

# 1<sup>ste</sup> Evaluatie meetresultaten testveld kleine windturbines Zeeland

Een evaluatie van de meetresultaten aan elf kleine windturbines te  
Schoondijke, Zeeland, testjaar april 2008 tot april 2009



Rapport 0904000.R01  
19 mei 2009

©Ingreenious BV. Niets uit deze publicatie mag worden vermenigvuldigd en (of) openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder vermelding van de bron en de schrijver.

Opdrachtgever: Projectgroep testveld kleine windturbines (kwt) Zeeland  
Rapport nummer: 0904000.R01  
Datum: 19 mei 2009  
Auteur: dr.ir.ing. Sander Mertens  
E-mail: sandermertens@ingreenious.com

Omslagfoto: Testopstelling van kleine windturbines op het testpark te Schoondijke, met dank aan projectgroep testveld kwt: Zeeuwind, DELTA, Provincie Zeeland, gemeente Sluis en Greenlab (een samenwerkingsverband tussen Greenchoice en Eneco).

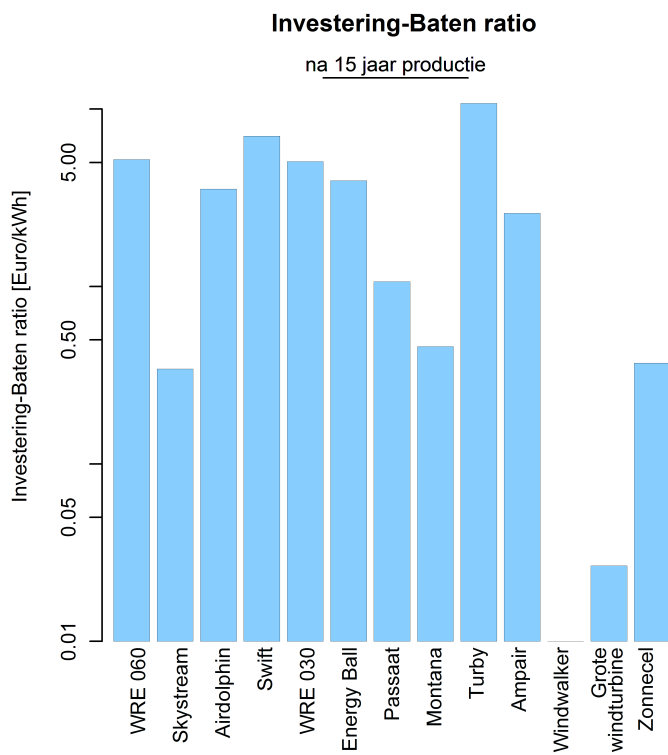
# Samenvatting

Op dit moment is er nog weinig bekend over het rendement van de kleine windturbines. Daarom hebben DELTA N.V., de Provincie Zeeland, de Gemeente Sluis, Zeeuwind en Greenlab (een jointventure tussen ENECO en Greenchoice) de handen ineen geslagen om een test van kleine windturbines op te zetten.

Gedurende een jaar (april 2008 tot april 2009) is op een testveld de windsnelheid en de energieopbrengst van elf kleine windturbines gemeten. De resultaten van de metingen zijn in dit rapport verwerkt zodat de windturbines onderling vergeleken kunnen worden en zodat de resultaten van de metingen geïnterpreteerd kunnen worden.

Uit de meetresultaten blijkt dat de uurgemiddelde windsnelheid op het testveld Schoondijke 3.8 [m/s] was, terwijl die door de projectgroep testveld kwf was ingeschat op 6 [m/s]. De gerealiseerde energieopbrengst zal hiermee zakken naar ongeveer 30% van de verwachte energieopbrengst. In het algemeen is het om teleurstellingen rond de energieopbrengst te voorkomen, voorafgaand aan de plaatsing van kleine windturbines, verstandig om de windsnelheid te meten. Uit de meetresultaten blijkt verder een grote spreiding in de investering-baten ratio's die alleen voor kan komen bij een relatief jonge markt met navenant hoge prijzen voor enkele kleine windturbines. Ondanks de lage windsnelheid tijdens het testjaar en ondanks de jonge markt, laten de meetresultaten zien dat de betere kleine windturbines (de Montana en de Skystream) vergelijkbare investering-baten ratio's hebben met zonnepanelen (zie figuur op de volgende pagina).

Het is dan ook zinnig de ontwikkelingen in de jonge markt van kleine windturbines te stimuleren. Dit kan het beste gebeuren door de reeds opgezette Nederlandse certificering te ondersteunen en het plaatsingsbeleid voor gecertificeerde windturbines te versoepelen. De kwaliteit van de kleine windturbines zal hierdoor verbeteren en de markt voor gecertificeerde kleine windturbines zal hierdoor vergroot worden. Een ondersteunende subsidie voor gecertificeerde windturbines kan de markt verder vergroten. Certificering is in het voorgaande dus steeds een randvoorwaarde voor de fabrikant of leverancier om in aanmerking te komen voor een verbetering van de markt.



# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Uitgangspunten</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Windsnelheid</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Verwachte energieopbrengst</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Evaluatie testresultaten</b>	<b>11</b>
5.1	Investering . . . . .	11
5.2	Efficiency . . . . .	13
5.3	Investering-Baten ratio . . . . .	15
<b>6</b>	<b>Discussie van de resultaten en conclusies</b>	<b>16</b>
	<b>Bibliografie</b>	<b>17</b>
	<b>Appendices</b>	<b>18</b>
<b>A</b>	<b>Meetresultaten</b>	<b>19</b>
<b>B</b>	<b>Windrozen</b>	<b>21</b>
<b>C</b>	<b>Weibull</b>	<b>25</b>
<b>D</b>	<b>Inleiding Beoordelingsrichtlijn</b>	<b>28</b>

# Hoofdstuk 1

## Inleiding

De leden van de projectgroep testveld kwt, Zeeuwind, DELTA, Provincie Zeeland, gemeente Sluis en Greenlab (een samenwerkingsverband tussen Greenchoice en Eneco), worden vaak benaderd met vragen rond kleine windturbines, maar ze konden die vragen niet beantwoorden omdat het aan gegevens rond kleine windturbines ontbrak. Ze besloten daarom om de kleine windturbines zelf te gaan testen. Het testveld Schoondijke werd geboren.

Het testveld Schoondijke is een braakliggend industrieterrein in de gemeente Sluis waar elf kleine windturbines staan opgesteld. Gedurende een testjaar (april 2008 tot april 2009) zijn bij deze windturbines de prestaties gemeten en is de uurgemiddelde windsnelheid opgeslagen in een database (gelogd).

Dit rapport is een evaluatie en verwerking van de meetresultaten aan kleine windturbines op het testveld Schoondijke. Het rapport geeft fabrikanten en leveranciers van kleine windturbines inzicht in gewenste ontwikkelingen aan hun kleine windturbine en het geeft potentiële kopers ondersteuning bij de aanschaf van een kleine windturbine. De windturbines worden onderling vergeleken en de resultaten worden gebruikt voor een inschatting van de volwassenheid van de kleine windturbines. Eén en ander geeft aanleiding tot de hamvraag rond die ontwikkeling: als er iets moet gebeuren, wat moet er dan gebeuren? Dit rapport biedt een antwoord op deze vraag.

## Hoofdstuk 2

# Uitgangspunten

De elf kleine turbines staan opgesteld in een lijn ongeveer loodrecht op het Zuidwesten. De onderlinge afstand tussen de turbines is 20 tot 25 meter. In het midden van de lijnopstelling, op een afstand van 25 meter haaks op de lijnopstelling, ten Zuidwesten van de lijnopstelling, is een mast voor het meten van de windsnelheid opgesteld. Figuur 2.1 geeft een overzicht van de geteste kleine windturbines te Schoondijke.



