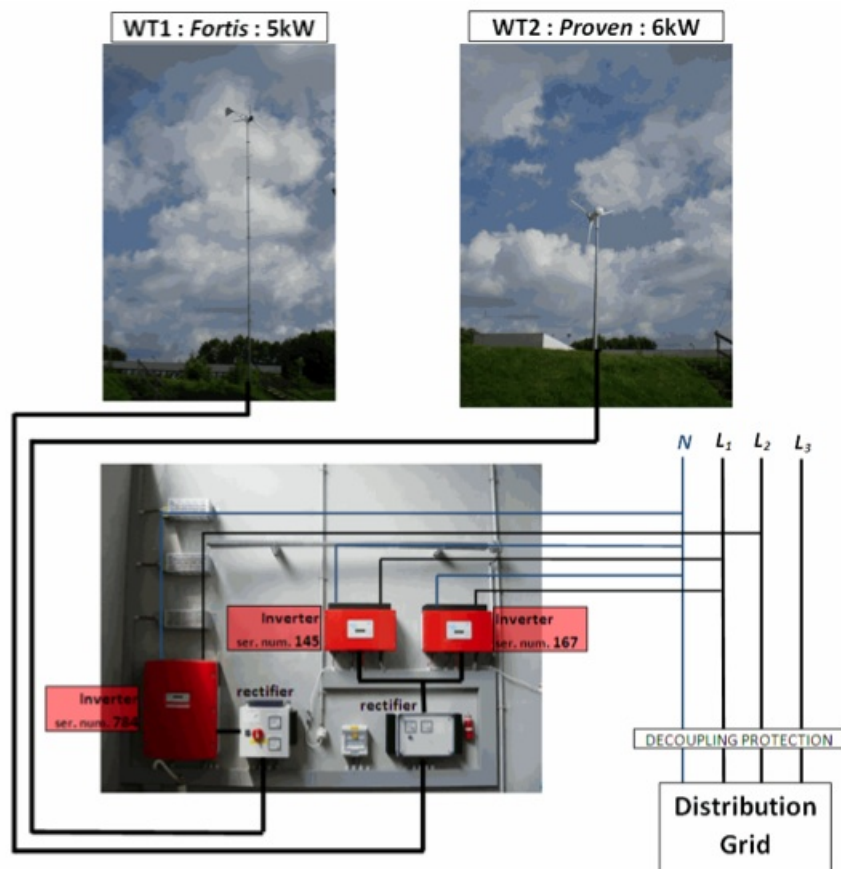
De turbine is geïnstalleerd op de bedrijvensite van Laborelec te Linkebeek. Op figuur 1 is een grondplan te zien van de plaats van de windturbine op dit bedrijventerrein.



