

# Resultaten testveld kleine windturbines Schoondijke

Resultaten van vier jaar testen  
op het testveld voor kleine windturbines te Schoondijke

Rapport 1001214.R03  
11 december 2012



© Ingreenious BV. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the author.

Opdrachtgever:	Project Groep Schoondijke
Rapport nummer:	1001214.R03
Datum:	11 december 2012
Auteur:	dr. Sander Mertens
E-mail:	sandermertens@ingreenious.com
Website:	www.ingreenious.com

# Samenvatting

Op het testveld voor kleine windturbines nabij Schoondijke zijn een aantal kleine windturbines nu zo'n vier jaar getest. Tijd om de testresultaten te evalueren en te bezien waar kansen liggen. De projectgroep Schoondijke heeft hiertoe een file met alle testdata van de afgelopen 4 jaar aan Ingreenious verstrekt en gevraagd de meetresultaten te analyseren.

Dit rapport geeft een uitwerking van de meetresultaten van 4 jaar meten aan kleine windturbines op het testveld te Schoondijke. De lange meetperiode maakt de meetresultaten uniek in de wereld. Het rapport geeft PV-curve, efficiency, capaciteitsfactor, downtime en kostprijs van de energie van de geteste windturbines. Verder is een trendanalyse van het vermogen als functie van de tijd bij gegeven windsnelheid uitgevoerd bij enkele turbines die 3 jaar of langer getest zijn.

De verschillen in prestaties tussen de geteste windturbines bleken groot. Grotere windturbines bleken beter te presteren, maar zijn natuurlijk niet overal te plaatsen. Een verassend resultaat is dat enkele windturbines beter presteerden na 4 jaar testen dan aan het begin van de test, er kwam aan het eind van de test bij dezelfde windsnelheid tot 20% meer vermogen uit deze turbines dan in het begin van de test.

Behoudens enkelen, bleken de door de fabrikanten opgegeven PV-curves redelijk te kloppen met de metingen op het testveld Schoondijke. De meeste turbines bleken ook betrouwbaar, ze stonden slechts maximaal 5% van de tijd uit. De metingen gaven wel aan dat de meeste turbines een te grote generator hadden, de turbines hadden een capaciteitsfactor van flink onder de 20% en in extreme gevallen zelfs rond 4%. Dit heeft waarschijnlijk als oorzaak dat stimuleringsmaatregelen gebaseerd worden op het generator vermogen en dat fabrikanten om die reden een zo groot mogelijk generator vermogen kiezen. De prijs-prestatieverhouding van de molens zou echter verbeteren als voor kleinere generatoren gekozen zou worden, als het piekvermogen of het nominale vermogen van de molens lager zou liggen. Het verdient aanbeveling te onderzoeken wat de potentie is van kleine windturbines met kleinere generatoren.

En "last but not least", de qua prijs-prestatie beste kleine windturbine, de Skystream (diameter 3.7 [m]), bleek bij een masthoogte van 12 [m] en aangenomen levensduur van 20 jaar, zonder onderhoud en rentekosten, een elektriciteitsprijs te hebben van 0.24€/kWh. Een elektriciteitsprijs die dicht bij het consumenten tarief komt. Wanneer we de hogere windsnelheden geografisch opzoeken of opzoeken door de ashoogte van de turbine te verhogen, dan kan deze elektriciteitsprijs nog sterk verbeterd worden. Het verdient aanbeveling de mogelijkheden van een grotere ashoogte te onderzoeken.

We kunnen concluderen dat er in Nederland nog steeds mogelijkheden zijn voor kleine windturbines en dat we dankzij testveld Schoondijke kunnen duiden waar die mogelijkheden liggen.

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b>	<b>1</b>
<b>1 De analyse</b>	<b>2</b>
1.1 PV-curves . . . . .	2
1.2 Capaciteitsfactor . . . . .	3
1.3 Beschikbaarheid . . . . .	4
1.4 Trend analyse . . . . .	4
1.5 Economie . . . . .	4
<b>2 Resultaten en discussie van de resultaten</b>	<b>6</b>
2.1 Vergelijk geteste windturbines . . . . .	6
2.2 Verbetering windturbines . . . . .	8
2.3 Potentie KWT in Nederland . . . . .	8
2.3.1 Hogere windsnelheid geografisch opzoeken . . . . .	8
2.3.2 Hogere windsnelheid met masthoogte opzoeken . . . . .	10
2.3.3 Kleinere generator kiezen . . . . .	11
2.4 KWT versus zonnepanelen . . . . .	11
2.4.1 Verschil zomer en winter . . . . .	11
2.4.2 Elektriteitsprijs . . . . .	11
2.4.3 Zichtbaarheid . . . . .	12
<b>A PV-curves</b>	<b>14</b>
<b>B Trends</b>	<b>20</b>

# Hoofdstuk 1

## De analyse

Dit hoofdstuk beschrijft de metingen en verwerking van de metingen.

De evaluatie van de testresultaten is gebaseerd op metingen uitgevoerd door de projectgroep Schoondijke, op het testveld voor kleine windturbines te Schoondijke Zeeland, in de volksmond "testveld Schoondijke" genoemd. De meetperiode liep van april 2008 tot januari 2012. Niet alle windturbines zijn echter zo lang op het testveld getest. De evaluatie van de testresultaten is in dat geval gebaseerd op de kortere testperiode. Voor de metingen werd elke 5 minuten een sample opgeslagen van de windsnelheid, windrichting en de energieopbrengst. Het testveld Schoondijke bezit dus een enorme macht aan gegevens over de prestaties van kleine windturbines en is hiermee uniek in de wereld <sup>1</sup>.

### 1.1 PV-curves

Op het testveld Schoondijke wordt elke 5 minuten een sample van de windsnelheid  $V$  en de energieopbrengst  $E$  van de windturbines opgeslagen. Het vermogen van de windturbines  $P$  wordt niet afzonderlijk gemeten. Als gevolg moet  $P$  bij de gesampelde windsnelheid bepaald worden uit

$$P = E \times 12 \tag{1.1}$$

De windsnelheid  $V$  is dus een momentopname van de windsnelheid, terwijl het vermogen  $P$  het gemiddelde vermogen is over een periode van 5 minuten. Als gevolg van deze opzet kunnen de meetresultaten niet gebruikt worden om het vermogen van een geteste windturbine te bepalen als functie van de windsnelheid boven ongeveer 10 m/s windsnelheid (zie verder [5]).