Figuur 2.1: Overzichtsfoto van de op het testveld Schoondijke geteste elf kleine windturbines en de meetmast voor meting van de windsnelheid.

De meethoogte van de windsnelheid ligt op 12 meter boven het maaiveld en de meting behelst het twaalf keer per uur loggen (opslaan in een database) van de windsnelheid die op dat moment gemeten wordt (de momentane windsnelheid). De uurgemiddelde windsnelheid is daaruit bepaald als gemiddelde van de 12 gelogde momentane windsnelheden. De meetresultaten zijn afkomstig van de database [1]<sup>1</sup> van het projectteam en de officiële sheet met de meetresultaten van het testjaar [2], dat liep van april 2008 tot april 2009.

De volgende elf turbines werden gedurende het testjaar bemeten.

Leverancier	Naam Windturbine
CFC wind + Energy BV	WRE.030 & WRE.060
AquaSolar	Skystream 3.7
Bettink service & Onderhoud BV	Airdolphin
Fenergy Den Haag	Swift
Home Energy BV	Energyball
Fortis Windenergy	Passaat & Montana
Turby BV	Turby
Eco-Energy - Rietpol	Ampair
Multicare Beheer BV	Windwalker 2

Tabel 2.1: De elf kleine windturbines die op het testveld te Schoondijke gedurende het testjaar zijn bemeten.

---

<sup>1</sup>Een bronverwijzing is in dit rapport te herkennen aan een nummer tussen vierkante haken zoals [1]. Alle bronnen zijn in een Bibliografie voor de bijlagen opgenomen.



## Hoofdstuk 3

# Windsnelheid

Van de nabij Schoondijke gelegen KNMI meetstations Vlissingen, Cadzand en Hoofdplaat ligt het KNMI meteostation Hoofdplaat het dichtst<sup>1</sup> bij het testveld Schoondijke (zie figuur 3.1).



Figuur 3.1: Ligging van de KNMI meetstations Cadzand, Vlissingen en Hoofdplaat rondom het testveld Schoondijke.

We zullen Hoofdplaat daarom gebruiken voor een vergelijk met de wind op Schoondijke. Uit de tijdens het testjaar gemeten windsnelheid te Schoondijke en de potentiële windsnelheid<sup>2</sup> op

---

<sup>1</sup>KNMI meetstation Hoofdplaat ligt hemelsbreed op 8 km afstand van het testveld Schoondijke.

<sup>2</sup>De potentiële windsnelheid is de windsnelheid bepaald uit meetgevens op 10 meter hoogte en teruggerekend naar een bodemruwheid van weideland.

KNMI meetstation Hoofdplaat (bron: KNMI [8]) is een windroos en gemiddelde windsnelheid bepaald met behulp van software van Ingreenious. Het resultaat is in Bijlage B weergegeven. Vergelijk van de windrozen van Schoondijke en Hoofdplaat maakt het volgende duidelijk.

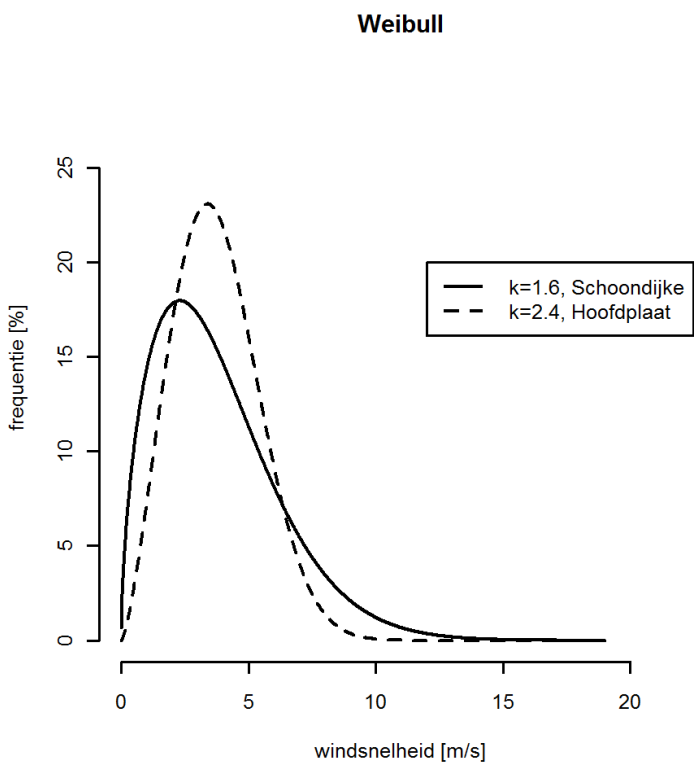
- De kans op wind uit een bepaalde windrichting is bij Schoondijke en Hoofdplaat ongeveer gelijk.
- De uurgemiddelde windsnelheid in Schoondijke tijdens het testjaar is met  $u_{gem}=3,8$  [m/s] aanzienlijk lager dan de uurgemiddelde potentiële windsnelheid 4,9 [m/s] te Hoofdplaat tijdens het testjaar. Blijkbaar is de bodemruwheid, ofwel de karakterisering voor de mate waarin de obstakels de wind afremmen, in Schoondijke aanzienlijk groter dan bij Hoofdplaat. Dit lijkt in eerste instantie niet aan te sluiten op de omgeving van het testveld Schoondijke maar blijkt eenduidig uit metingen. Het is dan ook verstandig om de windsnelheid eerst gedurende enkele maanden<sup>3</sup> te meten alvorens verwachtingen uit te spreken over windsnelheden.
- Het testjaar had bij Hoofdplaat een 5% lagere gemiddelde windsnelheid vergeleken bij het gemiddelde van de afgelopen 8 jaar.

Het gedrag van de wind is verder geanalyseerd met behulp van de kansdichtheidsverdeling van de windsnelheid (hoe vaak komt welke windsnelheid voor). De gemeten kansdichtheidsverdeling van de windsnelheden moet bij een dergelijke analyse vergeleken worden met een model voor de kansdichtheidsverdeling, het zogenaamde Weibull model voor de kansdichtheidsverdeling. Voor het model van de kansdichtheidsverdeling van de windsnelheid is gebruik gemaakt van de Weibull verdeling waarin twee onbekenden, namelijk  $k$  en  $a$ , opgelost moesten worden uit de vergelijking met de gemeten windsnelheden. De waarde van  $k$  en  $a$  die volgt uit de vergelijking met de gemeten windsnelheden geeft informatie over de kans op een gegeven windsnelheid. De waarde van  $k$  bepaald de vorm van de kansdichtheidsverdeling,  $k$  wordt daarom ook wel de vormparameter genoemd. De waarde van  $a$  is gekoppeld aan de gemiddelde windsnelheid en schaalde de kansdichtheidsverdeling van de wind,  $a$  wordt daarom ook wel de schaalparameter genoemd. Het resultaat van de vergelijking van de Weibull verdeling met de gemeten windsnelheden is in Bijlage C weergegeven.

---

<sup>3</sup>Het vereiste aantal maanden voor een betrouwbare uitspraak over de langjarig gemiddelde windsnelheid is afhankelijk van het windaanbod.

Vergelijk van de Weibull verdeling in het testjaar, gemeten in Schoondijke en Hoofdplaat, maakt duidelijk dat Schoondijke met vormparameter  $k = 1.6$  een landelijk windklimaat heeft en dat Hoofdplaat met vormparameter  $k = 2.4$  een windklimaat heeft dat op grote wateroppervlakken wordt gevonden (zie ook Wieringa [3]). De kleine  $k$ -waarde van Schoondijke geeft aan dat de windsnelheid in Schoondijke een grote variatie rond het gemiddelde kent (bijvoorbeeld als gevolg van de dagelijkse variatie (ookwel dagelijkse gang) van de windsnelheid). Die dagelijkse gang is op Hoofdplaat veel kleiner dan in Schoondijke (zie figuur 3.2).



