

Opdrachtgever: **Rijkswaterstaat WVL**

**Bepalen invoerbestanden Hydra-NL voor de  
Oosterschelde**





Opdrachtgever: **Rijkswaterstaat WVL**

**Bepalen invoerbestanden Hydra-NL voor de  
Oosterschelde**



**Auteur**  
Chris Geerse



# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>1</b>
1.1	Achtergrond.....	1
1.2	Doelstelling.....	1
<b>2</b>	<b>Omrekening 12-uurs statistiek van 30° naar 22.5°-sectoren.....</b>	<b>3</b>
2.1	Formules voor de omrekening.....	3
2.1.1	Notatie en basisformules.....	3
2.1.2	Bepalen van de kansen $P_{22.5}(U > u, r)$ .....	4
2.1.3	Richtingskansen en conditionele kansen $P_{22.5}(U > u   r)$ .....	5
2.1.4	Consistentie voor overschrijdingsfrequenties van stormen.....	5
2.2	Gebruikte gegevens voor wind en zeewaterstand.....	5
2.2.1	Wind Vlissingen.....	5
2.2.2	Zeewaterstand OS11 .....	7
2.3	Resultaten wind Vlissingen voor 22.5°-sectoren .....	8
2.3.1	Richtingskansen .....	8
2.3.2	Windsnelheden .....	9
2.3.3	Windstatistiek met aangepaste winddrag.....	12
2.4	Resultaten zeewaterstand OS11 voor 22.5°-sectoren .....	12
<b>3</b>	<b>Uitintegreren wind en zeewaterstand .....</b>	<b>17</b>
3.1	Methode.....	17
3.2	Resultaten wind Vlissingen (22.5°-sectoren) .....	18
3.3	Resultaten zeewaterstand OS11 .....	19
3.3.1	Conditionele kansen .....	19
3.3.2	Overschrijdingsfrequenties .....	20
<b>4</b>	<b>Aanvullende zaken.....</b>	<b>23</b>
4.1	Kansverdeling faseverschil.....	23
4.2	Kansverdeling stormopzetduur .....	23
4.3	Parameters correlatie wind en zeewaterstand.....	24
<b>5</b>	<b>Invoerbestanden .....</b>	<b>25</b>
5.1	Faseverschil.....	25
5.2	Stormopzetduur .....	25
5.3	Correlatie wind en zeewaterstand .....	26
5.4	Windrichtingskansen .....	26
5.5	Conditionele overschrijdingskansen potentiële wind Vlissingen .....	27
5.6	Conditionele overschrijdingskansen zeewaterstand OS11.....	27
<b>6</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>29</b>
	<b>Bijlage A: Omrekening wind naar 22.5° met winddrag .....</b>	<b>31</b>
	<b>Bijlage B: Resultaten uitintegreren met winddrag .....</b>	<b>35</b>



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Rijkswaterstaat maakt elke 6 jaar voor DGRW nieuwe belastingmodellen voor de formele wettelijke toetsing. Het proces voor de invoering van fundamentele veranderingen bij het maken van belastingmodellen is altijd meer dan 6 jaar. Om in 2023 gesteld te staan, zijn in 2016 voor de Oosterschelde nieuwe modellen voor waterbeweging, golven en statistiek opgesteld. Met deze modellen wordt in 2017 een eerste serie testberekeningen in een productieomgeving gemaakt. Analyse van de berekeningsresultaten dient aan te tonen dat de nieuwe modellen geschikt zijn voor het afleiden van nieuwe Hydraulische Randvoorwaarden voor 2023.

Een probabilistisch model waarmee gerekend gaat worden is Hydra-NL, waarin een belastingmodel voor de Oosterschelde is ingebouwd [Geerse en Stijnen, 2016]. Voor dit model is per windrichtingsector statistiek nodig voor onder meer de wind bij Vlissingen en de zeewaterstand bij OS11. Die statistiek is reeds beschikbaar in termen van 30°-windrichtingsectoren, maar Hydra-NL rekent in het nieuwe belastingmodel met de smallere 22.5°-richtingsectoren. Daarom moet de beschikbare 30°-statistiek worden omgezet in 22.5°-statistiek. Daarnaast dient de correlatie tussen wind en zeewaterstand te worden omgezet van 30°-sectoren naar 22.5°-sectoren. Voor de volledigheid is het ook gewenst dat de statistiek voor de stormopzetduur en de getijfase (faseverschil tussen opzet en astronomisch hoogwater) wordt beschreven.