Voor het bepalen van de PV-curves wordt het vermogen  $P$  gebinned. Binnen van het vermogen bij een bepaalde windsnelheid is als het ware het vullen van bakjes met vermogens

---

<sup>1</sup>Als we 4 jaar lang elke 5 minuten de energieopbrengst opslaan, dan beschikken we dus over  $4 \times 365 \times 24 \times 12 = 420.480$  metingen van de energieopbrengst.

behorende bij een bepaald windsnelheidsgebied, bijvoorbeeld van 0.5 [m/s] tot 1 [m/s]. Wij binnen de vermogens in dit rapport in bins van 0.5 m/s, het windsnelheidsgebied is dus 0.5 [m/s] breed. Voor de windsnelheid van de windsnelheidsbin wordt het midden van de windsnelheidsbin genomen. Met behulp van de meetresultaten van  $P$  en  $V$  kan de PV-curve van de windturbines bepaald worden. Deze curve geeft aan hoeveel vermogen  $P$  de windturbine levert bij een bepaalde windsnelheid  $V$ . Er zijn geen windrichtingen uitgesloten bij de uitwerking van de meetresultaten. Ook metingen bij een windrichting parallel aan de rij turbines en windrichtingen met voor het testveld forse bovenwindse obstakels zijn dus gebruikt voor het bepalen van de PV-curve. Dit om een zo praktijkgericht mogelijke PV-curve te verkrijgen.

Op basis van de PV-curve is de opstartsnelheid  $V_s$ , de laagste windsnelheid waarbij nog vermogen  $P$  wordt geleverd en het nominale vermogen  $P_n$ , het maximale generator vermogen, bepaald. Uit de PV-curve is ook het omzettingsrendement van windvermogen naar elektrisch vermogen  $c_P$  berekend. Dit omzettingsrendement is een goed uitgangspunt voor een vergelijk tussen de verschillende turbines.

De resultaten van de metingen aan de Raum, Turby en Windwalker zijn weggelaten omdat deze molens gedurende hun testperiode te vaak stilstonden voor voldoende meetgegevens voor het bepalen van representatieve PV-curves.

## 1.2 Capaciteitsfactor

Op basis van het nominale vermogen  $P_n$  en de gemeten opgewekte energie  $E$  is bepaald hoeveel procent van de tijd de windturbine op nominaal vermogen zou moeten draaien om de gemeten energieopbrengst te halen. Dit percentage van de tijd heet de capaciteitsfactor  $C_{cap}$ . Deze capaciteitsfactor moet voor een goed ontworpen windturbine rond de 20% liggen. Een te lage capaciteitsfactor betekent dat de windturbine een te groot vermogen ofwel een te grote generator heeft, die dus een te beperkt deel van de tijd optimaal draait. Aan de andere kant betekent een te hoge capaciteitsfactor dat de windturbine een te kleine generator heeft, waardoor de windturbine gedurende een groot deel van de tijd te veel vermogen aangeboden krijgt voor de generator en waardoor de windturbine dus moet afregelen om te zorgen dat de generator niet doorbrand.

### 1.3 Beschikbaarheid

Bij windsnelheden boven de opstartsnellheid  $V_s$  zou een windturbine vermogen moeten leveren. Als dit niet het geval was in de metingen dan was de windturbine dus niet beschikbaar voor energieproductie. Op basis hiervan is het percentage van de tijd berekend  $T_{nb}$  waarin een geteste turbine niet beschikbaar was voor productie van elektriciteit. Er is hierbij aangenomen dat de turbine niet beschikbaar was als de turbine geen vermogen leverde terwijl de windsnelheid  $1.5 \times V_s$  was.

### 1.4 Trend analyse

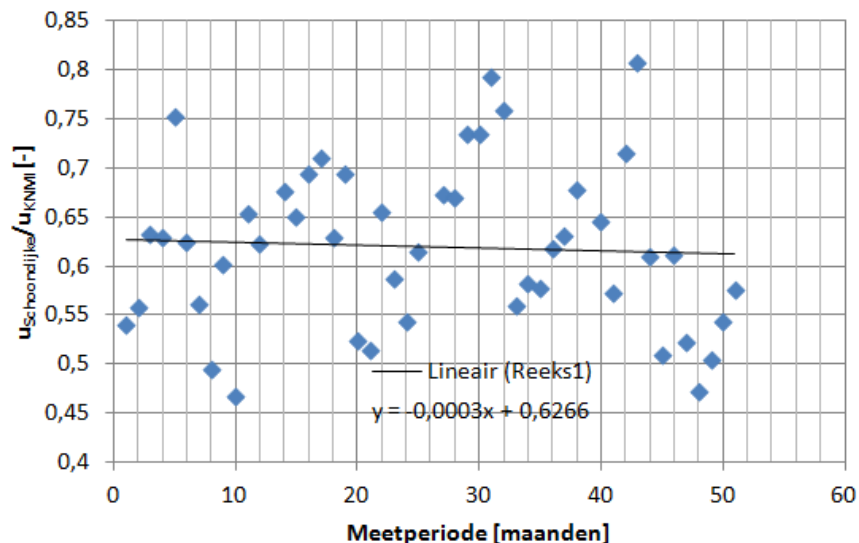
Als we het gemiddelde vermogen van een windturbine in een bepaalde windsnelheidsbin in een grafiek uitzetten tegen de tijd dan hebben we een trend analyse. We kunnen in de grafiek zien of de windturbine na enkele jaren draaien meer of minder vermogen levert bij dezelfde windsnelheid en dus of de windturbine na enkele jaren beter of slechter presteert.

Er is verkent of de gemeten windsnelheid in Schoondijke misschien gecorrigeerd zou moeten worden omdat er gebouwen of bomen naast de meetlocatie zijn gekomen gedurende de 4 jaar testen. Hiertoe is de gemeten gemiddelde windsnelheid te Schoondijke over 2008-2011 vergeleken met de KNMI meetdata van locatie Vlissingen. In de grafiek weergegeven in figuur 1.1 is op de verticale as de op Schoondijke gemeten windsnelheid gedeeld door de door het KNMI te Vlissingen gemeten windsnelheid uitgezet. De horizontale as geeft het tijdstip van de meting. In figuur 1.1 is te zien dat de verhouding tussen de gemiddelde windsnelheid te Schoondijke en de windsnelheid te Vlissingen over de meetperiode nauwelijks veranderd (de verhouding is 0.62 en wijkt nauwelijks af). De grafiek geeft dus geen aanleiding om een significant verschil in de windsnelheid op locatie Schoondijke te verwachten over de meetperiode van 4 jaar.

### 1.5 Economie

De geïnstalleerde prijs van de windturbines tezamen met de opgewekte energie gedurende een aangenomen levensduur van 20 jaar vormt de basis voor een berekening van de kostprijs van een kWh elektriciteit van de in dit rapport genoemde geteste kleine windturbines.





