

De lokale windsnelheidsverdeling rond de SEP proefwindcentrale

Referentienummer 91-421
Dossiernummer 112324-16148
Datum januari 1992
NP

Auteur
J.W. Cleijne

Trefwoorden
– windenergie
– opbrengsten
– proefwindcentrale

Bestemd voor
NV Samenwerkende
Electriciteits-produktiebedrijven
t.a.v. ir. P. Toussaint
Utrechtseweg 310
6812 AR Arnhem

Samenvatting

In de eerste fase van het onderzoek aan de SEP proefwindcentrale wordt door het Instituut voor Milieu en Energie Technologie - TNO, afdeling Stromingstechniek onderzoek verricht aan het windveld in en rond de Proefwindcentrale. Dit onderzoek heeft tot doel te bepalen in hoeverre bestaande rekenmodellen een betrouwbaar gereedschap zijn voor de optimalisatie van de lay-out en locatie van een windpark.

In dit kader is het lokale windklimaat rondom de Proefwindcentrale beschreven gebruikmakend van:

- het Handboek energie-opbrengsten van windturbines, methode III;
- de windgegevens over de jaren 1989 en 1990, die verzameld zijn met de vaste meetmasten rondom de proefwindcentrale.

Het rapport beschrijft in hoeverre het handboek energie-opbrengsten een correcte beschrijving levert van de langjarig gemiddelde windsnelheidsverdeling rondom de proefwindcentrale aan de hand van een vergelijking van de handboekberekeningen en de meetresultaten.

De berekening met het handboek heeft de volgende resultaten opgeleverd:

- gemiddelde windsnelheid op ashoogte: 7.6 m/s
- Weibull vormfactor: 2.11
- Weibull schaalfactor: 8.6 m/s

Analyse van de gemeten windgegevens heeft geresulteerd in de volgende uitkomsten:

- gemiddelde windsnelheid op ashoogte: 7.8 m/s
- Weibull vormfactor: 2.15
- Weibull schaalfactor: 8.8 m/s.

Op basis van de gemeten windgegevens en het feit dat de jaargemiddelde windsnelheid normaal verdeeld is rond het langjarig gemiddelde, wordt de langjarige gemiddelde windsnelheid op ashoogte geschat op 7.8 ± 0.6 m/s (95% betrouwbaarheidsinterval).

De gemiddelde windsnelheid, voorspeld met behulp van het handboek, wijkt slechts 3% af van de geschatte langjarige gemiddelde windsnelheid en valt daarmee ruimschoots binnen het gegeven betrouwbaarheidsinterval. Er is op basis van deze resultaten geen reden het handboekresultaat te verwerpen.

De langjarige gemiddelde windsnelheid kan na twee jaar nog niet met grote nauwkeurigheid worden geschat. Indien de uitspraak over de geldigheid van het handboek moet worden aangescherpt is het nodig de metingen nog geruime tijd voort te zetten.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
	Inhoudsopgave.....	3
1	Inleiding	4
2	Opbrengstberekeningen met handboek energie- opbrengsten van windturbines, deel III	5
2.1	Principe van het Handboek energie-opbrengsten van windturbines	5
2.2	De lokatie.....	6
2.3	Resultaat van de handboek berekening.....	7
3	Analyse van windgegevens gemeten in de proefwindcentrale	8
3.1	Beschrijving Proefwindcentrale-metingen	8
3.2	Statistiek	8
3.3	Jaargemiddelde versus langjarig gemiddelde windsnelheid	9
4	Vergelijking van berekeningen en metingen	11
4.1	Jaargemiddelde windsnelheid en Weibullverdeling	11
4.2	Statistische relevantie	11
4.3	Afwijking van de Weibullverdeling van de gemeten windsnelheidsverdeling	11
5	Conclusies	13
6	Literatuur	14
7	Verantwoording	15

Bijlage 1 Resultaten opbrengstberekeningen

Bijlage 2 Gegevens uit Proefwindcentrale jaarrapporten

1 Inleiding

In de eerste fase van het onderzoek aan de SEP Proefwindcentrale in Oosterbierum wordt door het Instituut voor Milieu en Energie Technologie - TNO onderzoek verricht aan het windveld in en rond de windcentrale. Dit onderzoek heeft tot doel te bepalen in hoeverre bestaande rekenmodellen een betrouwbaar gereedschap zijn voor de optimalisatie van de lay-out en locatie van een windpark. In het onderzoek worden 4 aspecten onderscheiden:

- lokale windgegevens;
- zogeeffecten;
- vermogensfluctuaties;
- ontwerp-windgegevens.

Dit rapport richt zich op het eerste aspect, het onderzoek aan het lokale windveld.

In de voorbije jaren is het handboek energie-opbrengsten voor windturbines ontwikkeld. Een voorlopige versie van dit handboek kwam gereed in 1983 [Vermeulen et al.]. In 1990 is een verbeterde versie van het handboek verschenen, waarin de gebruikerservaringen van de voorafgaande jaren zijn verwerkt [Verheij et al.]. De methode is bovendien geschikt gemaakt voor berekeningen tot een ashoogte van 80 m, er is een correctie ingevoerd voor de atmosferische stabiliteit, en er zijn verbeteringen aangebracht in de berekening voor kustlocaties.

Na het verschijnen van het handboek zijn een aantal aanwezige fouten verwerkt in errata. De berekeningen die in dit rapport gepresenteerd worden zijn gebaseerd op het handboek energie-opbrengsten inclusief errata.

In dit rapport wordt nagegaan in hoeverre het handboek III een correcte voorspelling levert van het jaargemiddelde windveld ter plaatse van de Proefwindcentrale. Hiertoe worden de handboekberekeningen, die beschreven worden in hoofdstuk 2, vergeleken met windmetingen die gedurende de jaren 1988, 1989 en 1990 zijn verzameld rondom de Proefwindcentrale. Een beschrijving van de analyse van de meetgegevens en de vergelijking met de opbrengstvoorspellingen is te vinden in hoofdstuk 3.