Figuur 3.2: Vergelijk van een Weibull verdeling met vormparameter  $k=1.6$  en  $k=2.4$  bij dezelfde gemiddelde windsnelheid  $u_{gem}=3.8$  [m/s]. Horizontaal is de windsnelheid uitgezet en vertikaal is de frequentie van die windsnelheid (in andere woorden: het aantal keren dat een windsnelheid is voorgekomen) uitgezet.

Het moet overigens opgemerkt worden dat die relatief grote dagelijkse gang bij Schoondijke waarschijnlijk deels afkomstig is van de beperkte gegevens waarop de uurgemiddelde windsnelheid gebaseerd is (namelijk 12 windsnelheden omdat de windsnelheid eens per 5 minuten gemeten wordt).

Tot nog toe hebben we steeds gesproken over de kans op een bepaalde windsnelheid ofwel de zogenaamde distributieve kansdichtheidsverdeling. Die distributieve kansdichtheidsverdeling kun je omzetten in een kansdichtheidsverdeling die aangeeft wat de kans is dat de windsnelheid beneden een bepaalde waarde ligt. Dit wordt de zogenaamde cumulatieve kansdichtheidsverdeling van de windsnelheid genoemd. De cumulatieve Weibull verdeling van Schoondijke (zie Bijlage C) laat zien dat de uurgemiddelde windsnelheid tijdens het testjaar gedurende ongeveer 50% van de tijd lager was dan 3 [m/s], of in andere woorden 50% van de tijd was de uurgemiddelde windsnelheid lager dan de startsnelheid van de meeste windturbines. Zo'n 50% van de tijd leveren de meeste kleine windturbines dus geen energie!

## Hoofdstuk 4

# Verwachte energieopbrengst

In dit hoofdstuk berekenen we de verwachte energieopbrengst van een kleine windturbine. We nemen daartoe een standaard vermogen/windsnelheid-curve ofwel PV-curve<sup>1</sup> aan, gebaseerd op de volgende kengetallen.

Kengetal	Waarde
Efficiëncy omzetting windenergie → elektrische energie: $n$	0.3 [-]
Start windsnelheid windturbine: $u_{ci}$	3 [m/s]
Windsnelheid bij maximaal vermogen windturbine: $u_r$	12 [m/s]
Uit bedrijf windsnelheid windturbine: $u_{co}$	22 [m/s]

Tabel 4.1: Kengetallen voor de vermogenscurve van de aangenomen standaard PV-curve van een kleine windturbine (zie ook figuur 4.1 voor een afbeelding van de PV-curve).

We nemen verder aan dat het vermogen tussen start en nominale windsnelheid, per vierkante meter rotoroppervlak<sup>2</sup>, voor de standaard PV-curve benaderd kan worden door

$$P = n \frac{1}{2} \rho u^3 \quad (4.1)$$

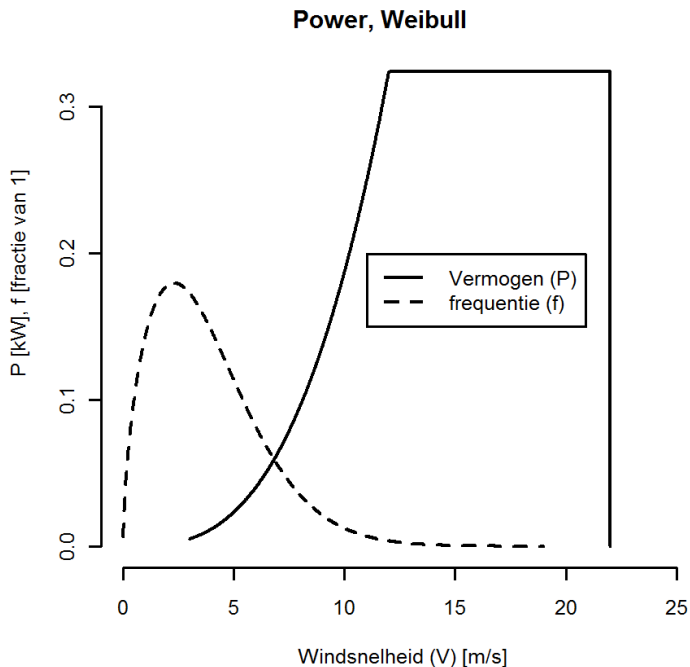
Hierin is  $n$  de efficiëncy van de omzetting van windenergie in elektrische energie,  $\rho$  de dichtheid van de lucht ( $\rho=1.25$  [kg/m<sup>3</sup>]) en  $u$  de windsnelheid.

De PV-curve gebaseerd op deze kengetallen en het vermogen in het werkgebied volgens formule 4.1 is afgebeeld in figuur 4.1. Ter illustratie is bij deze standaard PV-curve ook de te Schoondijke gemeten Weibull verdeling afgebeeld. Het valt op dat -zoals dat in vorige paragraaf ook al was geconstateerd- de windsnelheid meestal te laag is om de windturbine in het midden van zijn werkgebied (dwz rond 6 [m/s]) te laten werken.

---

<sup>1</sup>De benaming PV-curve komt van het Engels waarin Power (P) voor vermogen en Velocity (V) voor de windsnelheid gebruikt worden.

<sup>2</sup>Het rotoroppervlak is de projectie van het door de rotorbladen bestreken oppervlak.



Figuur 4.1: PV-curve volgens de kengetallen in tabel 4.1 en formule 4.1, voor een windturbine met een rotoroppervlak (de projectie van het door de bladen bestreken oppervlak) van 1 [m<sup>2</sup>].

We berekenen<sup>3</sup> nu de energieopbrengst met deze standaard PV-curve en de Weibull verdeling met gemiddelde windsnelheid  $u_{gem} = 3.8$  [m/s] met vormparameter  $k=1.6$  en  $k=2.4$ . We vinden de volgende energieopbrengsten per vierkante meter rotoroppervlak en per jaar.

$k$ -waarde	Energieopbrengst [kWh/jaar.m <sup>2</sup> ]
1.6	212
2.4	140

Tabel 4.2: Energieopbrengsten gevonden met de standaard PV-curve volgens figuur 4.1 in [kWh/jaar.m<sup>2</sup>], bij gemiddelde windsnelheid  $u_{gem} = 3.8$  [m/s] en vormparameter  $k=1.6$  of  $k=2.4$ .

<sup>3</sup>Het voert te ver om de berekening hier tot in detail uit te leggen, maar in grote lijnen komt de berekening neer op de vermenigvuldiging van windturbinevermogen en het aantal uren dat dit windturbinevermogen gedurende het jaar gehaald is.

Het grote verschil in energieopbrengst bij gelijke gemiddelde windsnelheid maar verschillende  $k$ -waarde valt direct op (zie tabel 4.2). Dankzij de relatief grote kans op hogere windsnelheden bij een kansdichtheidsverdeling van de windsnelheden met  $k=1.6$  vergeleken bij de veel kleinere kans op hogere windsnelheden bij een kansdichtheidsverdeling met  $k=2.4$  vinden we dus een aanzienlijk hogere opbrengst bij kleine  $k$ -waarde met gelijke gemiddelde windsnelheid. Het is dus niet voldoende om alleen de gemiddelde windsnelheid te kennen, de waarde van  $k$  die uit metingen van de windsnelheid is verkregen blijkt essentieel voor een betrouwbare berekening van de energieopbrengst. Het is dan ook verstandig om de windsnelheid eerst (gedurende enkele maanden) te meten en daaruit  $k$  en de gemiddelde windsnelheid te berekenen alvorens verwachtingen uit te spreken over de energieopbrengst van de windturbine. Dit blijkt eens te meer uit het volgende. De uurgemiddelde windsnelheid op het testveld te Schoondijke was door de projectgroep vooraf ingeschat op 6 [m/s]. In het testjaar bleek de uurgemiddelde windsnelheid echter maar 3.8 [m/s]. Een berekening van de energieopbrengst van een windturbine met een standaard PV-curve en  $k = 1.6$  toont aan dat de energieopbrengst bij 3.8 [m/s] slechts 32% is van de energieopbrengst bij 6 [m/s].