Figuur 1.1: Maandgemiddelde windsnelheid te Schoondijke, gedeeld door de maandgemiddelde windsnelheid te Vlissingen gemeten door het KNMI (verticale as), als functie van de tijd (horizontale as).

Voor een juiste inschatting van de economie moeten kosten voor onderhoud, rente op investering en verwachte elektriciteitsstarieven meegenomen worden. De trend in deze posten is echter nauwelijks in te schatten. Om die reden zijn deze invloedfactoren van de economie weggelaten. Kwalitatief kunnen we uit de meetresultaten vaststellen dat de onderhoudskosten per windturbine sterk uit elkaar lopen. De ene windturbine was onderhoudsvrij gedurende de test terwijl de andere turbine gedurende de test veel onderhoud nodig had.

Het is belangrijk om hier op te merken dat we het tot nog toe alleen over baten van de windturbines uit de geproduceerde elektriciteit hebben. Dit is een onjuiste voorstelling van zaken. Windturbines genereren meer en andere baten dan alleen de geproduceerde elektriciteit. Hierover meer in sectie 2.4.

## Hoofdstuk 2

# Resultaten en discussie van de resultaten

Dit hoofdstuk geeft de resultaten van de metingen.

### 2.1 Vergelijk geteste windturbines

Met behulp van de in de voorgaande secties besproken analyses kunnen de geteste windmolens vergeleken worden. De uit de analyse volgende PV-curves en curves van het omzettingsrendement  $c_P$  zijn vermeld in bijlage A. Een vergelijking van de gemeten PV-curves met de door fabrikanten opgegeven PV-curves laat zien dat de fabrikanten meestal een redelijk betrouwbare opgave doen van de prestaties van de molens. Er zijn enkele uitzonderingen. De curves van de omzettingsrendementen laten zien dat sommige molens erg laat opstarten en dat sommige molens een erg laag omzettingsrendement hebben. Dergelijke molens kunnen nooit een goede prijs-prestatie verhouding hebben.

Er is bij de berekening van de kWh prijs uitgegaan van een levensduur van de molens van 20 jaar, dit in afwijking tot de aangenomen levensduur van 15 jaar in Mertens [4]. Dit omdat de meeste fabrikanten een levensduur noemen van 20 jaar.

Voor het overzicht zijn de gemakkelijk te vergelijken analyseresultaten van de verschillende windturbines in één tabel geplaatst (zie tabel 2.1). De resultaten van de metingen aan de Raum, Turby en Windwalker zijn weggelaten omdat deze molens gedurende hun testperiode te vaak stilstonden voor voldoende meetgegevens voor het bepalen van representatieve PV-curves en daaruit volgende eigenschappen.

Turbine	€*	ø[m]	T [maand]	E [kWh]	$P_r$ [kW]	$u_{ci}$ [m/s]	$T_{nb}$ [%]	$C_{cap}$ [%]	€/kWh**
Passaat	9239	3.1	48	2566	0.65	3.25	0.24	11.28	0.72
EnergyBall	4324	1.00	31	165	0.16	4.75	0.13	4.59	3.39
Skystream	10742	3.70	48	8834	2.09	1.75	5.36	12.05	0.24
Airdolphin	17548	1.80	32	1043	0.36	2.75	2.44	12.52	2.24
Ampair	8925	1.70	48	1287	0.18	2.25	17.54	19.92	1.39
Donqi	8114	2.00	20	710	0.42	3.25	3.84	11.58	0.95
Montana	18508	5.00	48	10746	2.124	2.75	5.35	14.44	0.35
Raum	8270	2.9	-	-	-	-	-	-	-
Turby	21350	2	-	-	-	-	-	-	-
Windwalker	?	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 2.1: Uit de 4 jaar data van Schoondijke berekende windturbine eigenschappen. Symbolen: \* geïnstalleerde prijs van de windturbines ten tijde van de plaatsing van de molen; €, diameter molen; ø[m], meetperiode in maanden; T [maand], Energie opbrengst; E [kWh], Nominaal vermogen;  $P_r$  [kW], Startwindsnelheid molen;  $u_{ci}$  [m/s], percentage van de tijd dat de molen niet beschikbaar is;  $T_{nb}$  [%], percentage van de tijd dat de molen op nominaal vermogen moet draaien om zijn opbrengst te halen;  $C_{cap}$  [%], kWh prijs uitgaande van een levensduur van de molens van 20 jaar en zonder kosten voor onderhoud of gedorven rente.

In tabel 2.1 vallen de volgende zaken op.

- Het blijkt dat de capaciteitsfactor van de meeste molens ruim onder de 20% ligt. Ter vergelijking: grote windturbines, met een rotordiameter van 100 [m], hebben tegenwoordig capaciteitsfactoren tot wel 25%. Daarmee hebben de meeste kleine windturbines dus een te grote generator. De oorzaak hiervan is dat veel stimuleringsmaatregelen het generatorvermogen als uitgangspunt nemen voor de hoogte van de stimulans. Vooral de Energyball, WRE030, WRE060 en de Swift vallen in dit kader op met extreem lage capaciteitsfactoren van 3 a 4%.
- De startwindsnelheden van de molens liggen flink uit elkaar. De EnergyBall, WRE030 en de Swift starten pas rond 4.5 m/s (dit hangt voor een belangrijk deel samen met de te grote generator van deze windturbines). Bij de gemiddelde windsnelheid op Schoondijke van 3.8 m/s, betekent dit dus dat deze molens vaak alleen draaien zonder vermogen te leveren.
- Veel molens hebben een goede beschikbaarheid. De Ampair heeft de slechtste beschikbaarheid.
- De grote molens hebben de beste kWh prijzen.

## 2.2 Verbetering windturbines

Uit de analyse bleek dat de beschikbaarheid van enkele windturbines gedurende 4 jaar testen flink is verbeterd, terwijl andere turbines slechter presteerden. Verder nam het gemiddelde vermogen van enkele windturbines bij vaste windsnelheid toe (zowel met als zonder uitsluiting van de tijd dat de windturbine niet beschikbaar was), terwijl dat vermogen bij andere turbines juist slechter werd (zie bijlage B).