Conclusies omtrent de significante en statistisch relevante verschillen worden gegeven in hoofdstuk 4.

2 Opbrengstberekeningen met handboek energie-opbrengsten van windturbines, deel III

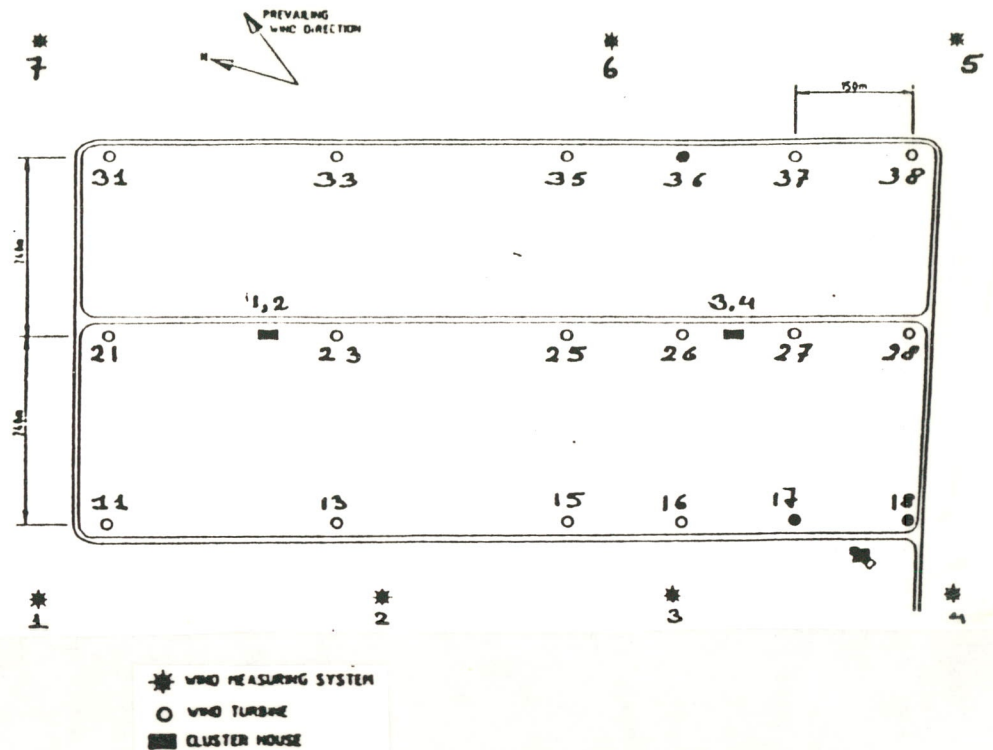
2.1 Principe van het Handboek energie-opbrengsten van windturbines

Bij de berekening van het lokale windregime van de Proefwindcentrale is gebruik gemaakt van methode III uit het Handboek energie-opbrengsten van windturbines. Deze methode is geschikt voor complexe terrein situaties en windturbine-lokaties aan de kust.

Met behulp van het handboek wordt per windrichtingsector van 30 graden een correctiefactor voor de windsnelheid, ten gevolge van terreininval (C_Q), obstakeleffecten (C_B), parkeffecten (C_{park}), klimatologische verschillen (C_M) en de ashoogte berekend. Na vermenigvuldiging met weegfactoren ter correctie van de windsnelheidsverdeling per sector resulteert dit in de jaargemiddelde windsnelheid. Tenslotte wordt deze gecorrigeerd voor de invloed van de stabiliteit van de atmosfeer. Het windaanbod wordt berekend in de vorm van een Weibullverdeling, die afgeleid wordt uit de jaargemiddelde windsnelheid en gekenmerkt wordt door een schaalfactor a_{as} en een vormfactor k_{as} . Uit deze verdeling, toegepast op de vermogenskarakteristiek, wordt vervolgens de jaargemiddelde energie-opbrengst berekend.

Toepassing van de methode vereist gedetailleerde gegevens van het terrein en obstakels tot 5 à 10 km van de windturbine-lokatie in alle windrichtingen. Als invoergegevens dienen verder enkele bekende statistische gegevens van een representatief meteostation en de vermogenskarakteristiek van de windturbine. Deze gegevens worden getransformeerd naar de windturbine lokatie. Aan de kust wordt onderscheid gemaakt tussen land- en zeesectoren. Een zeesector is een sector waarvoor geldt dat de afstand tussen de turbine en de kust minder is dan 5 km. Voor deze sectoren wordt Lichtschip Texel als referentiestation genomen.

2.2 De lokatie



Figuur 1 Plattegrond Proefwindcentrale NV SEP

De proefwindcentrale bevindt zich even buiten Sexbierum, gemeente Oosterbierum. De topografische coördinaten van het midden van de Proefwindcentrale zijn bepaald op (X=164.6, Y=581.0). De lokatie bevindt zich op ongeveer 4 km van de kust. In figuur 1 is de lay-out van het park weergegeven. Tevens zijn in deze figuur de lokaties van de windmeetmasten aangegeven. De turbines bevinden zich in open weideland, dat is doorsneden door slootjes. Verder komt in een straal van 10 km verspreid bebouwing voor. De voornaamste bebouwing wordt gevormd door Franeker op ongeveer 3 km ten zuiden en Harlingen op 6 km ten zuidwesten van de windcentrale.

Met behulp van topografische kaarten schaal 1 op 25000 is een schematische ruwheidskartering gemaakt volgens de in het handboek aanbevolen methoden. Het resultaat van de schematische ruwheidskartering is te vinden in bijlage 1.

Voor het weideland is in het een ruwheidslengte van 0.1 m gebruikt. De ruwheidslengte voor Franeker is geschat op 0.5 m met een verplaatsingsdikte van 10 m. Harlingen ligt in de sectoren 8 en 9. Daar Harlingen in deze sectoren slechts ongeveer 50% bestrijkt en de rest van de sector bestaat uit terrein met ruwheidslengte 0.1 m, is voor deze sector een ruwheid gekozen van 0.25 m en een verplaatsingshoogte van 5 m.