Figuur 1: Grondplan installatie

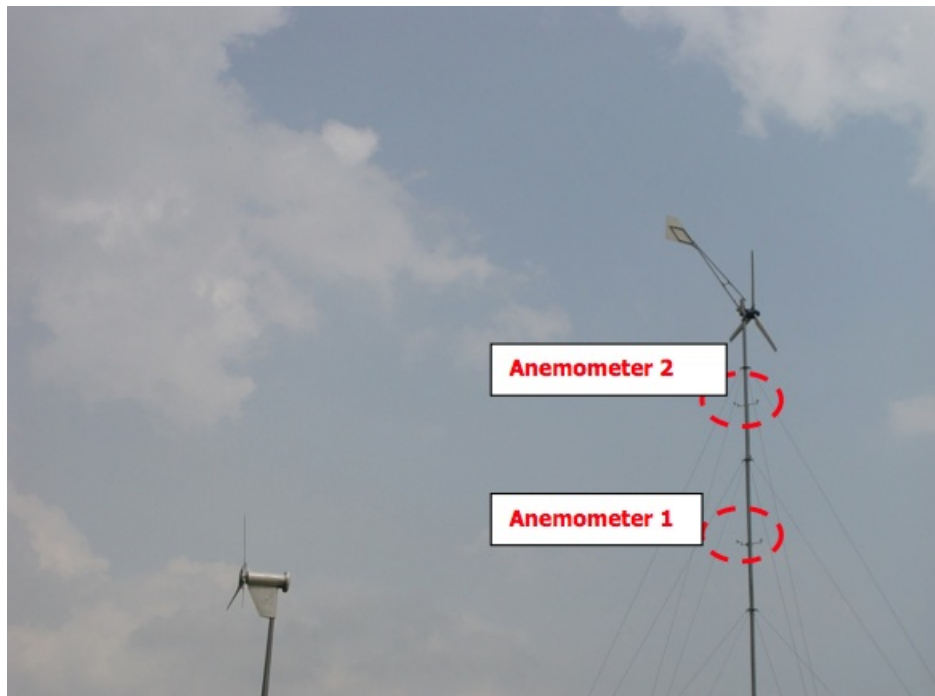
3 Omschrijving Test materiaal

De connectie met het net is enkelfasig (Figuur 2). De inverter die hiervoor gebruikt wordt is een windyboy met serienummer 784. 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 bevestigd van een nabijgelegen turbine (fortis montana). De hoogte van de bevestiging is gelijk aan de ashoogte van de Proven wind turbine. In figuur 3 (anemometer 1) is een situatieschets te zien van de wind metingen.



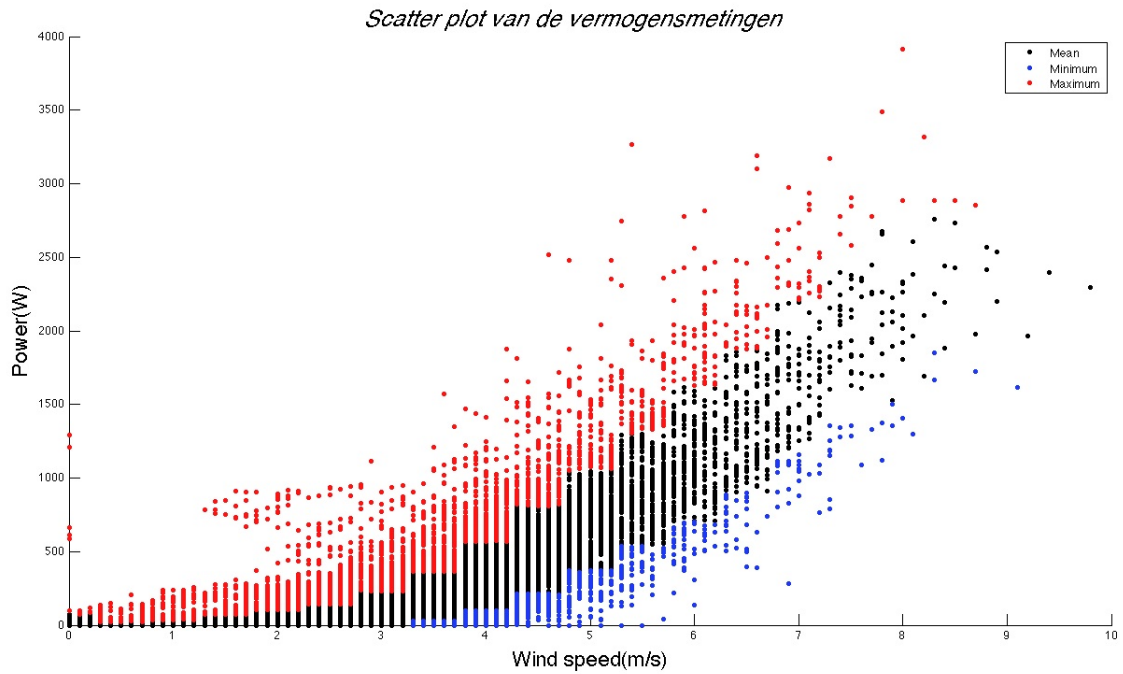
Figuur 3: Wind meting

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.