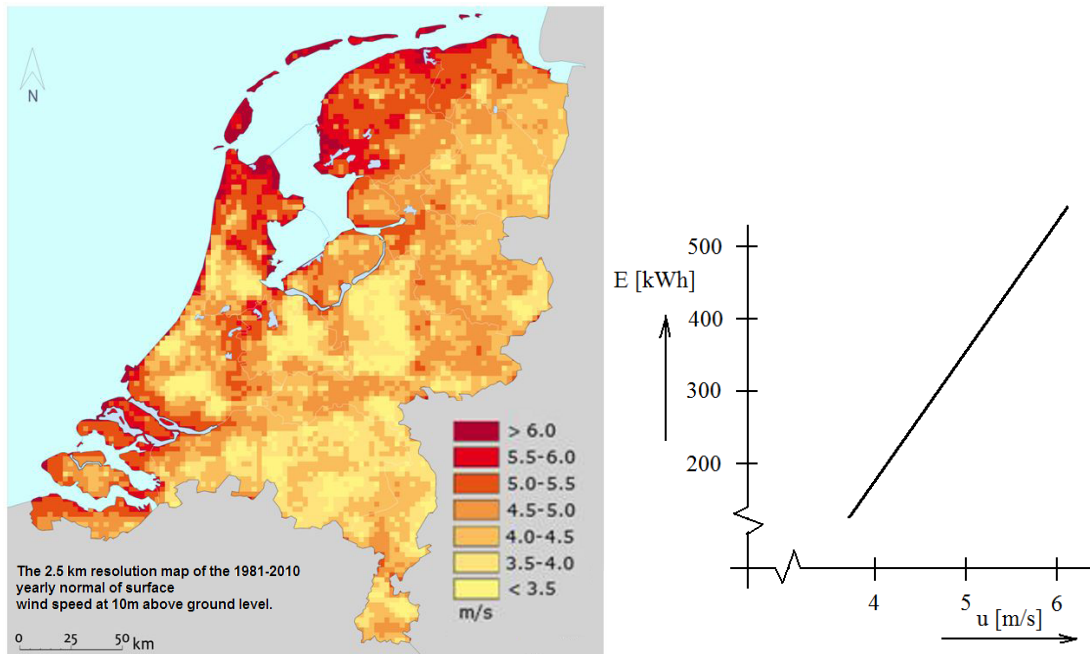
We kunnen slechts gissen naar de oorzaken van de verandering van de prestaties, maar enkele factoren die de prestaties sterkt beïnvloeden zijn dat:

1. er verbeteringen aan de molens zijn uitgevoerd,
2. lagers na 4 jaar lichter lopen, waardoor de windturbine minder verliezen heeft of
3. rotorbladen beter presteren doordat ze ruwer geworden zijn door aanslag van vuil.
4. de overheersende windrichting aan het eind van de test uit een voor de windturbines minder turbulente windrichting kwam

## 2.3 Potentie KWT in Nederland

### 2.3.1 Hogere windsnelheid geografisch opzoeken

Het KNMI heeft op basis van de windmetingen in Nederland een kaart gemaakt [3] waarin de gemiddelde windsnelheid op 10 m hoogte is te vinden. Een voldoende hoge gemiddelde windsnelheid is vereist voor een redelijke opbrengst van windturbines. De gele gebieden in de kaart hebben op 10 m hoogte een lagere gemiddelde windsnelheid dan die in Schoondijke, de kaart laat echter zien dat er ook gebieden in Nederland aan te wijzen zijn waar de energieopbrengst bij een masthoogte van 10 m hoger is dan die in Schoondijke. We kunnen de gewenste windsnelheid dus geografisch opzoeken. Van het opzoeken van de plek met de hoogste windsnelheid is natuurlijk vaak geen kwestie, simpelweg omdat er op de éne plek wel en op de andere plek geen behoefte is aan (wind-)energie.

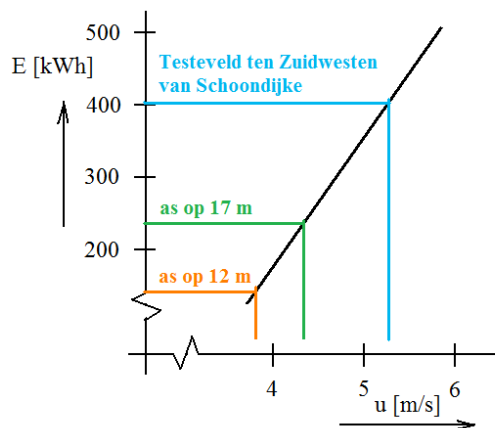


Figuur 2.1: Windsnelheidskaart KNMI met de gemiddelde windsnelheid op 10 m hoogte (links) en jaarlijkse energieopbrengst  $E$  [kWh] per vierkante meter rotoroppervlak bij gegeven windsnelheid op basis van de metingen te Schoondijke.

Overigens blijkt uit de KNMI kaart dat we een gemiddelde windsnelheid van 5.2 [m/s] op 10 [m] hoogte kunnen verwachten op het testveld Schoondijke terwijl we maar een gemiddelde windsnelheid van 3.8 [m/s] meten. Het verschil is te danken aan de afremming van de windsnelheid door de plaats Schoondijke die ten Zuidwesten ligt van het testveld. Als het testveld ten Zuidwesten van de plaats Schoondijke had gelegen, dan hadden we waarschijnlijk een gemiddelde windsnelheid van ongeveer 5.2 [m/s] gemeten (zie figuur 2.2). De resolutie van de KNMI kaart is 2.5 [km], men moet zich bij gebruik van de windkaart goed bewust zijn van de mogelijk grote lokale verschillen in windaanbod als gevolg van lokale obstakels, zoals bomen, gebouwen of plaatsen zoals Schoondijke.

### 2.3.2 Hogere windsnelheid met masthoogte opzoeken

We kunnen de gewenste windsnelheid ook opzoeken door de ashoogte hoog genoeg te kiezen. Dit is een veel reëlere mogelijkheid dan het geografisch opzoeken van de hoogste windsnelheid. Momenteel worden in Schoondijke windmetingen gedaan op 12 [m] hoogte en op 17 [m] hoogte. Als we de windsnelheden op deze twee hoogtes tegen elkaar uitzetten dan blijkt dat de windsnelheid op 17 [m] hoogte gemiddeld zo'n 14% hoger ligt dan de windsnelheid op 12 [m] hoogte. Dit betekent een stijging van de energieopbrengst met meer dan 50% (zie figuur 2.2). Het verdient aanbeveling te onderzoeken wat de mogelijkheden zijn van kleine windturbines met ashoogtes rond 20 [m], die een veel hogere energieopbrengst halen dan windturbines op bijvoorbeeld 15 [m] ashoogte.



Figuur 2.2: Jaarlijkse energieopbrengst  $E$  [kWh] per vierkante meter rotoroppervlak op 12 [m], op 17 [m] ashoogte te Schoondijke en bij de verwachte windsnelheid ten Zuidwesten van Schoondijke.