In de omgeving van het windpark zijn geen obstakels van betekenis, zodat de obstakelcorrectie-coëfficiënt in alle sectoren 1 is verondersteld. Aangezien het hier gaat om de bepaling van het ongestoorde windregime, waarbij geen rekening wordt gehouden met zogeeffecten van windturbines, zijn de coëfficiënten C_{park} ook gelijk aan 1 gehouden. In bijlage 1 zijn de tussenresultaten van de berekening verzameld.

2.3 Resultaat van de handboek berekening

De handboekberekening resulteert in de parameters van de Weibullverdeling op ashoogte. De cumulatieve Weibull-verdeling geeft de kans dat de windsnelheid kleiner is dan een gegeven windsnelheid. De cumulatieve verdeling wordt gegeven door

Voor de proefwindcentrale geldt volgens de handboek-berekening:

$$a_{\text{as}} = 8.61 \text{ m/s}$$

$$k_{\text{as}} = 2.11$$

De gemiddelde windsnelheid op ashoogte is berekend op $U_{\text{as}} = 7.62 \text{ m/s}$. Figuur 2 geeft de cumulatieve verdeling weer.

3 Analyse van windgegevens gemeten in de proefwindcentrale

3.1 Beschrijving Proefwindcentrale-metingen

Rondom de Proefwindcentrale bevinden zich 7 masten met daarop gemonteerde anemometers. De anemometers zijn op hoogte van de windturbines bevestigd. De windgegevens, windsnelheid en windrichting worden samen met nog andere grootheden iedere minuut geregistreerd en opgeslagen (zie figuur 1).

Kema publiceert jaarlijks een standaard jaarrapport met de belangrijkste statistische gegevens van de Proefwindcentrale. In het jaarrapport wordt ook de frequentieverdeling en frequentieverdeling als functie van de windrichtingsector en de windsnelheidsklasse opgenomen. Bovendien wordt de sectorgemiddelde windsnelheid en de totale gemiddelde snelheid over het betreffende jaar weergegeven. Op het moment zijn windgegevens beschikbaar van 1988, 1989 en 1990. Van 1988 zijn de gegevens alleen beschikbaar voor een gedeelte van het jaar. Omdat bij de analyse van een dergelijk incompleet jaar seizoensinvloeden een belangrijke invloed op de statistiek kunnen hebben, is 1988 niet meegenomen in de evaluatie. Bijlage 2 geeft de gemeten frequentieverdeling van de windsnelheid in tabelvorm, afkomstig uit de jaarrapporten van 1989 en 1990.

3.2 Statistiek

Om een betere statistiek te waarborgen is uit de frequentieverdelingen van 1989 en 1990 ook een frequentieverdeling van deze twee jaren samen geconstrueerd. Omdat de beschikbaarheid van de windmetingen in beide jaren zeer hoog was, namelijk 98 respectievelijk 99%, is de samengestelde frequentieverdeling bepaald door per klasse de kans van voorkomen over 1989 en 1990 te middelen.

Ter vergelijking met de handboekberekeningen zijn uit deze drie verdelingen (van 1989 en 1990 afzonderlijk en van 1989 en 1990 samen) de Weibullparameters a_{as} (de schaalfactor) en k_{as} (de vormfactor) bepaald. Deze parameters zijn uit de gemeten verdeling bepaald met behulp van een kleinste kwadraten aanpassing op de cumulatieve verdeling volgens de methode, die door Wieringa wordt beschreven [Wieringa en Rijkoort, 1983]. Bij de aanpassing zijn alleen de windsnelheden in het interval 4-16 m/s meegenomen. Tabel 2 geeft de resultaten van de analyse. Voor de volledigheid zijn ook de gegevens van de handboekberekening in de tabel opgenomen.

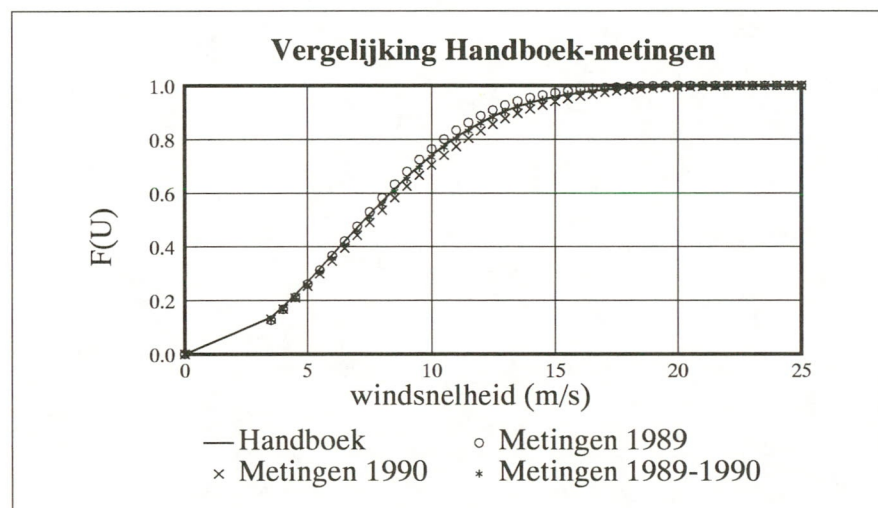
De lokale windsnelheidsverdeling rond de SEP proefwindcentrale