## 1.2 Doelstelling

De belangrijkste doelstelling is het omzetten van bestaande statistiek van 30°-sectoren naar 22.5°-sectoren voor de wind bij Vlissingen, de zeewaterstand bij OS11 en van de correlatieparameters daarvoor. Een neven doel is het beschrijven van de statistiek voor de stormopzetduur en de getijfase. Het resultaat van de werkzaamheden bestaat uit de benodigde invoerbestanden voor Hydra-NL, opgesomd in hoofdstuk 5.





## 2 Omrekening 12-uurs statistiek van 30° naar 22.5°-sectoren

Dit hoofdstuk behandelt de omrekening van reeds bekende wind- en zeewaterstandstatistiek van 30° naar 22.5°-sectoren. De wind betreft station Vlissingen en de zeewaterstandstatistiek station OS11. De wind betreft de *potentiële* windstatistiek.

Equation Section 2

### 2.1 Formules voor de omrekening

#### 2.1.1 Notatie en basisformules

Voor het belastingmodel voor de Oosterschelde moeten reeds beschikbare 12-uurskansen voor de wind en de zeewaterstand worden omgerekend van 30°-sectoren naar 22.5°-sectoren. Hierna worden de formules voor deze omrekening gegeven. Daarbij beperken we ons tot de situatie voor de windsnelheid; de aanpak voor de zeewaterstand is volstrekt analoog, en wordt daarom niet besproken.

Tabel 2-1 geeft de gebruikte notatie, waarbij we verwijzen naar [Geerse, et al, 2002] voor meer achtergronden. N.B. Een *windrichtingsector*  $r$  (of  $w$ ) wordt veelal kortweg aangeduid als de *richting*  $r$  (of  $w$ ). Als gebruikelijk wordt een stochast aangeduid met een hoofdletter, en een realisatie daarvan met de overeenkomstige kleine letter. Bijvoorbeeld  $U$  is de stochast windsnelheid, en  $u = 30$  m/s is een realisatie daarvan.

$r$	graden	Windrichtingsector met breedte 22.5°, $r = \text{NNO}, \text{NO}, \dots, \text{N}$ .
$w$	graden	Windrichtingsector met breedte 30°, de middens van de sectoren worden gegeven door $w = 30^\circ, 60^\circ, \dots, 360^\circ$ .
$P_{22.5}(U > u   r)$	[-]	Conditionele kans dat het 12-uursmaximum van de windsnelheid $U$ niveau $u$ overschrijdt, gegeven richtingssector $r$ . N.B. In dit verband is aan iedere 12-uursperiode een representatieve richting(sectoer) gekoppeld.
$P_{22.5}(U > u, r)$	[-]	Kans dat het 12-uursmaximum van de zeewaterstand $M$ niveau $m$ overschrijdt, in combinatie met richtingssector $r$ .
$F_{22.5}(U > u, r)$	[1/jaar]	Overschrijdingsfrequentie van niveau $u$ , in combinatie met richtingssector $r$ .
$P_{22.5}(r)$	[-]	Kans op richtingssector $r$ .
$P_{30}(U > u   w)$	[-]	Analoog aan $P_{22.5}(U > u   r)$ , maar dan voor richtingssector $w$ .
$P_{30}(U > u, w)$	[-]	Analoog aan $P_{22.5}(M > m   r)$ , maar dan voor richtingssector $w$ .
$F_{30}(U > u, w)$	[1/jaar]	Analoog aan $F_{22.5}(U > u, r)$ , maar dan voor richtingssector $w$ .
$P_{30}(r)$	[-]	Kans op richtingssector $w$ .
whjaar	***	Aanduiding van het winterhalfjaar, dat loopt van oktober t/m maart; dat bestaat in dit geval uit 180 dagen.
$N$	[-]	Aantal 12-uursperiodes in het winterhalfjaar; hier is $N = 360$ .

Tabel 2-1 Gebruikte notatie.