### 2.3.3 Kleinere generator kiezen

Uit het vergelijk van de geteste windturbines in sectie 2.1 bleek dat veel kleine windturbines een te lage capaciteitsfactor en dus een te grote generator hebben. Een te grote generator betekent een aanzienlijke kostenverhoging. Veel kleine windturbines zijn dus onnodig duur. Aan de andere kant betekent een te grote generator ook een laag rendement bij de toerentallen rond de meest gangbare lagere windsnelheden. Veel kleinere windturbines hebben dus ook een onnodig laag rendement. Het verdient aanbeveling te onderzoeken wat de mogelijkheden zijn van kleine windturbines met relatief kleine generatoren.

## 2.4 KWT versus zonnepanelen

Elektriciteit opgewekt met zonnepanelen en elektriciteit opgewekt met KWT heeft enkele belangrijke verschillen. Deze verschillen worden beschreven in dit hoofdstuk.

### 2.4.1 Verschil zomer en winter

Zonnepanelen leveren de bulk van hun energie in de zomer, windturbines leveren de bulk van hun energie in de winter. Dit is belangrijk in situaties waar de lokale elektriciteitsproductie moet passen bij de levering, zoals bij niet aan het net gekoppelde straatverlichting. Straatverlichting vraagt vooral energie in de winter, wanneer de verlichting het meeste is aangeschakeld en wanneer zonnepanelen minder energie kunnen leveren.

In het groot is de noodzaak van het matchen van productie en vraag al te zien aan het feit dat de Nederlandse gascentrales in de zomer tegenwoordig vaak uit staan [1] als gevolg van de Duitse productie van zonne-energie in de zomer.

### 2.4.2 Elektriciteitsprijs

Als dit matchen van elektriciteitsvraag en productie niet nodig is en bijvoorbeeld het elektriciteitsnet gebruikt kan worden als opslag, dan leveren zonnepanelen en KWT beiden vergelijkbare duurzame elektriciteit, die dus op basis van de kWh prijs vergeleken kan worden. Deze vergelijking laat zien dat KWT een hogere elektriciteitsprijs hebben dan zonnepanelen.

Er zijn een aantal oorzaken aan te wijzen voor de hogere elektriciteitsprijs van KWT vergeleken bij die van zonnepanelen. Zonnepanelen worden in veel grotere aantallen gemaakt dan KWT. Als gevolg hiervan worden zonnepanelen efficiënter en dus goedkoper geproduceerd. Zonnepanelen hebben schaalvoordeel ten opzichte van KWT.

Het voorgaande kan natuurlijk ook omgedraaid worden. Waarom worden er grotere aantallen zonnepanelen gemaakt dan KWT? Dit is lastiger te beantwoorden, maar er zijn wel

een aantal oorzaken aan te wijzen. Veel KWT zijn niet optimaal ontworpen waardoor ze niet optimaal presteren. Een dergelijk ontwerp komt nooit aan opschalen toe, het uitgangspunt is onvoldoende om op te schalen. Veel KWT zijn onvoldoende geregeld, waardoor de onderdelen zwaar belast worden en dus zwaar uitgevoerd moeten worden om de belastingen aan te kunnen. Voor die extra kilo's moet flink betaald worden, ze werken in alles door. Als de windbelasting hoog is, dan moet de molen zwaar uitgevoerd worden om die windbelasting aan te kunnen. Vanwege die hoge windbelasting en de zware molen is dus ook een zware mast nodig, met een zwaar uitgevoerde fundering. Voor de installatie van een dergelijke molen is dan een hijskraan nodig. Een te hoge windbelasting en eigengewicht van de molen zijn dus belangrijke oorzaken voor een hoge elektriciteitsprijs van de molen.

Verder zijn zonnepanelen bij het schrijven van dit rapport erg goedkoop geworden als gevolg van het Chinese beleid [2] "dat Chinese fabrikanten van zonnepanelen de interne markt op mogen als ze een bepaalde minimale afzet in het buitenland realiseren". Chinese fabrikanten verkopen om aan de benodigde omzet te komen massaal zonnepanelen op de Europese markt met een verkoopprijs rond de kostprijs.

### 2.4.3 Zichtbaarheid

De opwekking van duurzame energie met windturbines is over het algemeen zichtbaarder dan met zonnepanelen. Die betere zichtbaarheid van windturbines kan er voor zorgen dat er meer bespaard wordt op elektriciteitsgebruik. Over het algemeen neemt het elektriciteitsgebruik van gebruikers van een pand bijvoorbeeld tot wel 20% af, als de gebruikers steeds opmerkzaam gemaakt worden op hun elektriciteitsgebruik (bronnen: [7],[8]). Lokaal opgestelde windturbines kunnen daar voor zorgen. Via besparing kan de zichtbaarheid van de opwekking van duurzame energie met windturbines dus zorgen voor een veel betere economie.



# Bibliografie

- [1] [www.endon.nl](http://www.endon.nl), **Aantal Nederlandse gascentrales verdwijnt in de mottenballen**, 03 juli 2012
- [2] [www.nos.nl](http://www.nos.nl), **Onderzoek dump Chinese zonnepanelen**, 6 september 2012
- [3] Stepek, A., Wijnant, I.L., **Interpolating wind speed normals from the sparse Dutch network to a high resolution grid using local roughness from land use maps**, Technical report; TR-321, 2011
- [4] Mertens, S., **1<sup>ste</sup> Evaluatie meetresultaten testveld kleine windturbines Zeeland**, Ingreenious Rapport 0904000.R01, mei 2009
- [5] Mertens, S., **PV curves**, Ingreenious Rapport 0904000.R01, mei 2009
- [6] Tramper, N., **Meetdata Schoondijke april 2008 tot januari 2012**, 2012
- [7] Agentschap NL, **Energiebesparing door gedragsverandering**, Agentschap NL, Publicatie-nr. 2KPGA1009, april 2010
- [8] Agentschap NL, **De effectiviteit van elektronische feedback op het energie- en waterverbruik**, Agentschap NL, Publicatie-nr. 2KPGA1005, april 2010