Tabel 1 Weibullparameters bepaald uit de gemeten windsnelheidsverdeling

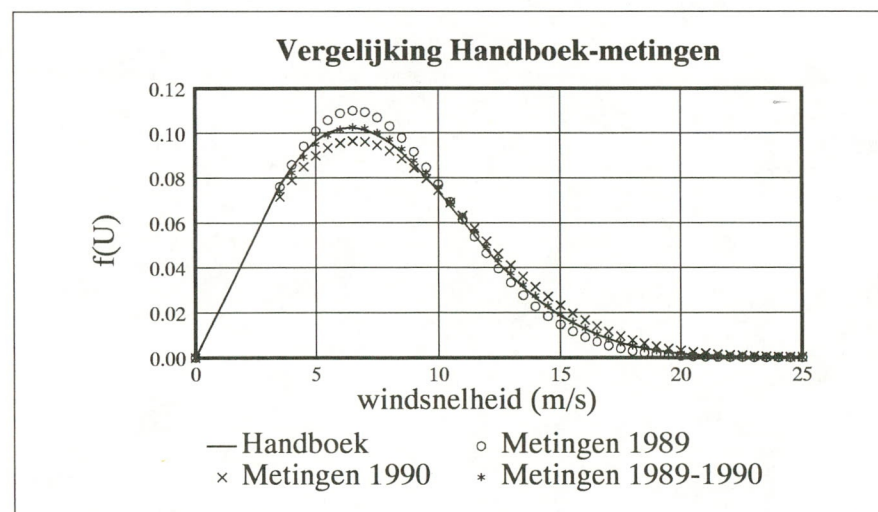
	1989	1990	1989-1990	handboek
schaalfactor a_{as}	8.50	9.09	8.79	8.61
vormfactor k_{as}	2.26	2.06	2.15	2.11
V_{gem}	7.5	8.1	7.8	7.6

Figuur 2 geeft de cumulatieve kansverdeling als functie van de windsnelheid met de Weibullparameters uit tabel 2. De getrokken lijn in de figuur geeft de windsnelheidsverdeling volgens de handboekberekening.

In figuur 3 wordt de distributieve verdeling gegeven, uitgaande van dezelfde gegevens uit tabel 2.



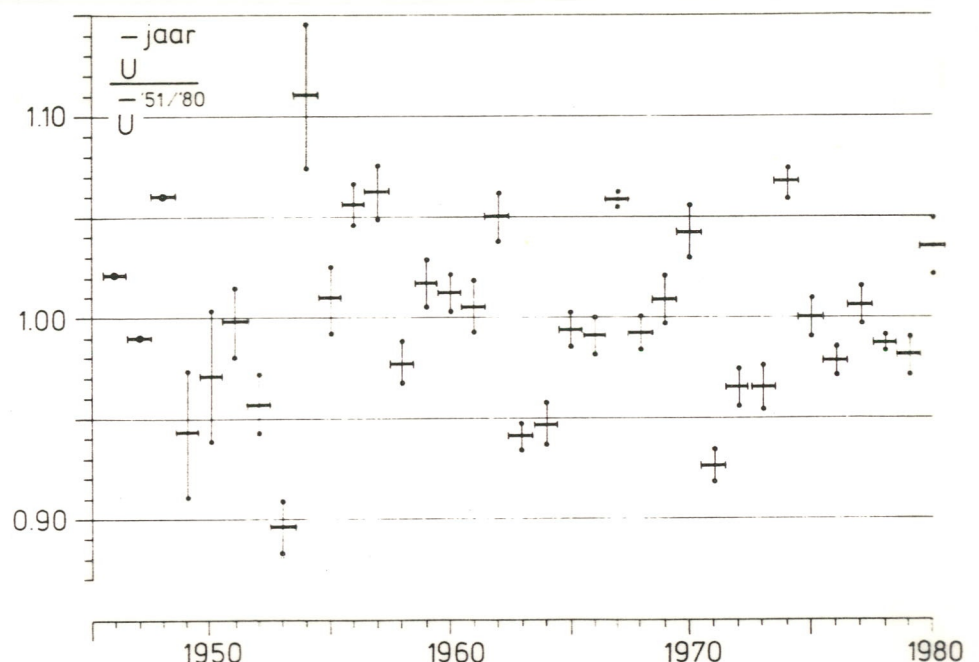
Figuur 2 Cumulatieve windsnelheidsverdeling rond de Proefwindcentrale



Figuur 3 Distributieve windsnelheidsverdeling rond de Proefwindcentrale

3.3 Jaargemiddelde versus langjarig gemiddelde windsnelheid

Volgens [Wieringa en Rijkooort, 1983] is de jaarlijkse gemiddelde windsnelheid Gaussisch verdeeld rondom de langjarige gemiddelde windsnelheid met een standaardafwijking van ongeveer 5.5% (zie figuur 4). Dit betekent dat in het algemeen lang moet worden gemeten om de langjarig gemiddelde windsnelheid met voldoende nauwkeurigheid vast te stellen. Tabel 3 geeft het betrouwbaarheidsinterval rond de gemeten windsnelheid waarbinnen zich het werkelijke gemiddelde bevindt.



Figuur 4 Gemiddelde waarde op Nederlandse windstations van de verhouding tussen de jaargemiddelde windsnelheid en de veeljarige gemiddelde windsnelheid op hetzelfde station [Wieringa en Rijkooort, 1983]

Tabel 2 Betrouwbaarheidsintervallen bij verschillende middelingstijden

Middelings tijd	1 mnd	3 mnd	6 mnd	1 jr	2 jr	5 jr
R(80%)	24%	14%	10%	7.0%	5.0%	3.1%
R(95%)	37%	22%	15%	11%	7.6%	4.8%

Dus wanneer na een meetperiode van 2 jaar de gemiddelde windsnelheid 7.8 m/s bedraagt zoals in de Proefwindcentrale, dan is er 80% kans dat het langjarig gemiddelde in het interval 7.4 - 8.2 m/s ligt. De kans dat de windsnelheid in het interval 7.2 - 8.4 m/s ligt bedraagt 95%.

4 Vergelijking van berekeningen en metingen

4.1 Jaargemiddelde windsnelheid en Weibullverdeling

Uit tabel 2 blijkt dat de Weibullparameters zeer goed overeenkomen met de Weibullparameters bepaald uit de windsnelheidsmetingen rond de Proefwindcentrale, wanneer de resultaten van de twee meetjaren samen worden beschouwd. De met het handboek berekende gemiddelde windsnelheid op ashoogte wijkt slechts 3% af van de gemeten gemiddelde windsnelheid over de tweejarige periode. De berekende vormfactor k_{as} is 2% lager dan de gemeten vormfactor.