Het verband tussen een conditionele kans op de richting en niet-conditionele kans wordt gegeven door:

$$\begin{aligned}
 P_{22.5}(U > u, r) &= P_{22.5}(r)P_{22.5}(U > u | r) \\
 P_{30}(U > u, w) &= P_{30}(w)P_{30}(U > u | w)
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Daarnaast is er een verband tussen de overschrijdingsfrequentie en de conditionele overschrijdingskansen van de wind. Dat verband betreft overigens een benadering die alleen geldig is vanaf windsnelheden  $u$  met een terugkeertijd van ongeveer  $T = 10$  jaar:

$$\begin{aligned} F_{22.5}(U > u, r) &= N P_{22.5}(U > u, r), & \text{voor } u \text{ voldoende groot} \\ F_{30}(U > u, w) &= N P_{30}(U > u, w), & \text{voor } u \text{ voldoende groot} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Merk op dat uit (2.1) en (2.2) volgt:

$$\begin{aligned} P_{22.5}(U > u | r) &= \frac{F_{22.5}(U > u, r)}{N P_{22.5}(r)}, & \text{voor } u \text{ voldoende groot} \\ P_{30}(U > u | w) &= \frac{F_{30}(U > u, w)}{N P_{30}(w)}, & \text{voor } u \text{ voldoende groot} \end{aligned} \quad (2.3)$$

### 2.1.2 Bepalen van de kansen $P_{22.5}(U > u, r)$

De omrekening van 30°-sectoren naar de smallere 22.5°-sectoren gebeurt naar evenredigheid, door daarbij geschikte wegingsfactoren te gebruiken. Zo geldt voor bijvoorbeeld  $r = W$ , WNW en NW:

$$\begin{aligned} P_{22.5}(U > u, r = W) &= \frac{3}{4} P_{30}(U > u, w = 270^\circ) \\ P_{22.5}(U > u, r = WNW) &= \frac{1}{8} P_{30}(U > u, w = 270^\circ) + \frac{5}{8} P_{30}(U > u, w = 300^\circ) \\ P_{22.5}(U > u, r = NW) &= \frac{3}{8} P_{30}(U > u, w = 300^\circ) + \frac{3}{8} P_{30}(U > u, w = 330^\circ) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Merk op dat voor iedere sector  $r$  de som van de wegingsfactoren in het rechterlid gelijk is aan  $6/8 = 22.5/30$ . Bij het toekennen van een kans aan een sector wordt dus rekening gehouden met de breedte daarvan: een smallere sector krijgt een lagere kans, naar rato van de breedte van die sector. Soortgelijke wegingen volgen voor de overige  $r$ -sectoren (de som van de coëfficiënten in het rechterlid is per rij altijd  $6/8$ ); zie voor de overige wegingsfactoren Tabel 2-2.

$r$	$l$	$w$	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
NNO	1		5/8											1/8
NO	2		3/8	3/8										
ONO	3			5/8	1/8									
O	4				3/4									
OZO	5				1/8	5/8								
ZO	6					3/8	3/8							
ZZO	7						5/8	1/8						
Z	8							3/4						
ZZW	9							1/8	5/8					
ZW	10								3/8	3/8				
WZW	11									5/8	1/8			
W	12										3/4			
WNW	13										1/8	5/8		
NW	14											3/8	3/8	
NNW	15												5/8	1/8
N	16													3/4

Tabel 2-2 Opdeling van 30°-sectoren in 22.5°-sectoren (bron: Tabel 4-1 uit [Geerse et al., 2002]).

### 2.1.3 Richtingskansen en conditionele kansen $P_{22.5}(U>u|r)$

De kansen op de richtingen  $P_{30}(w)$  zijn reeds bekend. De omrekening met de wegingen uit Tabel 2-2 leveren ook meteen de richtingskansen  $P_{22.5}(r)$ , als in de windkansen  $u = 0$  m/s wordt beschouwd. Er geldt namelijk  $P_{30}(U>0, w) = P_{30}(w)$  en  $P_{22.5}(U>0, r) = P_{22.5}(r)$ . Bijvoorbeeld (2.4) levert dan:

$$\begin{aligned} P_{22.5}(r = W) &= \frac{3}{4} P_{30}(w = 270^\circ) \\ P_{22.5}(r = WNW) &= \frac{1}{8} P_{30}(w = 270^\circ) + \frac{5}{8} P_{30}(w = 300^\circ) \\ P_{22.5}(r = NW) &= \frac{3}{8} P_{30}(w = 300^\circ) + \frac{3}{8} P_{30}(w = 330^\circ) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Hiervoor zijn de kansen  $P_{22.5}(U>u, r)$  bepaald met de wegingen uit Tabel 2-2. Omdat ook de richtingskansen  $P_{22.5}(r)$  bekend zijn, volgen de conditionele kansen  $P_{22.5}(U>u|r)$  dan uit (2.1).