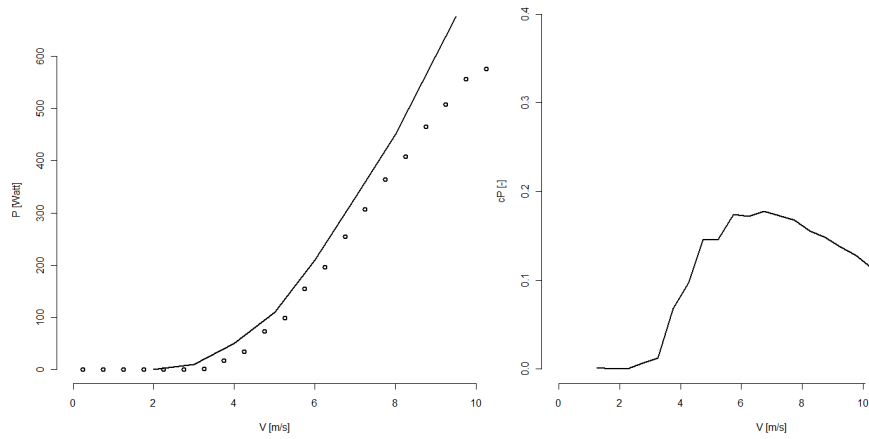
# Bijlage A

## PV-curves

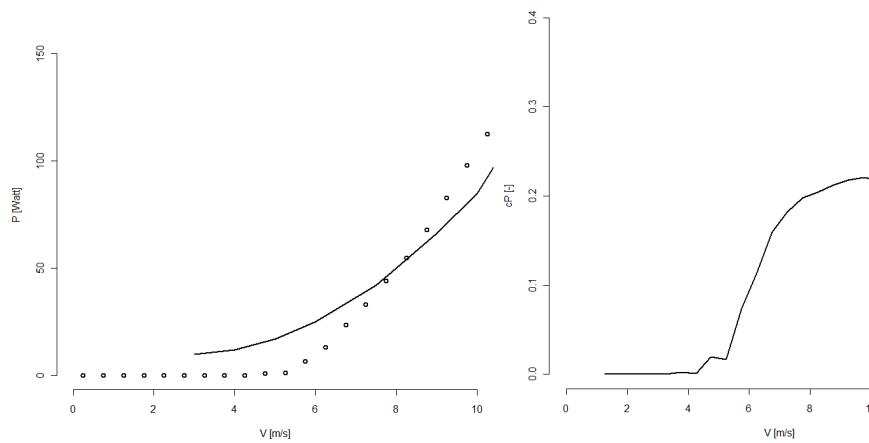
De in deze appendix weergegeven grafieken met PV-curves zijn berekend uit de metingen aan de windturbines op het testveld Schoondijke die van april 2008 tot januari 2012 zijn uitgevoerd. De verwerkte meetresultaten zijn aangegeven met cirkelvormige markers. De door de fabrikanten opgegeven PV-curves zijn in dezelfde grafieken weergegeven met getrokken lijnen.

Uit de PV-curves zijn ook de totale omzettingsrendementen  $c_P$  van windenergie naar elektrisch vermogen van de turbines berekend. Deze omzettingsrendementen zijn naast de PV-curves van de turbines geplot. De omzettingsrendementen vormen een goed uitgangspunt voor een vergelijking tussen de verschillende turbines.

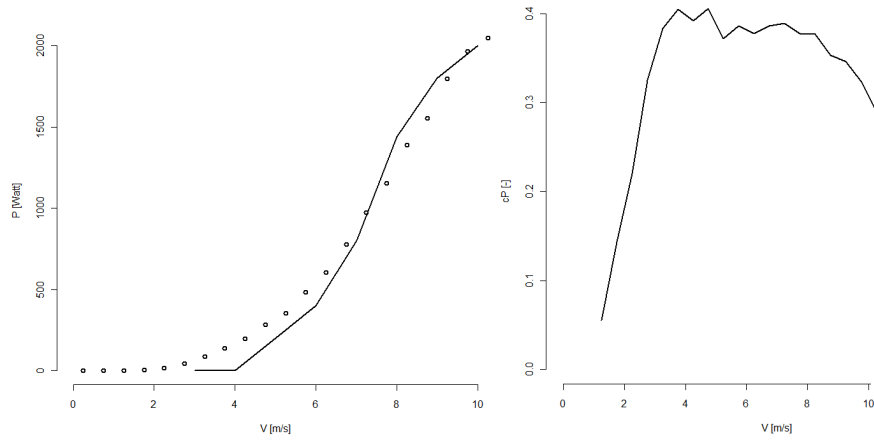
Alleen de PV-curves van turbines die langer dan een jaar op het testveld gedraaid hebben zijn berekend uit de meetdata. Dit om een zo hoog mogelijke betrouwbaarheid van de resultaten te halen.



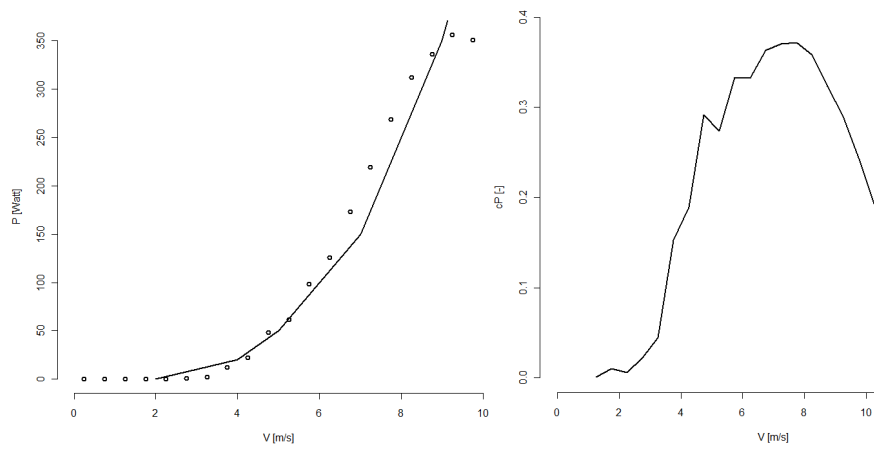
Figuur A.1: PV- en CP curve Passaat.



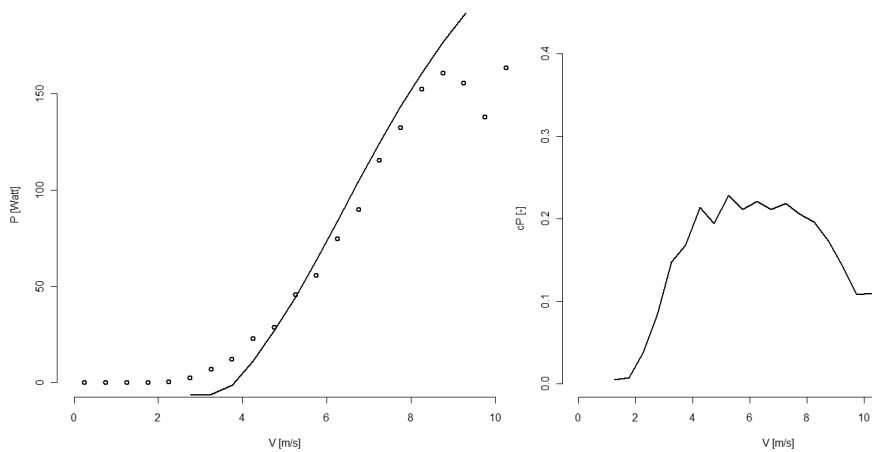
Figuur A.2: PV- en CP curve EnergyBall.