Voor de jaren 1989 en 1990 afzonderlijk treden afwijkingen op in zowel de gemiddelde windsnelheid en de schaalfactor als in de vormfactor. 1989 kende een 2% lagere gemiddelde windsnelheid dan het handboek berekent, terwijl 1990 met een jaargemiddelde windsnelheid een 7% hogere windsnelheid heeft laten zien. De vormfactor is in 1989 7% hoger dan berekend, en in 1990 2% lager.

4.2 Statistische relevantie

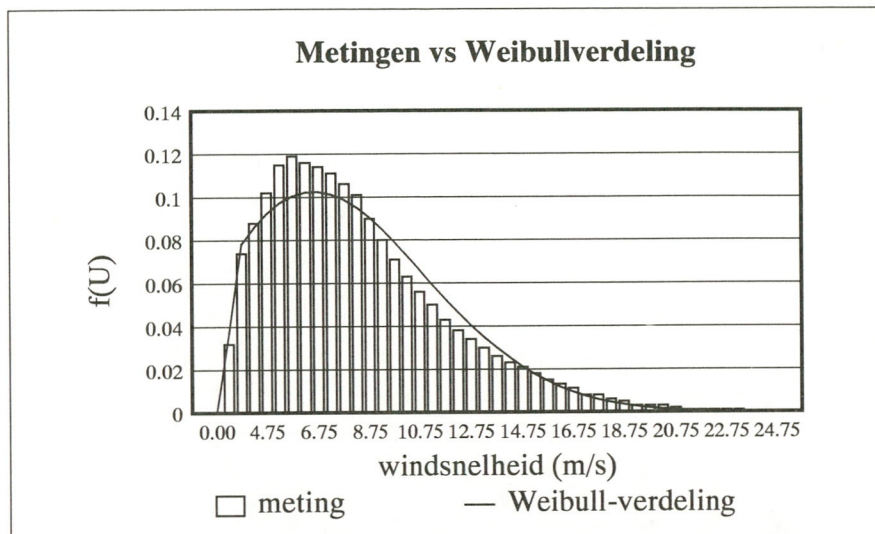
De resultaten van de handboekberekening en de beschouwing in 3.3 laten zien dat de berekende jaargemiddelde windsnelheid van 7.6 m/s ruimschoots binnen de genoemde betrouwbaarheidsintervallen liggen. Er is dus geen reden om op basis van de gepresenteerde metingen de handboekresultaten te verwerpen.

Soortgelijke redeneringen zijn ook op te zetten voor de vorm factor k_{as} . In het algemeen is de onzekerheid in de bepaling van de vormfactor groter dan in de bepaling van de gemiddelde windsnelheid. Aangezien de verschillen tussen de berekende en de gemeten waarde van k_{as} miniem zijn wordt dit hier achterwege gelaten.

4.3 Afwijking van de Weibullverdeling van de gemeten windsnelheidsverdeling

Tot slot zullen we het resultaat van de berekening en de analyse van de windgegevens vergelijken met de gemeten frequentieverdeling van de wind. Figuur 5 geeft de gemeten windsnelheidsverdeling op ashoogte voor de jaren 1989 en 1990 samen, de daaruit afgeleide Weibull verdeling en de verdeling op basis van de handboekberekening. Hierbij is goed te zien dat de handboekberekening en de Weibullverdeling gevonden uit de metingen zeer goed overeenkomen. Het blijkt echter ook, dat de Weibull-verdeling afwijkt van de gemeten verdeling. In het windsnelheidsinterval tot 9 m/s blijft de Weibull-verdeling duidelijk onder de gemeten frequentieverdeling, boven 9 m/s daarentegen voorspelt de Weibullverdeling een hogere kans van voorkomen. Bij opbrengstberekeningen heeft dit tot gevolg dat een hogere opbrengst wordt gevonden bij het gebruik van de uit de metingen afgeleide Weibullverdeling dan bij het gebruik van de metingen zelf.

De lokale windsnelheidsverdeling rond de SEP proefwindcentrale



Figuur 5 Vergelijking van de gemeten windsnelheidsverdeling gemiddeld over 1989 en 1990, de hieruit bepaalde Weibull-verdeling en de Weibull-verdeling berekend met behulp van het handboek

Er zijn een tweetal mogelijke oorzaken aan te wijzen voor deze afwijking:

1. De Proefwindcentrale ligt op slechts 4 km van de zee. Mogelijk leidt de combinatie van een zee-windregime en een land-windregime tot een wat andere windsnelheidsverdeling.
2. Vooral 1990 werd gekenmerkt door het voorkomen van enkele zeer zware stormen met een lage kans van voorkomen [Jaaroverzicht van het weer, 1989, 1990]. Deze stormen hebben vooral het gevolg dat de staart van de windverdeling hoger is dan normaal.

5 Conclusies

In de eerste fase van het onderzoek aan de SEP proefwindcentrale is door het Instituut voor Milieu en Energie Technologie - TNO, afdeling Stroomingstechniek onderzocht in hoeverre het Handboek Energie-opbrengsten, methode III een betrouwbaar gereedschap is voor de optimalisatie van de lay-out en lokatie van een windpark.

Berekeningen met het handboek Energie-opbrengsten, methode III laten de volgende resultaten zien:

- gemiddelde windsnelheid op ashoogte: 7.6 m/s
- Weibull vormfactor: 2.11
- Weibull schaalfactor: 8.6 m/s

Analyse van de gemeten windgegevens van 1989 en 1990 heeft geresulteerd in de volgende uitkomsten

- gemiddelde windsnelheid op ashoogte: 7.8 m/s
- Weibull vormfactor: 2.15
- Weibull schaalfactor: 8.8 m/s.

Op basis van de gemeten windgegevens en het feit dat de jaargemiddelde windsnelheid normaal verdeeld is rond het langjarig gemiddelde, wordt de langjarige gemiddelde windsnelheid op ashoogte geschat op 7.8 ± 0.6 m/s (95% betrouwbaarheidsinterval).