## Hoofdstuk 5

# Evaluatie testresultaten

### 5.1 Investering

Het is interessant om de totale investering voor de verschillende kleine windturbines in Schoondijke te vergelijken. We moeten daartoe de investering bepalen per vierkante meter rotoroppervlak (het rotoroppervlak is de projectie van het door de bladen bestreken oppervlak). Overigens is van te voren bekend wat de tendens is bij een dergelijk vergelijking. De kosten van de ongeveer 12 meter hoge mast wegen zwaar bij een windturbine met een klein rotoroppervlak<sup>1</sup>. Dit vergelijking zal dus altijd laten zien dat de grotere windturbines gemiddeld voordeliger zijn. We vinden het resultaat dat in figuur 5.1 is weergegeven.

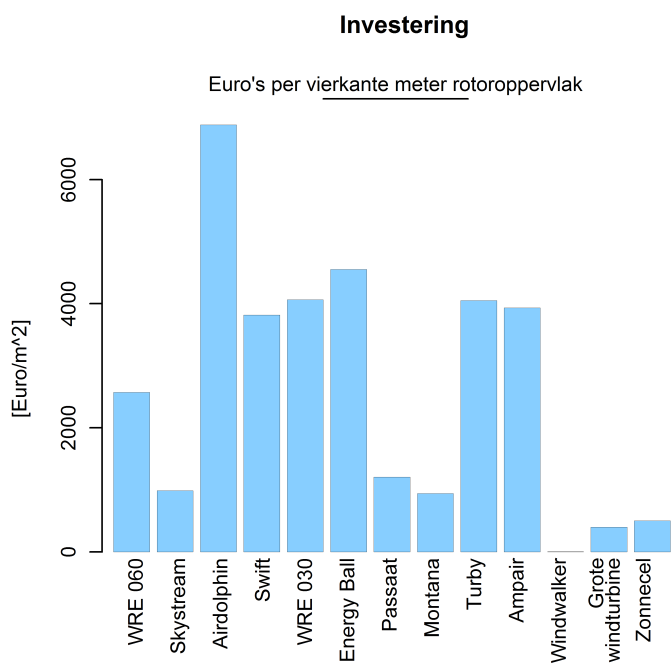
De grote spreiding in de investering per vierkante meter rotoroppervlak valt direct op. Grote windturbines, met een rotordiameter van ettelijke tientallen meters, laten in de investering per vierkante meter rotoroppervlak een veel kleinere spreiding zien. Dat kan ook haast niet anders want de energieopbrengst van deze grote windturbines verschilt niet veel. Als ze te duur zijn dan prijzen ze zichzelf dus uit de markt.

De dure kleine windturbines zullen bij gebrek aan evenredige prestaties ook afvallen als middel om duurzame energie te verkrijgen. Over die prestaties meer in de volgende paragrafen.

---

<sup>1</sup>Als we bijvoorbeeld 3000 Euro voor de mast rekenen en we trekken dit bij alle windturbines van de investering af dan zal een kleine windturbine veel voordeliger uit de bus komen. Een dergelijke berekening is natuurlijk ook slechts een benadering, omdat de prijs van de mast als gevolg van de verschillende rotordiameters en dus de verschillende mastbelasting, voor alle turbines verschillend is.





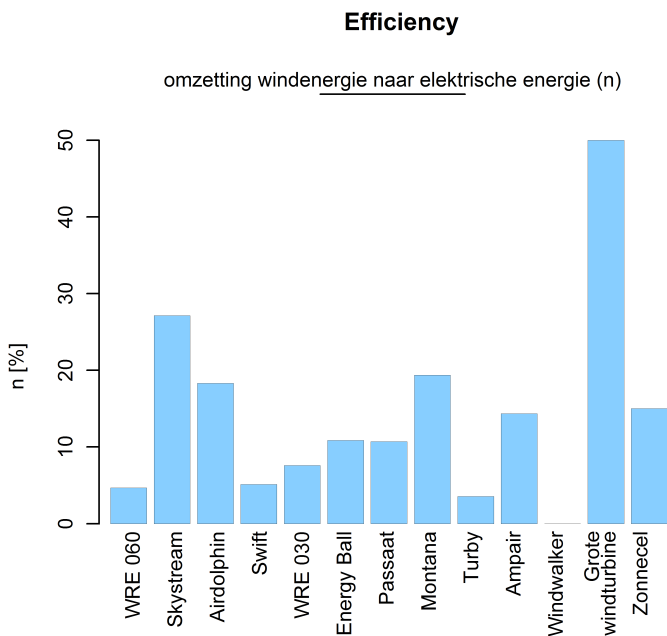
Figuur 5.1: Totale investering per vierkante meter rotoroppervlak [Euro/m<sup>2</sup>].

## 5.2 Efficiency

De efficiëncy van de omzetting van windenergie in elektrische energie ofwel de overall efficiëncy  $n$  van de geteste kleine windturbines kan gevonden worden uit een vergelijk van de gemeten energieopbrengst  $E$  met de bekende energieopbrengst van een windturbine met de standaard PV-curve (212 [kWh/jaar.m<sup>2</sup>] op Schoondijke). Omdat de kleine windturbines tijdens het testjaar vooral draaiden in het werkgebied van de PV-curve kunnen we stellen dat we  $n$  vinden uit de gemeten netto<sup>2</sup> energieopbrengst  $E$  volgens

$$n = \frac{E}{212} \quad (5.1)$$

We vinden daarmee de overall efficiëncy  $n$  van de geteste kleine windturbines gedurende het testjaar, die in figuur 5.2 is afgebeeld.

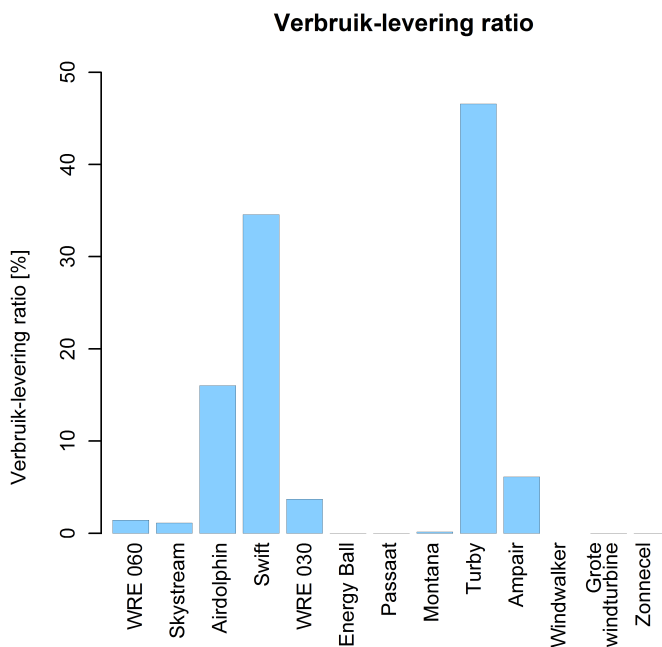


Figuur 5.2: De efficiëncy van de omzetting van windenergie in elektrische energie ofwel de overall efficiëncy  $n$  van de geteste kleine windturbines, herleid met formule 5.1 uit de energieopbrengst bij een standaard PV-curve en de gemeten energieopbrengst.