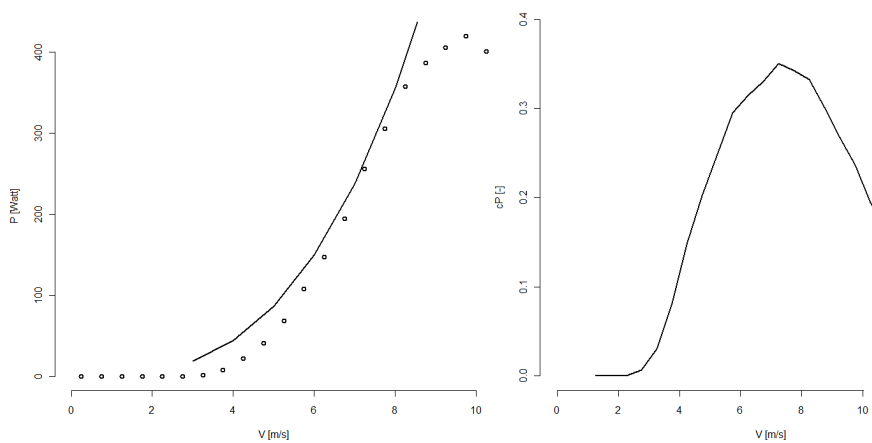
Figuur A.3: PV- en CP curve Skystream.



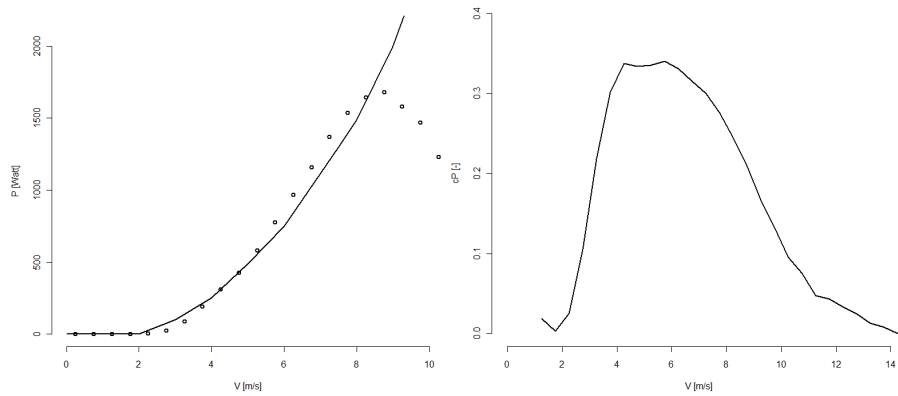
Figuur A.4: PV- en CP curve Airdolphin.



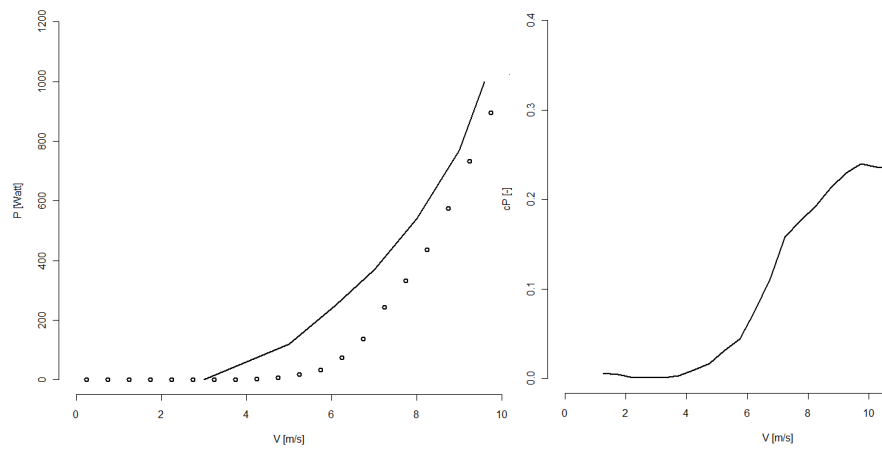
Figuur A.5: PV- en CP curve Ampair.



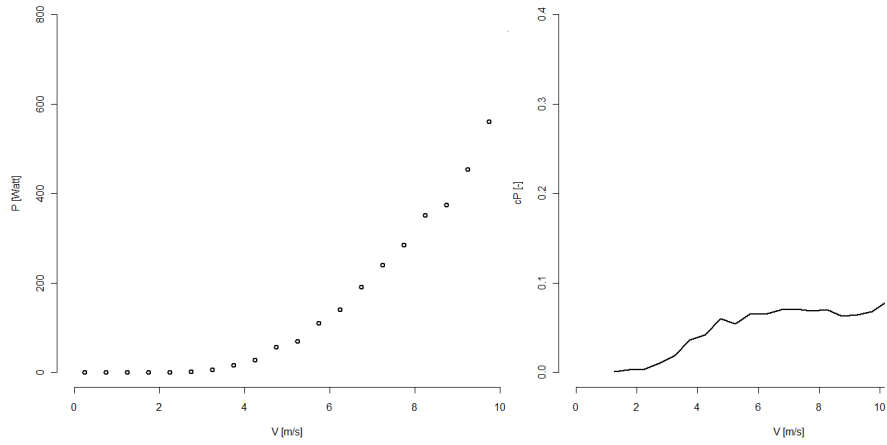
Figuur A.6: PV- en CP curve Donqi.



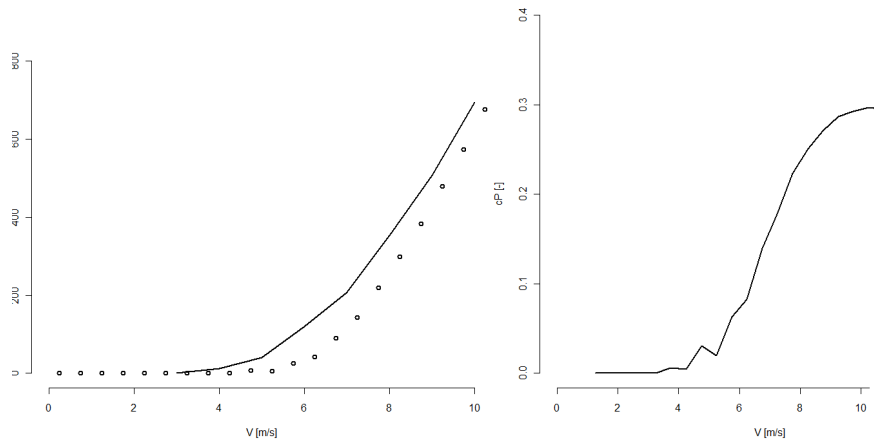
Figuur A.7: PV- en CP curve Montana.