### 2.1.4 Consistentie voor overschrijdingsfrequenties van stormen

Het is eenvoudig te verifiëren dat de wegingen zodanig zijn dat geldt:

$$\sum_{r=NNO}^N P_{22.5}(U > u, r) = \sum_{w=30^\circ}^{360^\circ} P_{30}(U > u, w) \quad (2.6)$$

Door beide leden met N te vermenigvuldigen volgt dan uit (2.2) voor de overschrijdingsfrequentie van stormen waarin niveau u wordt overschreden:

$$\sum_{r=NNO}^N F_{22.5}(U > u, r) = \sum_{w=30^\circ}^{360^\circ} F_{30}(U > u, w) \quad \text{voor } u \text{ voldoende groot} \quad (2.7)$$

De omrekening is dus zodanig dat het totale aantal stormen voor en na de omrekening gelijk blijft, wat uiteraard het geval moet zijn.

## 2.2 Gebruikte gegevens voor wind en zeewaterstand

### 2.2.1 Wind Vlissingen

Voor de wind van station Vlissingen zijn voor de 30°-sectoren gegevens gebruikt uit Hydra-NL v2.3.0. Dat betreft de volgende bestanden:

- Richtingskansen  $P(w)$ , zie Tabel 2-3. N.B. Dat betreft kansen die zijn ontleend aan Hoek van Holland, aangezien Hydra-Ring/Riskeer vereist dat alle kuststations dezelfde richtingskansen hebben.<sup>1</sup>
- Conditionele overschrijdingskansen  $P_{30}(U>u|w)$ , zie Tabel 2-4.

<sup>1</sup> De uitkomsten van Hydra-Ring en Hydra-NL hangen nauwelijks af van de richtingskansen. De allerbelangrijkste grootheid voor de uitkomsten is de overschrijdingsfrequentie  $F(U>u, r)$ , waarin kansen op richtingen feitelijk al zijn verwerkt.

In de tabellen zijn ook de headers meegenomen, omdat die soms nuttige informatie bevatten over o.m. de herkomst van de gegevens. Relevante achtergronddocumenten hierbij zijn [Chbab, 2015], [Rongen et al, 2016] en [Rongen, 2016].

```
* Kansen op de windrichtingen voor de Oosterschelde
*
*
* Door:          Chris Geerse
* Project:       PR3280.14
*
* Kansen overgenomen van Hoek van Holland, conform rapport:
* Basisstochasten WTI-2017. Statistiek en statistische onzekerheid.
* Houcine Cbab. Kenmerk 1209433-012-HYE-0007, 2 december 2015.
*
*
30.0   0.042282401
60.0   0.064554903
90.0   0.086615287
120.0  0.061373117
150.0  0.063918546
180.0  0.117301845
210.0  0.162058969
240.0  0.143887435
270.0  0.098635367
300.0  0.070140706
330.0  0.048292441
360.0  0.04093898
```

**Tabel 2-3**      *Inhoud van bestand 'KansenWindrichting\_OS\_2017.txt'.*

```
* De conditionele overschrijdingskans van de potentiële windsnelheid, gegeven de windrichting
* voor een 12-uursperiode te Vlissingen. Zonder onzekerheid.
*
* Het waterstandsbereik waarvoor de overschrijdingskansen zijn 0.0 m/s en 2.0 m/s tot 42.00 m/s
* met een stapgrootte van 0.5 m/s.
*
* Door: G.W.F. Rongen van HKV lijn in water
* Project: PR3280.14
*
* u (m/s)   30           300           330           360
0.00       1.000e+00     ..... 1.000e+00     1.000e+00     1.000e+00
2.00       9.840e-01     ..... 9.967e-01     1.000e+00     9.843e-01
2.50       9.631e-01     ..... 9.878e-01     9.836e-01     9.587e-01
3.00       8.966e-01     ..... 9.523e-01     9.387e-01     9.126e-01
3.50       8.436e-01     ..... 9.301e-01     8.999e-01     8.684e-01
4.00       7.266e-01     ..... 8.890e-01     8.221e-01     7.701e-01
4.50       6.626e-01     ..... 8.546e-01     7.833e-01     7.151e-01
...
...
...
...
...
39.00      6.772e-15     ..... 2.685e-08     2.350e-09     3.067e-11
39.50      3.997e-15     ..... 2.004e-08     1.709e-09     2.088e-11
40.00      2.331e-15     ..... 1.496e-08     1.243e-09     1.421e-11
40.50      1.443e-15     ..... 1.117e-08     9.040e-10     9.674e-12
41.00      7.772e-16     ..... 8.338e-09     6.574e-10     6.585e-12
41.50      4.441e-16     ..... 6.224e-09     4.781e-10     4.483e-12
42.00      2.220e-16     ..... 4.646e-09     3.477e-10     3.051e-12
```