De gemiddelde windsnelheid, voorspeld met behulp van het handboek, wijkt slechts 3% af van de geschatte langjarige gemiddelde windsnelheid en valt daarmee ruimschoots binnen het gegeven betrouwbaarheidsinterval. Er is op basis van deze resultaten geen reden de handboekmethode te verwerpen.

De langjarig gemiddelde windsnelheid kan na twee jaar nog niet met grote nauwkeurigheid worden geschat. Indien de uitspraak over de geldigheid van het handboek moet worden aangescherpt is het nodig de metingen nog geruime tijd voort te zetten.

Uit het onderzoek is verder gebleken dat de gemeten windsnelheidsverdeling niet helemaal goed kan worden beschreven met behulp van een Weibullverdeling. De berekende kans van voorkomen per windsnelheidsklasse tussen 5 en 9 m/s was lager en voor windsnelheden tussen 9 en 15 m/s hoger dan gemeten. Deze verschillen leiden tot afwijkingen in de berekening van de langjarig gemiddelde energie-opbrengst van windturbines.

Mogelijk worden de afwijkingen kleiner wanneer met een langere tijdreeks gewerkt wordt. Het is ook mogelijk dat de combinatie van een 'zee'-windregime en een 'land'-windregime bijdraagt aan de geconstateerde afwijking.

6 Literatuur

- [1] Fotogrammetrische kaarten in stereografische projectie, schaal 1:25000, Departement van Defensie, Topografische Dienst, Delft.
- [2] Jaarrapport SEP Proefwindcentrale: 1989.
- [3] Jaarrapport SEP Proefwindcentrale: 1990.
- [4] Jaaroverzicht van het weer in Nederland, het weer jaar 1989; KNMI ISSN 0167-8248, De Bilt, 86^e jaargang, no 13.
- [5] Jaaroverzicht van het weer in Nederland, het weer jaar 1990; KNMI ISSN 0167-8248, De Bilt, 87^e jaargang, no 13.
- [6] Verheij, F.J., Snoek, L. van der, Handboek energie-opbrengsten van windturbines, band 1 en 2, MT-TNO 88-145, NOVEM, 1989.
- [7] Vermeulen, P.E.J., Hoogeveen, H., Leene, J.A.; Energie-opbrengsten van windturbines, een handboek voor berekeningen, voorlopige versie; BEOP, Petten, Oktober 1983.
- [8] Wieringa, J., Rijkoort, P.J.; Windklimaat van Nederland; KNMI, De Bilt, Staatsuitgeverij, Den Haag 1983.

7 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever
NV Samenwerkende
Electriciteits-produktiebedrijven
t.a.v. ir. P. Toussaint
Utrechtseweg 310
6812 AR Arnhem

Namen en functies van de medewerkers
Ir. J.W. Cleijne - projectleider

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

-

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad
september 1990 - 1991

Ondertekening

Ir. J.W. Cleijne
projectleider

Goedgekeurd door

Ir. F.J. Verheij
supervisor windenergie

De lokale windsnelheidsverdeling rond de SEP Proefwindcentrale

Bijlage 1 Resultaten opbrengstberekeningen*Gegevens lokatie*

Lokatie	Proefwindcentrale Sexbierum	
Xcoördinaat	164.6 km	
Ycoördinaat	581.0 km	
Uh	12.1 m/s	
soort	kust	(kust, binnenland, laagland)
afstand kust	4 km	
Turbine(s)	300 kW	
Aantal	18	
Ashoogte	35 m	
diameter	30 m	

Ruwheden

Sector	$z_{0,1}$	d_1	x_1	$z_{0,2}$	d_2	x_2	$z_{0,3}$	d_3	x_3
1	0.1000		0000	0.0002	0	10000			
2	0.1000		2500	0.5000	7	3500	0.1000	0	10000
3	0.1000	0	10000						
4	0.1000	0	10000						
5	0.1000	0	10000						
6	0.1000	0	3000	0.5000	10	4000	0.1000	0	10000
7	0.1000	0	3000	0.5000	10	4000	0.1000	0	10000
8	0.1000	0	3500	0.2500	5	4500	0.1000	0	10000
9	0.1000	0	6000	0.2500	5	9000	0.0002	0	10000
10	0.1000	0	3000	0.2500	3	6000	0.0002	0	10000
11	0.1000	0	4500	0.0002	0	10000			
12	0.1000	0	2500	0.2500	2	4000	0.0002	0	10000

Coëfficiënten

Sector	f_i	U_p	C_w	C_a	C_B	C_{park}	C_M	C_{III}	$U_{as,n}$
1	0.0582	5.55	1	1.30	1.00	1.00	0.98	0.07	0.41
2	0.0587	4.96	1.19	1.11	1.00	1.00	0.98	0.08	0.38
3	0.0745	5.85	1.19	1.13	1.00	1.00	0.98	0.10	0.57
4	0.0811	5.42	1.1	1.13	1.00	1.00	0.98	0.10	0.53
5	0.0450	4.42	1.14	1.13	1.00	1.00	0.98	0.06	0.25
6	0.0545	4.7	1.19	1.12	1.00	1.00	0.98	0.07	0.33
7	0.0817	5.7	1.19	1.12	1.00	1.00	0.98	0.11	0.61
8	0.1316	7.44	1	1.12	1.00	1.00	0.98	0.14	1.08
9	0.1410	7.45	1	1.05	1.00	1.00	0.98	0.15	1.09
10	0.1167	7.45	1	1.09	1.00	1.00	0.98	0.13	0.93
11	0.0830	8.36	1	0.99	1.00	1.00	0.98	0.08	0.68
12	0.0740	8.02	1	0.98	1.00	1.00	0.98	0.07	0.57

*De lokale windsnelheidsverdeling rond de SEP Proefwindcentrale**Resultaat*

$U_{as,n}$	7.43 m/s
$dU_{as,n}$	0.19 m/s
U_{as}	7.62 m/s
a_{as}	8.61 m/s
k_{as}	2.11