<sup>2</sup>De netto energieopbrengst  $E$  is gelijk aan de geleverde energie minus de verbruikte energie.

Uit figuur 5.2 blijkt dat de hoogste overall efficiëncy  $n$  de 30% nadert. Hoe moeten we dit interpreteren? Grote windturbines hebben tegenwoordig een efficiëncy die dicht tegen de maximaal haalbare efficiëncy van 59% (de zogenaamde Betz limiet, die volgt uit een theoretisch model voor de werking van een windturbine) aan ligt. Bij kleine windturbines zijn de verliezen relatief groot en zal de efficiëncy dus lager zijn. Verder zal de efficiëncy bij alle windturbines lager zijn als de gemiddelde windsnelheid laag is. De windturbines draaien dan eigenlijk suboptimaal. De lage gemiddelde windsnelheid tijdens het testjaar in Schoondijke zal dus suboptimale prestaties van de kleine windturbines veroorzaken.

De efficiëncy wordt bij sommige kleine windturbines voor een belangrijk deel bepaald door het verbruik van energie door de windturbine. Dit is duidelijk als we de ratio bepalen van het verbruik en de levering van energie (zie figuur 5.3).

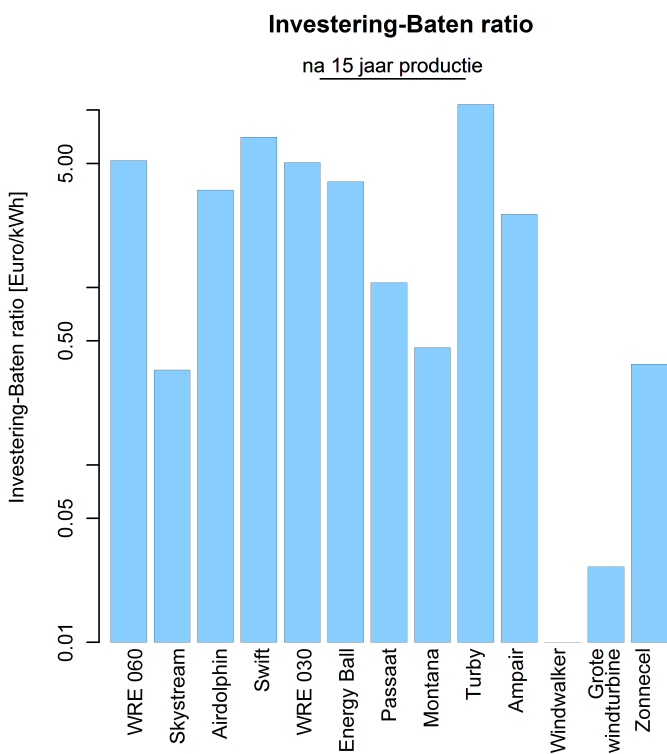


Figuur 5.3: Ratio van verbruik en levering van energie.

Figuur 5.3 maakt duidelijk dat sommige kleine windturbines ongeveer 50% van hun opgewekte energie verbruiken, bijvoorbeeld om de rotor op te starten als de windturbine niet zelfstartend is of om circuits in de regeling van de windturbine te bekrachtigen. Het behoeft geen uitleg dat dit de economie van sommige kleine windturbines bijzonder moeilijk maakt.

### 5.3 Investering-Baten ratio

De resultaten die tot nu toe besproken zijn dienen vooral als achtergrond voor het resultaat dat in dit hoofdstuk wordt besproken. Het belangrijkste resultaat is natuurlijk de verhouding tussen de investering en de baten ofwel energieopbrengst. We berekenen deze verhouding voor een afschrijving van de investering in 15 jaar en vergelijken de resultaten voor de kleine windturbines ook met zonnecellen en grote windturbines (afschrijving investering eveneens vastgesteld op 15 jaar). We vinden hiermee de resultaten die in figuur 5.4 zijn afgebeeld.



Figuur 5.4: Investering-baten verhouding van de geteste windturbines [Euro/kWh] na 15 jaar productie en afschrijving van de investering in 15 jaar. Ter vergelijking zijn ook het zonnepaneel en de grote windturbine in de figuur opgenomen.

We zien dat de investering-baten ratio van de betere kleine windturbines tijdens het testjaar op Schoondijke ondanks de relatief lage windsnelheid vergelijkbaar is met die van zonnepanelen. Verder zien we een grote spreiding, van meer dan een factor 10, in de investering-baten ratio van de kleine windturbines. Dit kan vanuit het oogpunt van de economie van kleine windturbines alleen in een jonge markt waarin nog veel geleerd moet worden en waarin bij kopers veel onbekend is. In een volwassen markt, zoals die van grote windturbines, worden grote verschillen in de investering-baten ratio niet getollereerd.

## Hoofdstuk 6

# Discussie van de resultaten en conclusies

De energieopbrengst op basis van de gemeten windsnelheid te Schoondijke (3.8 [m/s]) is slechts ongeveer 32% van de energieopbrengst op basis van de -door de projectgroep- vooraf ingeschatte windsnelheid (6 [m/s]). Het blijkt lastig om de windsnelheid en energieopbrengst van te voren in te schatten. Het is daarom goed om de windsnelheid te meten alvorens over te gaan tot plaatsing van kleine windturbines.

De meetresultaten laten een grote spreiding zien in de prestaties van de windturbines. Dit duidt op een jonge markt die nog sterk in ontwikkeling is. Ondanks dit feit en de lage windsnelheid op het testveld Schoondijke tijdens het testjaar, blijkt de investering-baten ratio van de betere kleine windturbines al vergelijkbaar te zijn met zonnepanelen. Het is dan ook verantwoord om de ontwikkeling van kleine windturbines voort te zetten en te stimuleren, in een jonge markt zijn prijsdalingen en prestatie verbeteringen immers zeer waarschijnlijk.

Momenteel is het verweven probleem voor kleine windturbines: er is een kleine markt in Nederland en dus weinig geld voor productverbetering of het product is nog niet zo goed waardoor er een kleine markt is. De stimulering van de markt zal dan ook moeten gebeuren via de twee paden die aan dit probleem ten grondslag liggen. Er zal een grotere markt gecreëerd moeten worden en de kleine windturbines zullen verbeterd moeten worden. Deze twee paden kunnen en moeten samen bewandeld worden. Dit kan door certificering (het bemeten van de windturbines volgens een vast protocol) van de windturbines te stimuleren en gecertificeerde windturbines een soepeler plaatsingsbeleid te geven. In samenwerking met SenterNovem en de Nederlandse Wind Energie Associatie (NWEA) is hiervoor de Nederlandse beoordelingsrichtlijn voor kleine windturbines [4] opgezet. Dit is de eerste aanzet tot certificering van kleine windturbines in Nederland die ervoor kan zorgen dat veiligheid geborgd is, dat hinder voorkomen wordt en dat de prestaties op voorhand bekend zijn. Ter informatie is de inleiding uit de Nederlandse beoordelingsrichtlijn voor kleine windturbines opgenomen in bijlage D. Het gehele rapport is beschikbaar op de site van SenterNovem [10].