**Tabel 2-4**      *Deel van de inhoud van bestand 'Ovkanswind\_Vlissingen\_2017.txt'.*

## 2.2.2 Zeewaterstand OS11

Voor de zeewaterstand worden dezelfde richtingskansen gebruikt als voor de wind van Vlissingen (betreft feitelijk dus richtingskansen van Hoek van Holland).

Daarnaast wordt een invoerbestand gebruikt uit Hydra-NL v2.3.0 met conditionele overschrijdingskansen  $P(M > m | w)$ , dat gedeeltelijk is weergegeven in Tabel 2-5. Zie voor achtergronden [Rongen et al, 2016].

```
* De conditionele overschrijdingskans van de zeewaterstand zonder statistische onzekerheid
gegeven de windrichting
* voor een 12-uursperiode te OS11, gelegen op locatie:
* 23013, 407778
*
* Deze statistiek is afgeleid met dezelfde methode als gebruikt in 3280.20.03.
* De door Deltares op 10 november 2016 aangeleverde statistiek is gebruikt als bron.
*
* Het waterstandsbereik waarvoor de overschrijdingskansen zijn gegeven is het hoogwater 2017 tot
8.00 m + NAP
* met een stapgrootte van 0.1 m. De laatste stapgrootte kan afwijken om op 8.00 m uit te komen.
Hierbij wordt
* een stapgrootte van minimaal 6 en maximaal 15 cm gekozen.
*
* Door: G.W.F. Rongen van HKV lijn in water
* Project: PR3510.10
*
* m (m+NAP) 30          300          330          360
1.64      1.000e+00      ..... 1.000e+00      1.000e+00      1.000e+00
1.74      3.999e-01      ..... 6.631e-01      6.020e-01      4.603e-01
1.84      1.599e-01      ..... 4.397e-01      3.624e-01      2.119e-01
1.94      6.396e-02      ..... 2.915e-01      2.181e-01      9.755e-02
2.04      2.432e-02      ..... 2.047e-01      1.569e-01      6.279e-02
2.14      9.151e-03      ..... 1.433e-01      1.125e-01      4.029e-02
2.24      3.408e-03      ..... 1.001e-01      8.051e-02      2.578e-02
...
...
...
...
...
7.04      2.629e-27      ..... 4.700e-10      1.050e-09      1.328e-12
7.14      7.304e-28      ..... 3.062e-10      6.973e-10      7.842e-13
7.24      2.021e-28      ..... 1.993e-10      4.626e-10      4.626e-13
7.34      5.570e-29      ..... 1.296e-10      3.066e-10      2.725e-13
7.44      1.529e-29      ..... 8.421e-11      2.030e-10      1.604e-13
7.54      4.183e-30      ..... 5.467e-11      1.343e-10      9.434e-14
7.64      1.140e-30      ..... 3.546e-11      8.874e-11      5.542e-14
7.74      3.094e-31      ..... 2.298e-11      5.859e-11      3.252e-14
7.84      8.367e-32      ..... 1.488e-11      3.865e-11      1.907e-14
7.94      2.254e-32      ..... 9.626e-12      2.547e-11      1.117e-14
8.00      1.025e-32      ..... 7.410e-12      1.983e-11      8.100e-15
```