De lokale windsnelheidsverdeling rond de SEP Proefwindcentrale

Bijlage 2 Gegevens uit Proefwindcentrale jaarrapporten

Tabel 4 WINDREGIME verdeling in procenten

Voorwaarde: geen

gebaseerd op zinvolle metingen gedurende 99.0 % van de totale tijd

Klasse-indeling als functie van: Windrichting-4c

(hor.) en : Windsnelheid-4c

(vert.)

m/s	NOORD				OOST				ZUID				WEST				totaal	cum. tot.
	345	15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345					
< 3.5	1.36	1.23	0.96	1.11	1.64	1.50	1.57	1.07	1.00	1.26	1.67	1.59		16.0	16.0			
3.5 - 4.0	0.39	0.34	0.29	0.33	0.42	0.47	0.56	0.31	0.28	0.45	0.55	0.40		4.8	20.7			
4.0 - 4.5	0.36	0.37	0.26	0.42	0.44	0.49	0.70	0.36	0.33	0.50	0.58	0.41		5.2	26.0			
4.5 - 5.0	0.37	0.41	0.29	0.52	0.49	0.39	0.68	0.44	0.40	0.50	0.55	0.48		5.5	31.5			
5.0 - 5.5	0.45	0.41	0.34	0.58	0.53	0.35	0.69	0.54	0.45	0.52	0.53	0.50		5.9	37.4			
5.5 - 6.0	0.46	0.34	0.35	0.49	0.51	0.32	0.67	0.51	0.42	0.49	0.52	0.52		5.6	43.0			
6.0 - 6.5	0.43	0.31	0.32	0.39	0.43	0.29	0.65	0.54	0.41	0.47	0.51	0.55		5.3	48.3			
6.5 - 7.0	0.40	0.30	0.29	0.27	0.33	0.31	0.64	0.59	0.40	0.43	0.47	0.52		5.0	53.2			
7.0 - 7.5	0.32	0.28	0.26	0.19	0.23	0.31	0.56	0.66	0.44	0.48	0.43	0.52		4.7	57.9			
7.5 - 8.0	0.26	0.22	0.22	0.15	0.15	0.24	0.54	0.76	0.49	0.50	0.41	0.51		4.4	62.4			
8.0 - 8.5	0.22	0.16	0.19	0.14	0.12	0.21	0.48	0.75	0.59	0.48	0.37	0.45		4.1	66.5			
8.5 - 9.0	0.17	0.12	0.16	0.10	0.08	0.15	0.43	0.73	0.68	0.47	0.36	0.40		3.9	70.4			
9.0 - 9.5	0.11	0.11	0.15	0.08	0.06	0.12	0.39	0.62	0.68	0.47	0.33	0.33		3.5	73.8			
9.5 - 10.0	0.08	0.10	0.12	0.05	0.04	0.09	0.36	0.58	0.71	0.45	0.28	0.24		3.1	76.9			
10.0 - 10.5	0.06	0.08	0.10	0.05	0.03	0.07	0.33	0.53	0.72	0.42	0.26	0.20		2.9	79.8			
10.5 - 11.0	0.04	0.06	0.08	0.04	0.03	0.06	0.30	0.50	0.66	0.38	0.24	0.18		2.6	82.4			
11.0 - 11.5	0.03	0.05	0.07	0.04	0.02	0.06	0.26	0.48	0.59	0.34	0.23	0.15		2.3	84.7			
11.5 - 12.0	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	0.05	0.22	0.44	0.53	0.33	0.20	0.13		2.1	86.8			
12.0 - 12.5	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.04	0.21	0.38	0.49	0.31	0.19	0.13		1.9	88.6			
12.5 - 13.0	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.19	0.32	0.43	0.29	0.17	0.12		1.6	90.2			
13.0 - 13.5	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.16	0.26	0.41	0.28	0.15	0.09		1.4	91.7			
13.5 - 14.0	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.15	0.22	0.39	0.26	0.13	0.08		1.3	93.0			
14.0 - 14.5	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.13	0.19	0.35	0.23	0.11	0.06		1.2	94.2			
14.5 - 15.0	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.10	0.17	0.30	0.20	0.10	0.05		1.0	95.2			
15.0 - 15.5	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.09	0.13	0.24	0.17	0.10	0.04		0.8	96.0			
15.5 - 16.0	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	0.06	0.12	0.21	0.15	0.08	0.03		0.7	96.7			
16.0 - 16.5	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.05	0.10	0.16	0.11	0.09	0.02		0.6	97.3			
16.5 - 17.0	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.04	0.09	0.12	0.09	0.08	0.02		0.5	97.8			
17.0 - 17.5	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.07	0.08	0.08	0.07	0.01		0.4	98.2			
17.5 - 18.0	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	0.06	0.07	0.06	0.01		0.3	98.5			
18.0 - 18.5	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.04	0.06	0.06	0.01		0.3	98.7			
18.5 - 19.0	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.03	0.05	0.04	0.01		0.2	98.9			
19.0 - 19.5	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.02	0.05	0.04	0.00		0.2	99.1			
19.5 - 20.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.04	0.03	0.00		0.1	99.2			
20.0 - 20.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.04	0.03	0.00		0.1	99.3			
20.5 - 21.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.00		0.1	99.4			
21.0 - 21.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.03	0.02	0.00		0.1	99.5			
21.5 - 22.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00		0.1	99.6			
22.0 - 22.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00		0.1	99.7			
22.5 - 23.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00		0.0	99.7			
23.0 - 23.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00		0.0	99.7			
23.5 - 24.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00		0.0	99.8			
24.0 - 24.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00		0.0	99.8			
24.5 - 25.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00		0.0	99.8			
> 25.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.07	0.05	0.00	0.00		0.2	100.0			
	5.7	5.1	4.8	5.1	5.7	5.7	11.3	12.9	13.3	11.6	10.1	8.8		100.0	100.0			
Gemiddelde windsnelheid in m/s																		
	5.6	5.6	6.3	5.3	5.0	5.5	7.2	8.8	9.5	8.8	7.6	6.7		7.4				

Gemiddelde windsnelheid in m/s

Tabel 6 WINDREGIME verdeling in procenten

Voorwaarde: geen

Klasse-indeling als functie van: Windrichting-6b

gebaseerd op zinvolle metingen gedurende 96.7 % van de totale tijd
(hor.) en : Windsnelheid-6b (vert.)