# Bibliografie

- [1] DELTA, **Database meetresultaten**, 3 april 2009
- [2] Tramper, N., **Meetresultaten vd testperiode 20090403.pdf**, 14 april 2009
- [3] Wieringa, J., Rijkoort, P.J., **Windklimaat van Nederland**, Staatsuitgeverij, Den Haag, 1983
- [4] Mertens, S., **Nederlandse Beoordelingsrichtlijn Kleine Windturbines**, Ingreenious, november 2008
- [5] <http://www.hollandsolar.nl>, april 2009
- [6] <http://www.zonnepanelen.wouterlood.com>, april 2009
- [7] <http://home.planet.nl/windsh/Windmaand-2008-December.pdf>, april 2009
- [8] Hydra project, **Database potentiële windsnelheden KNMI**, meetstation Hoofdplaat, 3 april 2009
- [9] EWEA, **Wind Energy the Facts**, An analysis of wind energy in the EU-25, 2004
- [10] [http://www.senternovem.nl/duurzameenergie/publicaties/publicaties\\_windenergie/nederlandse\\_boordelingsrichtlijn\\_kleine\\_windturbines.asp](http://www.senternovem.nl/duurzameenergie/publicaties/publicaties_windenergie/nederlandse_boordelingsrichtlijn_kleine_windturbines.asp), mei 2009

# Appendices

# Bijlage A

## Meetresultaten

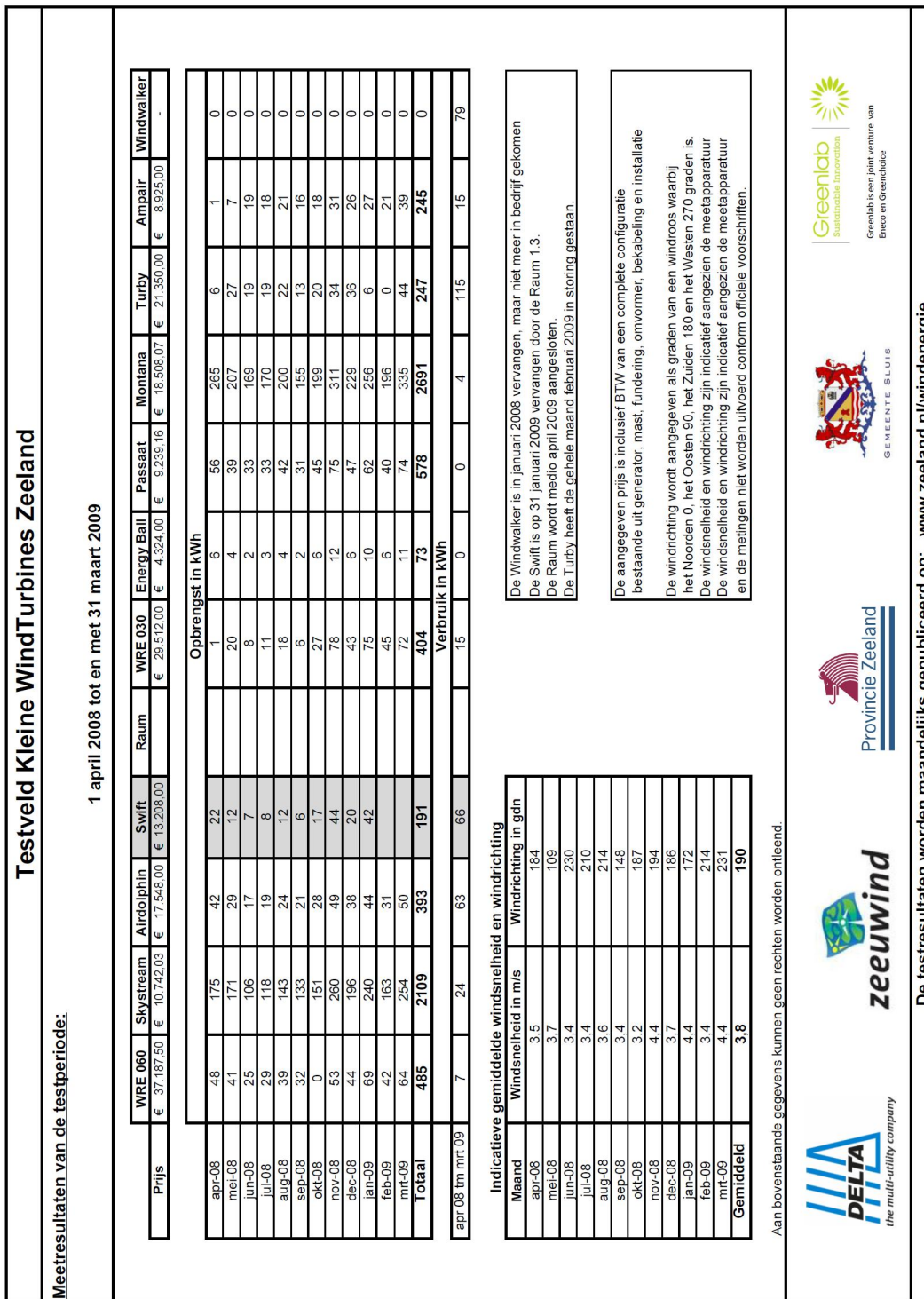
Voor een vergelijk van de kleine windturbines met zonnepanelen en grote windturbines is gebruik gemaakt van de kengetallen vermeld in table A.1 (bronnen Zonnepanelen: [5] en [6], bronnen grote windturbine: [7] en [9]).

Omzetter	Euro/m <sup>2</sup>	kWh/jaar.m <sup>2</sup>
Zonnepaneel	500	90
Grote windturbine	400	1000

Tabel A.1: Kengetallen van een zonnepaneel en een grote windturbine, gebaseerd op [5], [6], [7] en [9].

De officiële meetresultaten van de projectgroep testveld kwf, die bestaat uit Zeeuwind, DELTA, Provincie Zeeland, gemeente Sluis en Greenlab (een samenwerkingsverband tussen Greenchoice en Eneco) zijn in figuur B.1 gegeven.



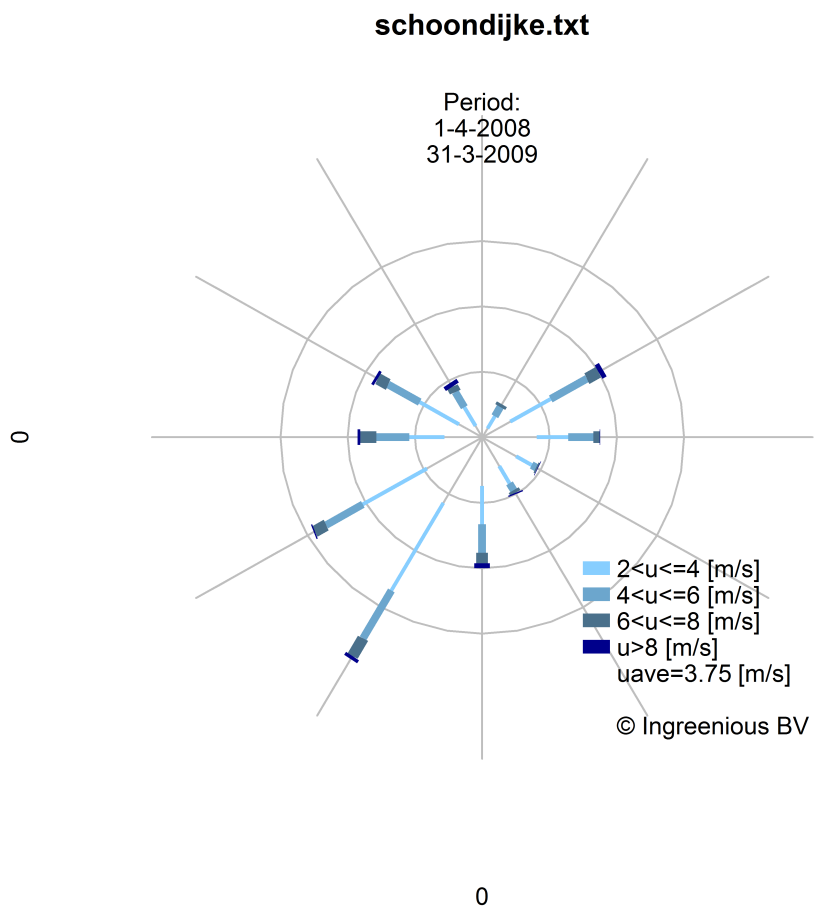


Figuur A.1: Officiële testgegevens van het testveld Schoondijke.