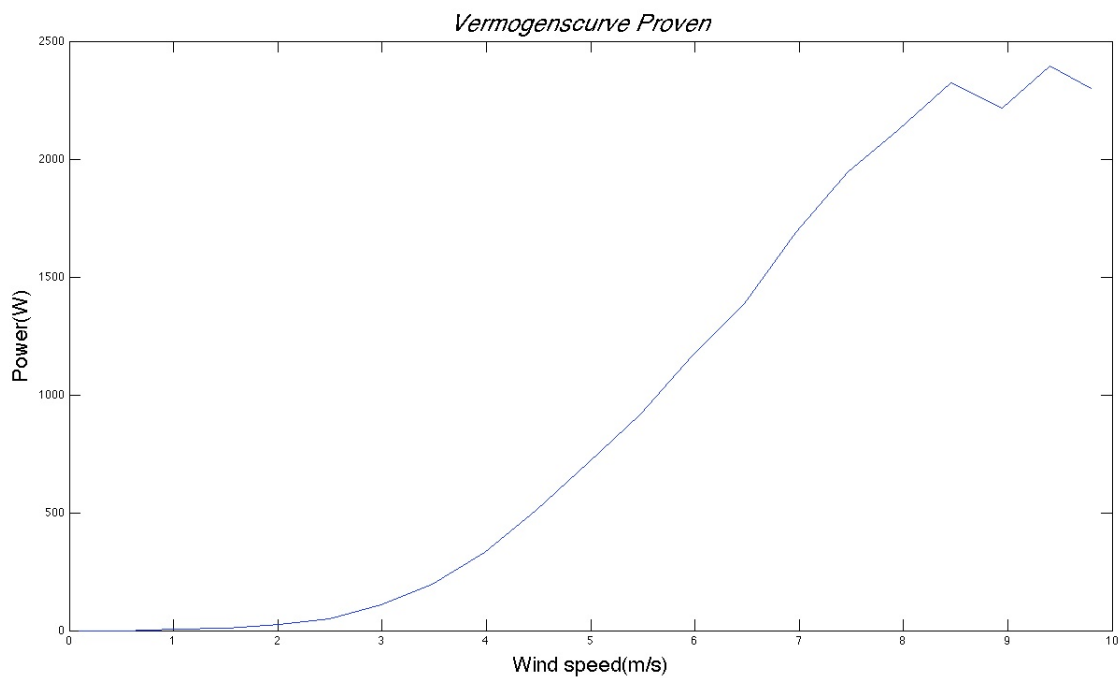
Figuur 4: Scatter Plot

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 9,8 m/s bestaat is het aantal bins sterk gereduceerd. In tabel 1 worden de statistische resultaten van de metingen in tabelvorm weergegeven.

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	6,0	0,0	1291,0	26,8	2990	0,41
4	1,5	11,1	0,0	913,5	58,8	3762	0,23
5	2,0	24,5	0,0	918,4	77,0	4659	0,21
6	2,5	50,4	0,0	944,7	89,7	4799	0,22
7	3,0	107,5	0,0	1114,7	123,1	4149	0,27
8	3,5	196,0	0,0	1570,0	169,4	3255	0,31
9	4,0	331,5	0,0	1878,8	235,0	2247	0,36
10	4,5	511,1	0,0	2516,9	298,0	1557	0,39
11	5,0	713,4	0,0	2481,8	339,4	995	0,39
12	5,5	919,6	0,0	3265,6	379,9	627	0,38
13	6,0	1163,4	136,0	2817,2	462,5	377	0,37
14	6,5	1387,3	390,8	3192,3	483,2	219	0,35
15	7,0	1689,6	283,8	2977,6	514,0	149	0,34
16	7,5	1945,1	790,2	3172,8	506,6	65	0,32
17	8,0	2126,5	1119,8	3911,5	624,7	34	0,29
18	8,5	2323,3	1666,2	2886,7	451,2	14	0,26
19	9,0	2215,1	1615,8	2566,4	370,8	6	0,21
20	9,4	2394,2	2394,2	2394,2	0	1	0,2
21	9,8	2297,8	2297,8	2297,8	0	1	0,17

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 Proven

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 voor een windturbine met deze afmetingen. Dit is wellicht te wijten aan de grote fluctuaties die de wind heeft op relatief lage hoogte.