m/s	NOORD			OOST			ZUID			WEST			totaal	cum. tot.
	345	15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	
< 3.5	0.76	1.08	0.42	0.87	1.41	0.83	0.94	0.96	0.59	1.01	1.15	0.91	10.9	10.9
3.5 - 4.0	0.31	0.34	0.15	0.35	0.48	0.26	0.29	0.29	0.24	0.50	0.40	0.37	4.0	14.9
4.0 - 4.5	0.40	0.36	0.17	0.34	0.44	0.31	0.40	0.36	0.32	0.57	0.46	0.43	4.6	19.5
4.5 - 5.0	0.51	0.43	0.22	0.42	0.48	0.41	0.56	0.45	0.35	0.58	0.56	0.49	5.5	24.9
5.0 - 5.5	0.56	0.51	0.20	0.50	0.50	0.51	0.66	0.63	0.47	0.64	0.62	0.55	6.4	31.3
5.5 - 6.0	0.56	0.53	0.19	0.62	0.52	0.48	0.78	0.73	0.56	0.67	0.66	0.58	6.9	38.2
6.0 - 6.5	0.50	0.50	0.18	0.51	0.49	0.41	0.80	0.75	0.63	0.66	0.59	0.52	6.5	44.7
6.5 - 7.0	0.47	0.42	0.18	0.51	0.44	0.36	0.77	0.76	0.65	0.63	0.47	0.51	6.2	50.9
7.0 - 7.5	0.49	0.36	0.21	0.51	0.40	0.33	0.73	0.73	0.61	0.55	0.38	0.47	5.8	56.6
7.5 - 8.0	0.51	0.35	0.23	0.49	0.32	0.33	0.66	0.69	0.66	0.52	0.33	0.39	5.5	62.1
8.0 - 8.5	0.48	0.36	0.24	0.36	0.31	0.29	0.60	0.65	0.71	0.44	0.30	0.38	5.1	67.3
8.5 - 9.0	0.43	0.35	0.19	0.28	0.22	0.26	0.54	0.59	0.66	0.40	0.26	0.35	4.5	71.8
9.0 - 9.5	0.36	0.31	0.16	0.21	0.14	0.17	0.48	0.60	0.56	0.35	0.22	0.32	3.9	75.7
9.5 - 10.0	0.28	0.27	0.14	0.19	0.09	0.12	0.43	0.62	0.44	0.29	0.20	0.31	3.4	79.0
10.0 - 10.5	0.21	0.22	0.11	0.18	0.07	0.09	0.40	0.58	0.37	0.29	0.21	0.30	3.0	82.1
10.5 - 11.0	0.15	0.18	0.10	0.17	0.05	0.06	0.38	0.58	0.34	0.26	0.19	0.26	2.7	84.8
11.0 - 11.5	0.13	0.13	0.08	0.13	0.04	0.05	0.37	0.52	0.31	0.24	0.20	0.22	2.4	87.2
11.5 - 12.0	0.11	0.09	0.07	0.11	0.03	0.04	0.34	0.42	0.28	0.21	0.19	0.19	2.1	89.3
12.0 - 12.5	0.09	0.07	0.06	0.07	0.02	0.03	0.29	0.34	0.27	0.19	0.15	0.15	1.7	91.0
12.5 - 13.0	0.08	0.06	0.04	0.06	0.02	0.02	0.25	0.26	0.26	0.16	0.12	0.11	1.5	92.5
13.0 - 13.5	0.07	0.05	0.04	0.05	0.01	0.02	0.24	0.22	0.23	0.15	0.09	0.08	1.2	93.7
13.5 - 14.0	0.05	0.04	0.03	0.05	0.01	0.01	0.20	0.22	0.21	0.13	0.07	0.05	1.1	94.8
14.0 - 14.5	0.03	0.04	0.03	0.04	0.00	0.01	0.15	0.20	0.19	0.11	0.06	0.04	0.9	95.7
14.5 - 15.0	0.02	0.03	0.03	0.03	0.00	0.01	0.12	0.17	0.18	0.10	0.05	0.03	0.8	96.4
15.0 - 15.5	0.01	0.01	0.02	0.03	0.00	0.01	0.10	0.16	0.17	0.09	0.03	0.02	0.7	97.1
15.5 - 16.0	0.01	0.01	0.02	0.03	0.00	0.00	0.06	0.14	0.16	0.08	0.03	0.02	0.6	97.6
16.0 - 16.5	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.05	0.11	0.13	0.07	0.02	0.01	0.4	98.1
16.5 - 17.0	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.04	0.08	0.12	0.06	0.02	0.01	0.4	98.5
17.0 - 17.5	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.03	0.08	0.09	0.04	0.01	0.01	0.3	98.8
17.5 - 18.0	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.07	0.08	0.03	0.01	0.01	0.3	99.0
18.0 - 18.5	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.02	0.07	0.06	0.02	0.01	0.00	0.2	99.2
18.5 - 19.0	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.07	0.06	0.01	0.01	0.00	0.2	99.4
19.0 - 19.5	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.06	0.04	0.01	0.01	0.00	0.1	99.6
19.5 - 20.0	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.03	0.00	0.01	0.00	0.1	99.7
20.0 - 20.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00	0.01	0.00	0.1	99.8
20.5 - 21.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.1	99.9
21.0 - 21.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.0	99.9
21.5 - 22.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.0	99.9
22.0 - 22.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	100.0
22.5 - 23.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.0	100.0
23.0 - 23.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	100.0
23.5 - 24.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	100.0
24.0 - 24.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	100.0
24.5 - 25.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	100.0
> 25.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	100.0
	7.6	7.1	3.6	7.3	6.5	5.5	11.7	13.3	11.1	10.1	8.1	8.1	100.0	100.0
	6.9	6.6	7.5	6.9	5.5	6.1	7.9	8.7	8.9	7.5	6.9	7.1	7.4	

Gemiddelde windsnelheid in m/s