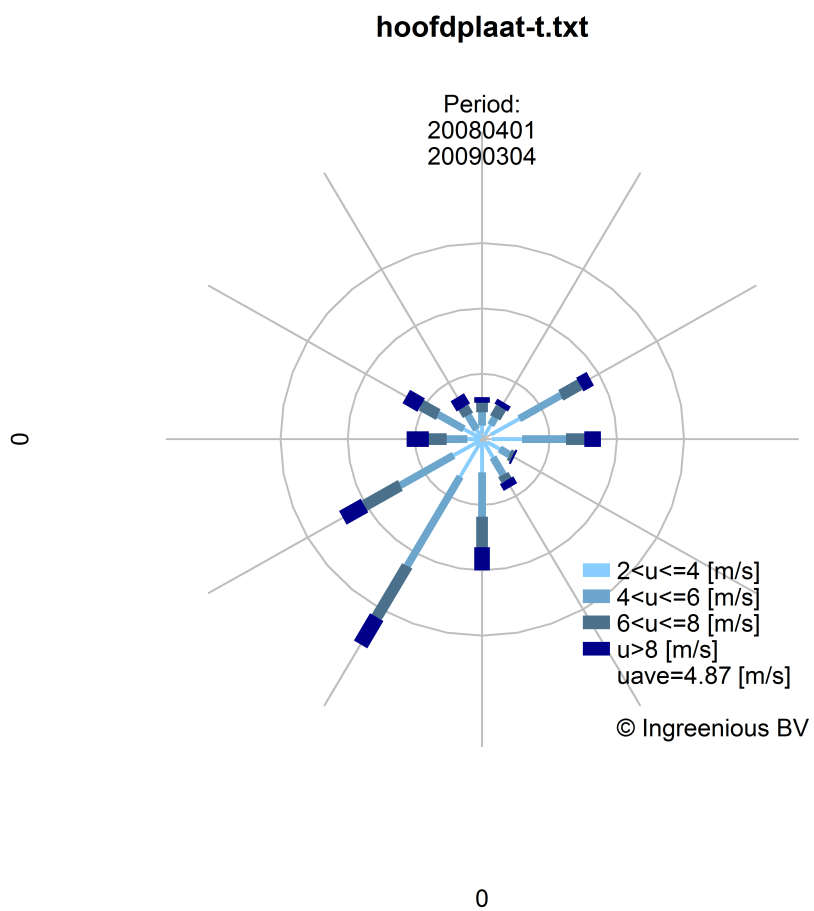
## Bijlage B

# Windrozen

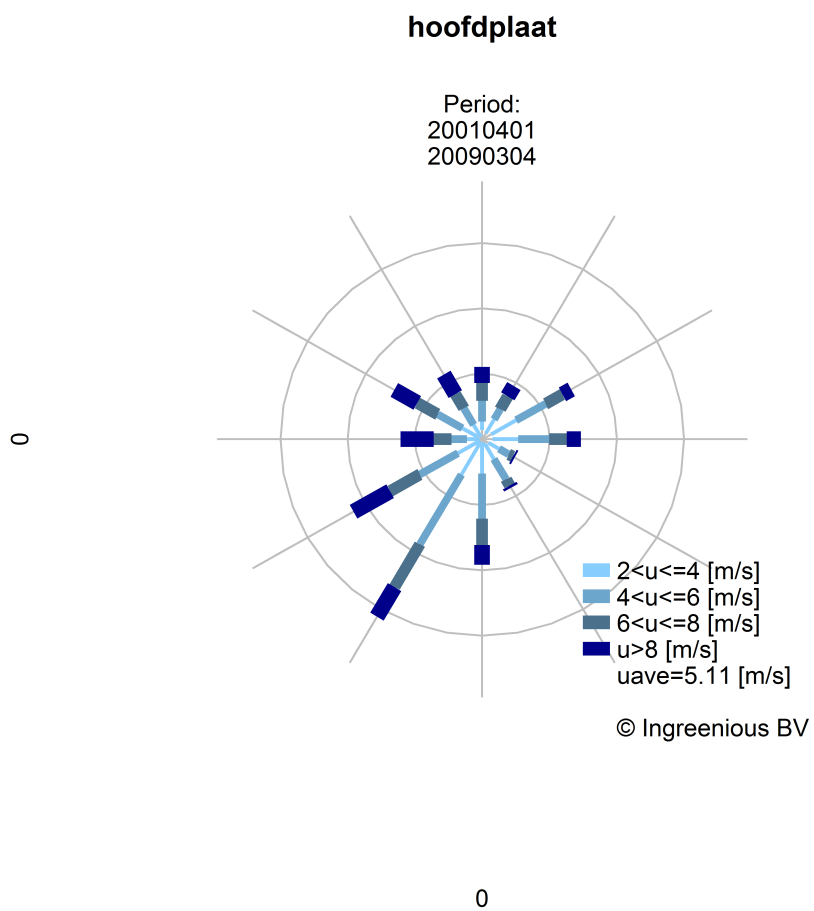
Het windaanbod kan inzichtelijk gemaakt worden met behulp van een windroos. De winddata zijn daartoe geanalyseerd met behulp van software van Ingreenious. Met deze software kan een windroos bepaald worden die in het bijzonder geschikt is voor windenergietoepassingen.



Figuur B.1: De windroos van Schoondijke in het testjaar (april 2008 tot april 2009).



Figuur B.2: De windroos van Hoofdplaat in het testjaar (april 2008 tot april 2009).

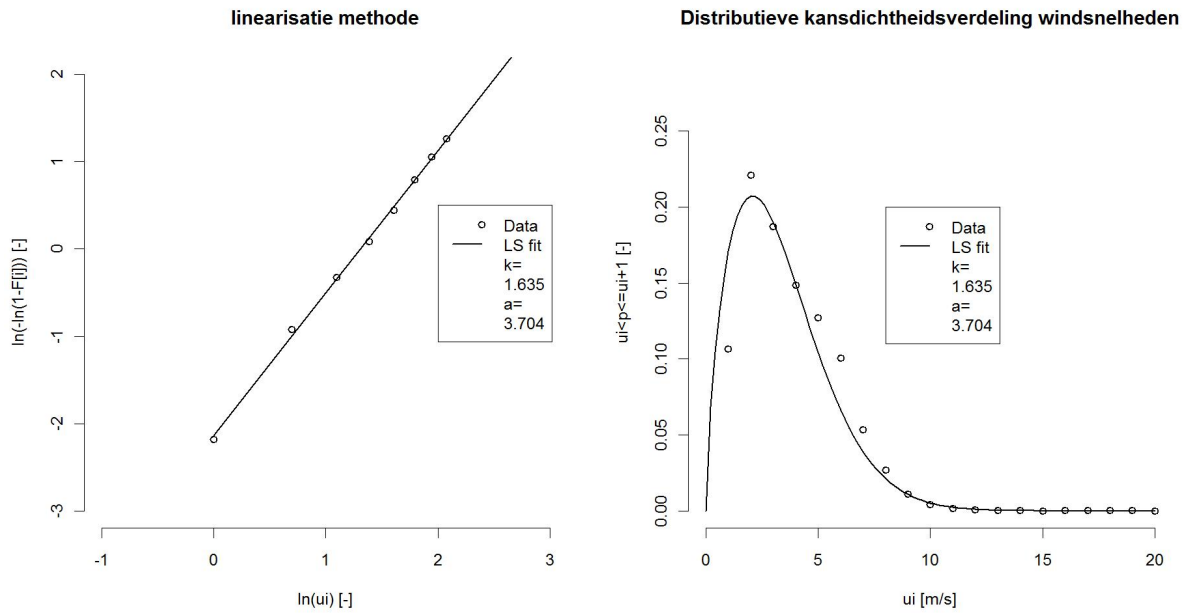


Figuur B.3: De windroos van Hoofdplaat gemiddeld over 8 jaar (van april 2001 tot maart 2009).