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

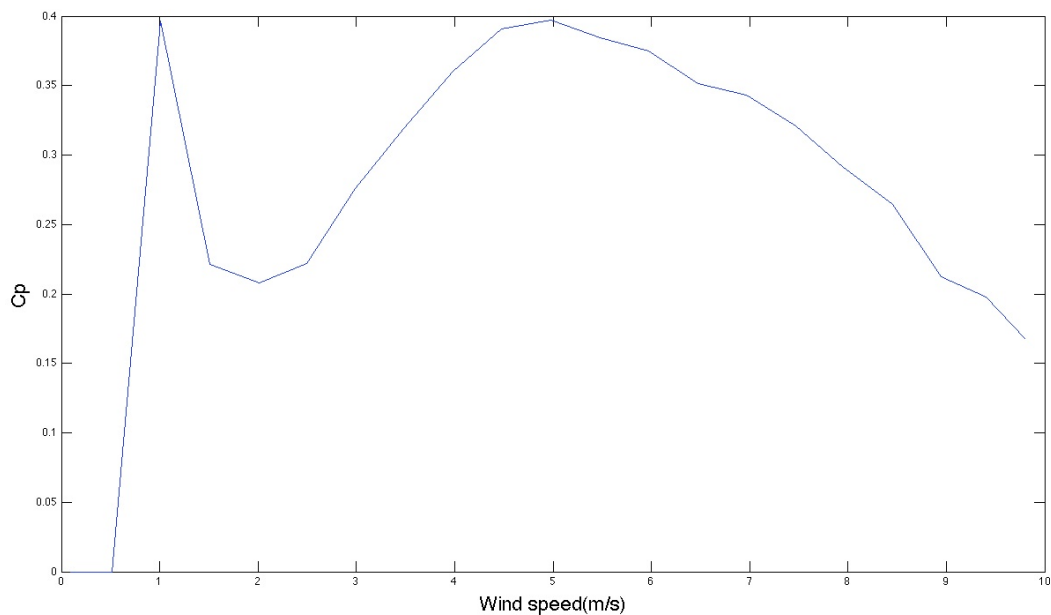
Met

P is het gemeten vermogen [W]

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

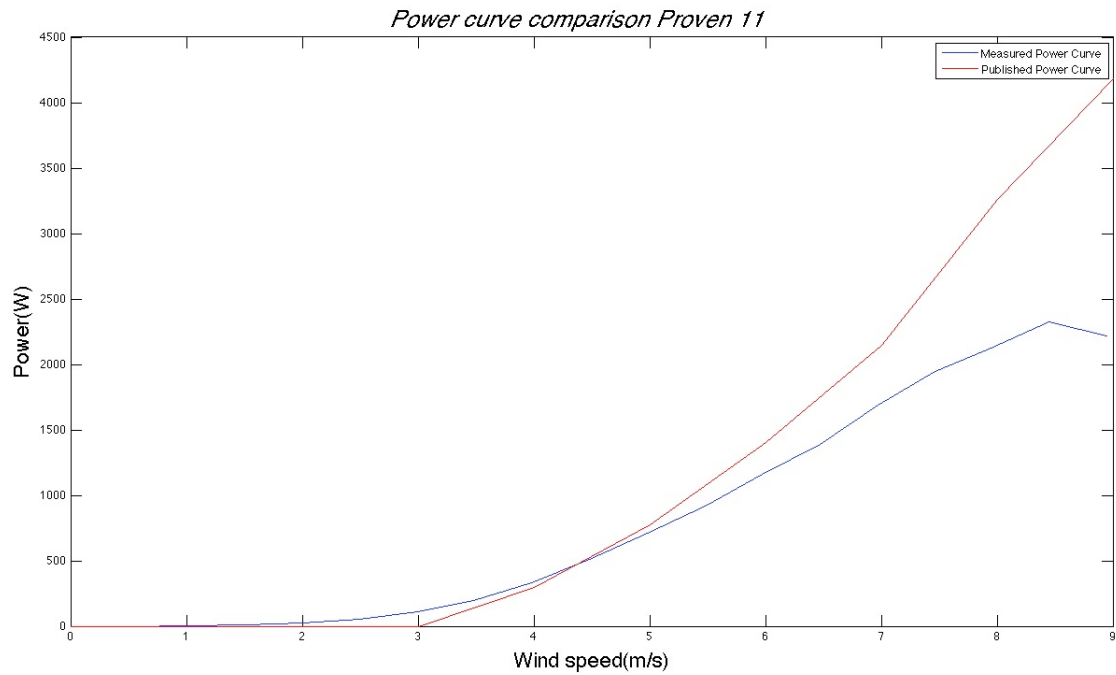
A is het rotoroppervlak [m²]