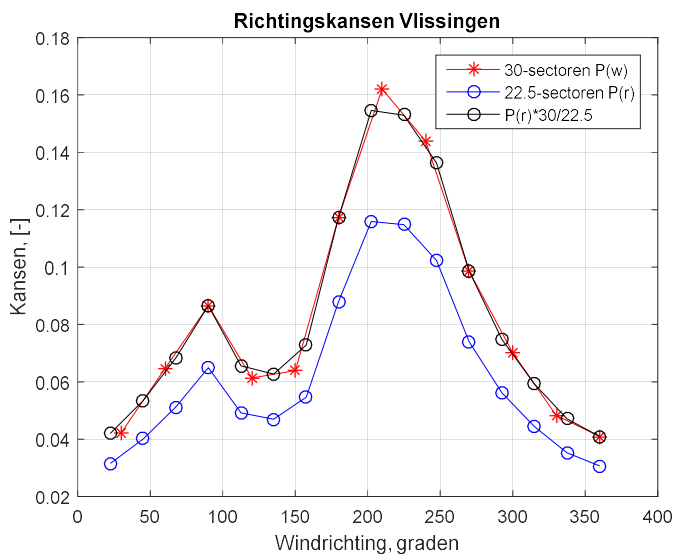
Tabel 2-5 Deel van de inhoud van bestand 'CondPovOS11\_12u\_zichtjaar2017.txt'.

## 2.3 Resultaten wind Vlissingen voor 22.5°-sectoren

In deze paragraaf worden de resultaten voor Vlissingen gegeven; zie hoofdstuk 5 voor informatie over de invoerbestanden.

### 2.3.1 Richtingskansen

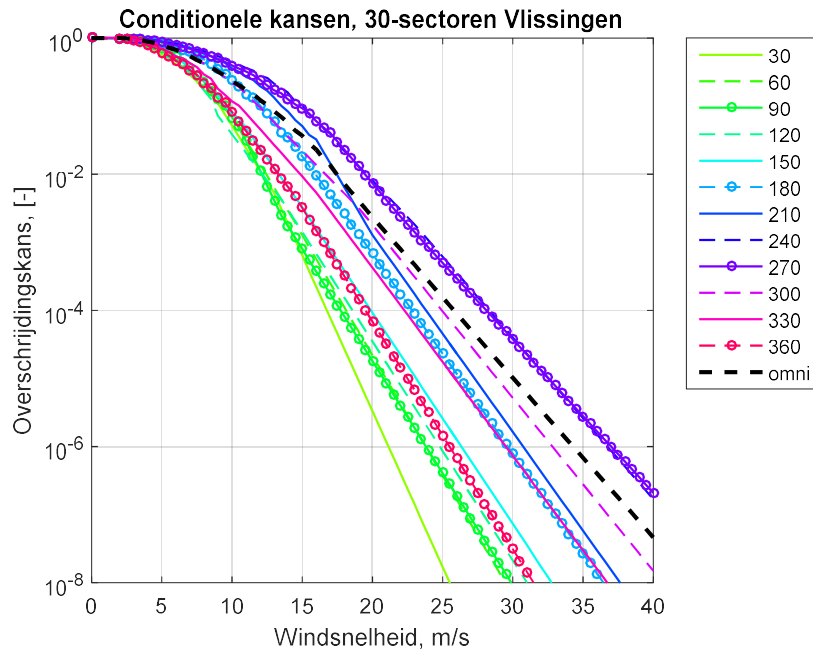
Door toepassen van de wegingsfactoren uit Tabel 2-2 kunnen de kansen  $P(r)$  voor de 22.5°-sectoren worden bepaald, zoals uitgelegd in paragraaf 2.1.3. Het resultaat is te zien in Figuur 2-1. Omdat er meer 22.5°-sectoren zijn dan 30°-sectoren (16 versus 12) komen de kansen  $P(r)$  lager uit dan de kansen  $P(w)$ . Maar net als geldt voor de kansen  $P(w)$ , sommeren de kansen  $P(r)$  tot 1. Ter vergelijking zijn de kansen  $P(r)$  ook nog vermenigvuldigd met  $30/22.5 = 4/3$ , waarmee ze (afgezien van het verschil in aantal sectoren) qua grootte vergelijkbaar moeten worden. Dat blijkt inderdaad het geval te zijn. Onze conclusie is dat de omrekening correct is uitgevoerd.