Figuur A.8: PV- en CP curve WRE030.



Figuur A.9: PV- en CP curve WRE060. Er was geen opgave te vinden van de PV-curve door de fabrikant.

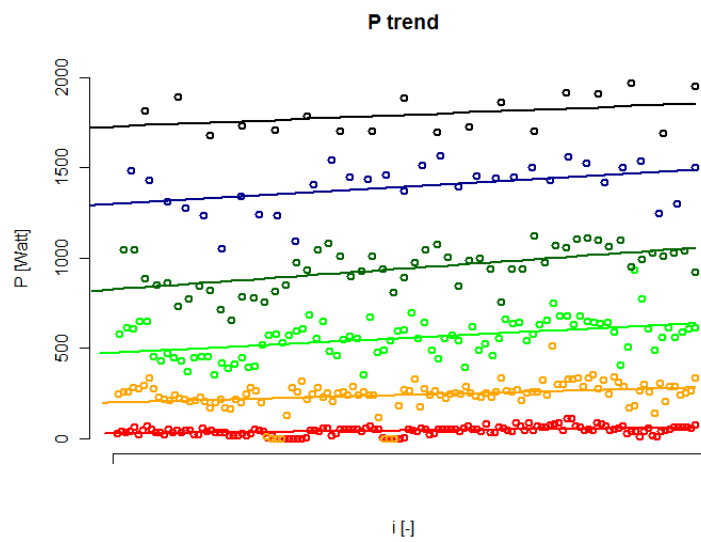


Figuur A.10: PV- en CP curve Swift.

# Bijlage B

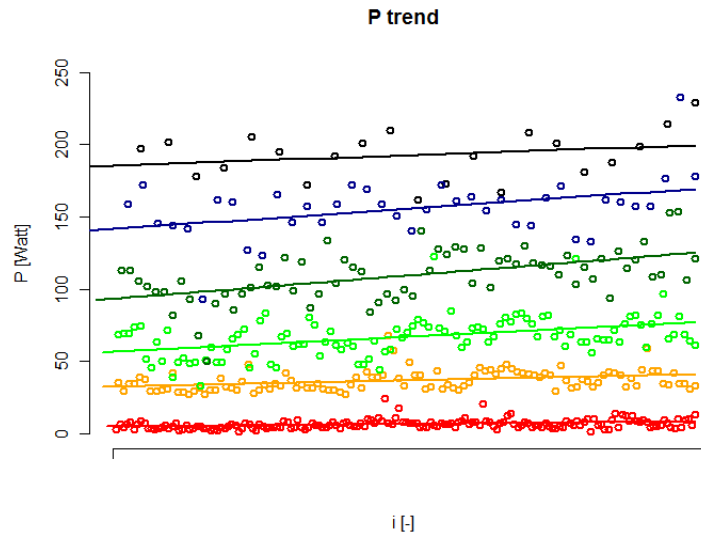
## Trends

De hierna volgende grafieken geven het vermogen bij een bepaalde windsnelheid (het gebinde vermogen) als functie van de tijd weer.

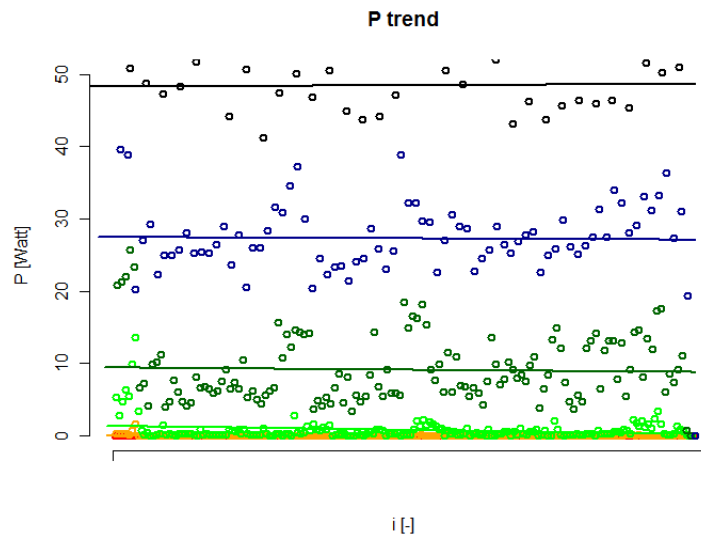


Figuur B.1: Gebinde gemiddelde (middeling over 100 metingen) vermogen in windsnelheidsbins 3,4,5,6,7, 8 m/s van de Montana over 4 jaar meettijd.

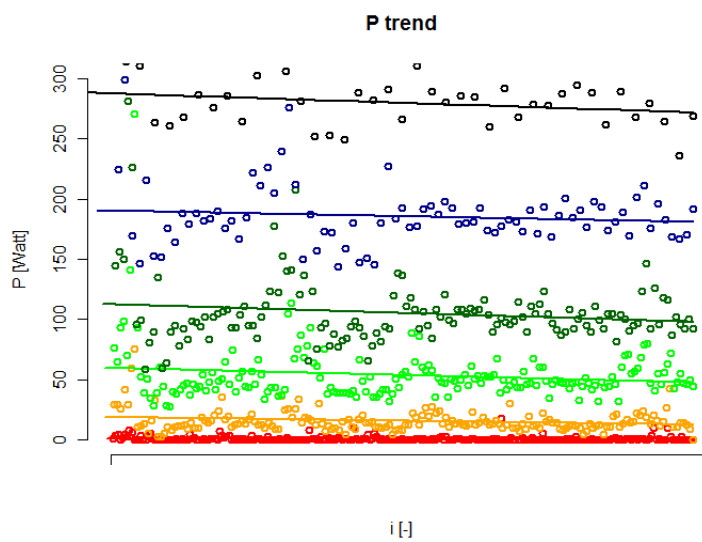




Figuur B.2: Gebinde gemiddelde (middeling over 100 metingen) vermogen in windsnelheidsbins 3,4,5,6,7, 8 m/s van de Ampair over 4 jaar meettijd.



Figuur B.3: Gebinde gemiddelde (middeling over 100 metingen) vermogen in windsnelheidsbins 3,4,5,6,7, 8 m/s van de EnergyBall over 3 jaar meettijd.



Figuur B.4: Gebinde gemiddelde (middeling over 100 metingen) vermogen in windsnelheidsbins 3,4,5,6,7, 8 m/s van de Airdolphin over 3 jaar meettijd.