U is de windsnelheid op ashoogte [m/s]



Figuur 6: C_p -curve

Indien de uitmiddelingperiode kleiner zou genomen worden (bijvoorbeeld 1 min) dan zou de vermogenscurve en de C_p -curve een ander verloop kennen. Nu is door invloed van enkele extreme waarden van de wind in een bepaalde uitmiddelingperiode, het verloop van C_p volledig verstoord. Dit besluit kunnen we nemen indien we de vermogenscurve gaan vergelijken met de vermogenscurve van de fabrikant. Deze vergelijking wordt weergegeven in figuur 7.



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 jaargemiddelde windsnelheden van 4,5,6,7,8,9,10,11 m/s en eventueel voor de gemiddelde windsnelheid voor de testsite. Aangezien er geen meetresultaten zijn voor snelheden boven 9,8 m/s is dit enkel berekend voor 2,1 (gemiddelde windsnelheid voor de site), 2,5 en 3 m/s. De jaarlijkse opbrengsten hiervoor bedragen resp. 761, 1309 en 2290 kWh/jaar.

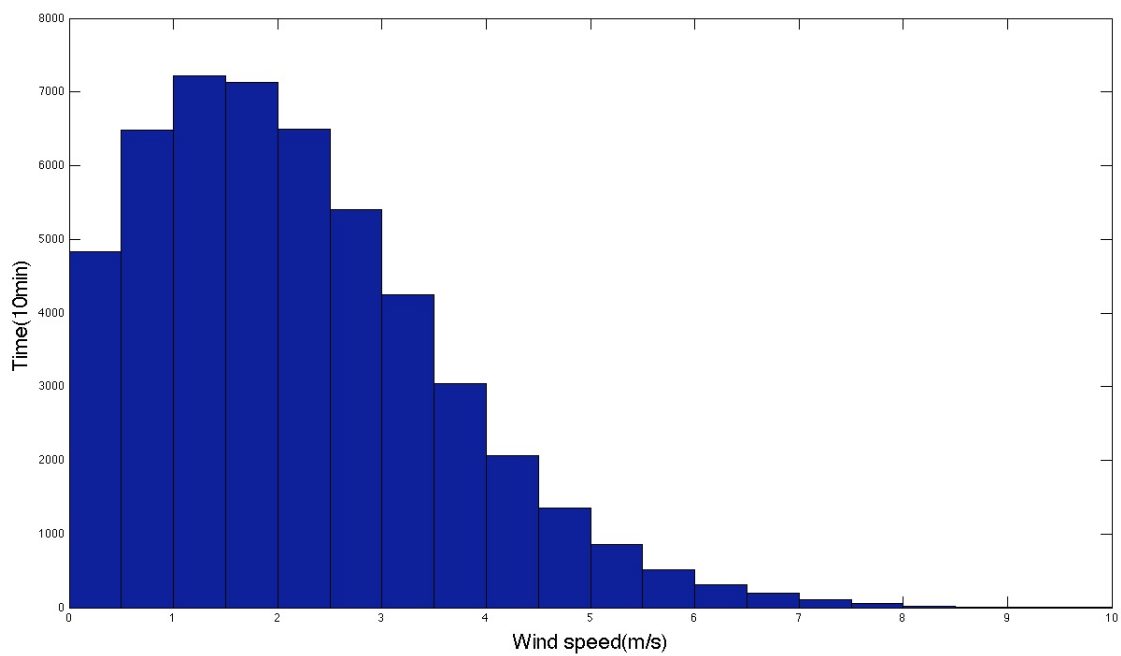
6 Resultaten van de windmetingen voor de testsite

Het gemiddelde voor de test site voor het jaar 2009 bedraagt zoals hierboven vermeld 2,1 m/s. In tabel 2 worden de maandelijkse gemiddelde windsnelheden tijdens de meetperiode weergegeven.