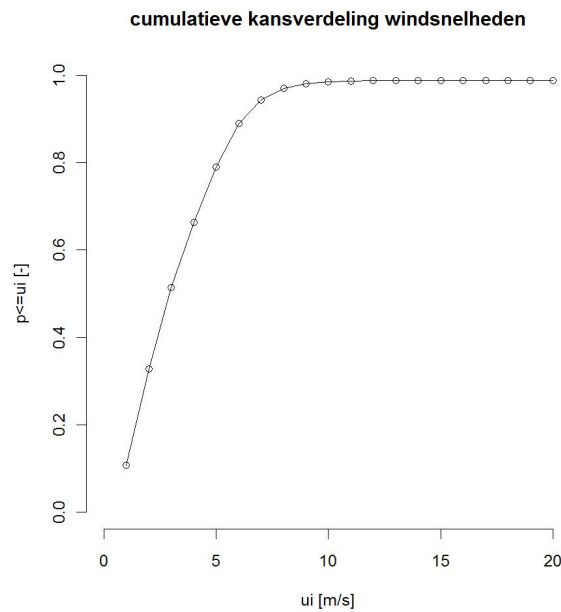
## Bijlage C

### Weibull

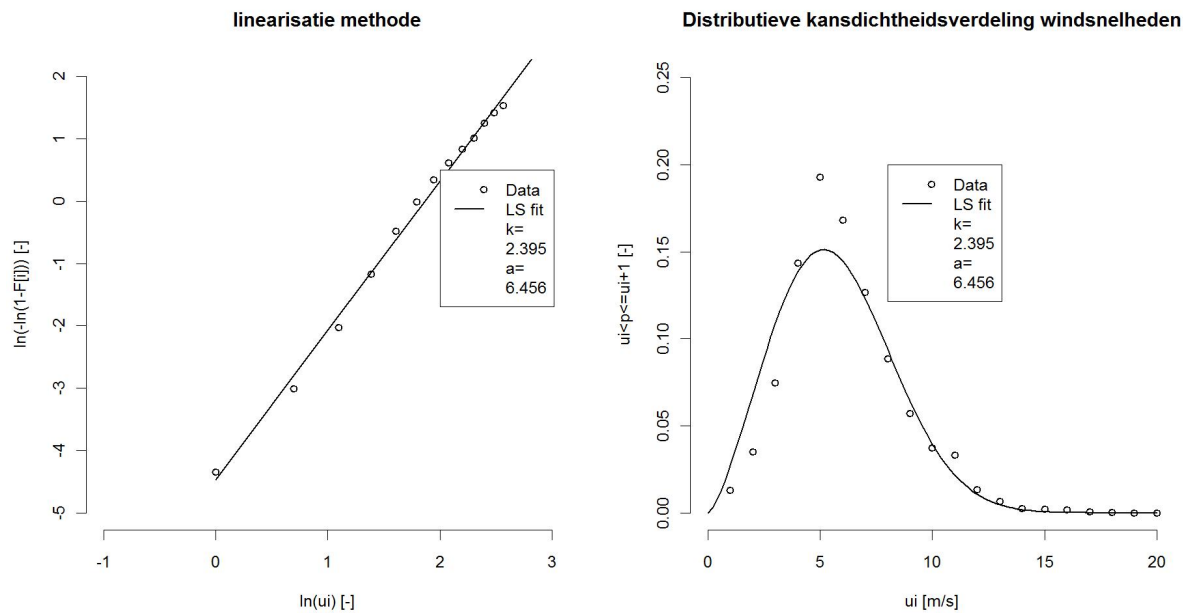
Enkele statistische eigenschappen van de tijdens het testjaar gemeten windsnelheid te Schoondijke zijn geanalyseerd met behulp van software van Ingreenious. De software berekend via een kleinste kwadraten criterium (Engels: Least Square Fit) een beste rechte door de meetresultaten die volgens de lineariseringsmethode (zie bijvoorbeeld Wieringa [3]) zijn herschreven. De uitvoer van de software voor dit gedeelte van de berekening is steeds in het linker gedeelte van de figuur weergegeven. Het uiteindelijke resultaat van de softwarematige analyse is steeds in het rechter gedeelte van de figuur weergegeven. De meetresultaten zijn als cirkels weergegeven terwijl het resultaat van de softwarematige analyse de getrokken Weibull verdeling is. De berekende vormparameter  $k$  en schaalparameter  $a$  zijn steeds gegeven in de legenda van de figuren.



Figuur C.1: De distributieve Weibull verdeling van Schoondijke in het testjaar (april 2008 tot april 2009). Kleinste kwadraten fit (Engels: Least Square fit) op 1 t/m 8 [m/s].



Figuur C.2: De cumulatieve Weibull verdeling van Schoondijke in het testjaar.



Figuur C.3: De Weibull verdeling van Hoofdplaat in het testjaar. Least Square fit op 1 t/m 13 [m/s].



## Bijlage D

# Inleiding Beoordelingsrichtlijn

Ter informatie hieronder de inleiding uit de ‘Nederlandse Beoordelingsrichtlijn Kleine Windturbines’ [4]. Het gehele rapport is beschikbaar op SenterNovem [10].

Potentiële kopers van kleine windturbines willen inzicht in de prestaties van verschillende windturbines om daarmee een weloverwogen keuze te maken uit het aanbod. Gemeentes willen voorafgaand aan plaatsing inzicht in de veiligheid en geluidsemissie van kleine windturbines. We hebben het echter over producten van veelal (kleine) startende ondernemers en de markt is in een aantal opzichten relatief jong. Er zijn daardoor nauwelijks objectieve gegevens van de windturbines voorhanden. Potentiële kopers en gemeentes baseren hun oordeel daarom vaak op beperkte gegevens van enkele leveranciers. Deze situatie is ongewenst omdat onvolledig of onjuist geïnformeerde betrokkenen niet tot een gefundeerde keuze voor een kleine windturbine kunnen komen.

De prestaties van kleine windturbines moeten daarom volgens een objectief protocol gemeten worden maar daarnaast moet er ook een Beoordelingsrichtlijn komen om de meetresultaten te interpreteren en een objectief vergelijk van de prestaties tussen windturbines mogelijk te maken. De Nederlandse branche van kleine windturbines, vertegenwoordigd in de commissie ‘Kleine Windturbines’ van de Nederlandse Wind Energie Associatie (NWEA) en SenterNovem hebben Ingreenious daarom gevraagd een Nederlandse Beoordelingsrichtlijn voor kleine netgekoppelde windturbines op te zetten die draagvlak heeft bij de aanbodkant (branche kleine windturbines) en vraagkant (gemeentes, provincies, particulieren, enz.). SenterNovem is hierbij opdrachtgever. De branche zal zorgen dat de Beoordelingsrichtlijn toegepast wordt op hun producten.

Dit document is de ‘Nederlandse Beoordelingsrichtlijn Kleine Windturbines’. Het zal gebruikt worden als eerste aanzet tot certificering van kleine windturbines in Nederland. Het beschrijft de uitgangspunten voor de beoordeling van kleine windturbines, de vereiste metingen in de ongebouwde en gebouwde omgeving, geeft een protocol voor de verwerking van de metingen en presentatie van de verwerkte meetresultaten.