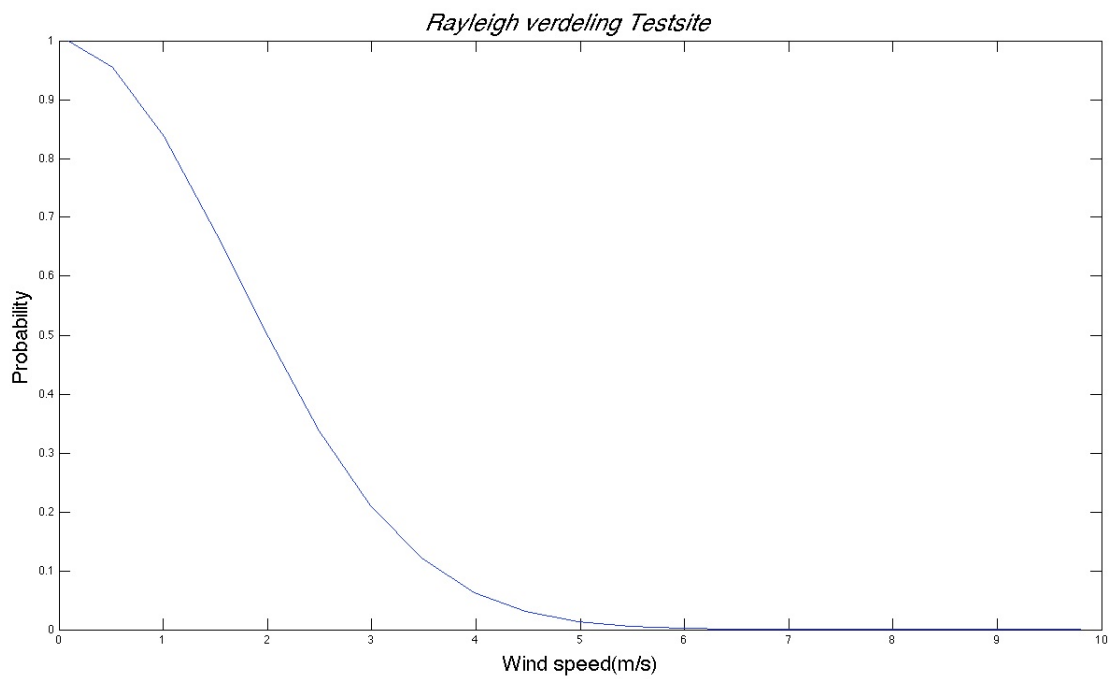
Tabel 2: Calibration 1

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

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

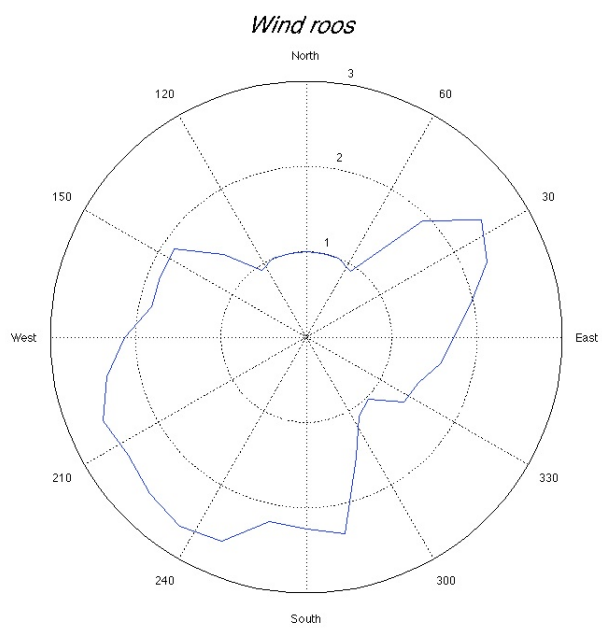


Figuur 8: Frequentie tabel



Figuur 9: Rayleigh verdeling windsnelheid

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



Figuur 10: Wind roos