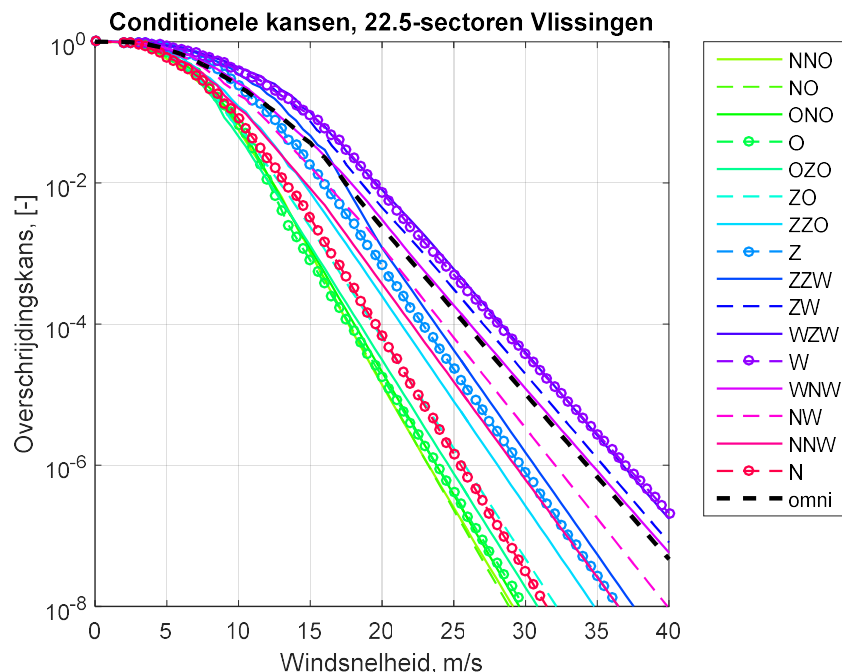
Figuur 2-1 Richtingskansen voor 22.5° en 30°-sectoren.

### 2.3.2 Windsnelheden

De conditionele kansen  $P(U > u | w)$  vormen het uitgangspunt voor het bepalen van de conditionele kansen  $P(U > u | r)$ , op de manier beschreven in paragraaf 2.1. De kansen zijn weergegeven in Figuur 2-2 en Figuur 2-3. Het verloop is plausibel; merk ook op dat de omnidirectionele kans in beide gevallen dezelfde lijn oplevert, wat het geval moet zijn volgens (2.6).

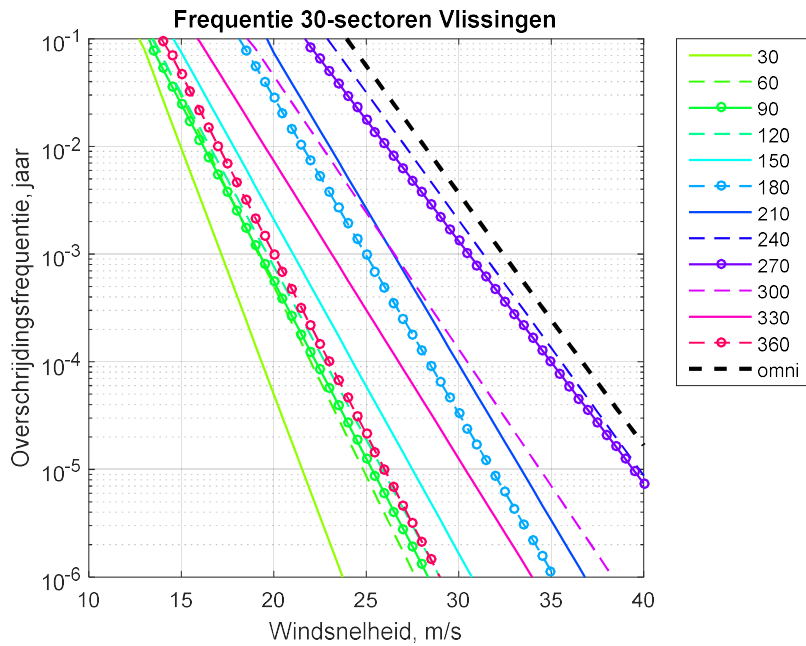


Figuur 2-2 Weergave van de conditionele kansen  $P_{30}(U > u | w)$ , inclusief de omnidirectionele kans  $P_{30}(U > u)$ .

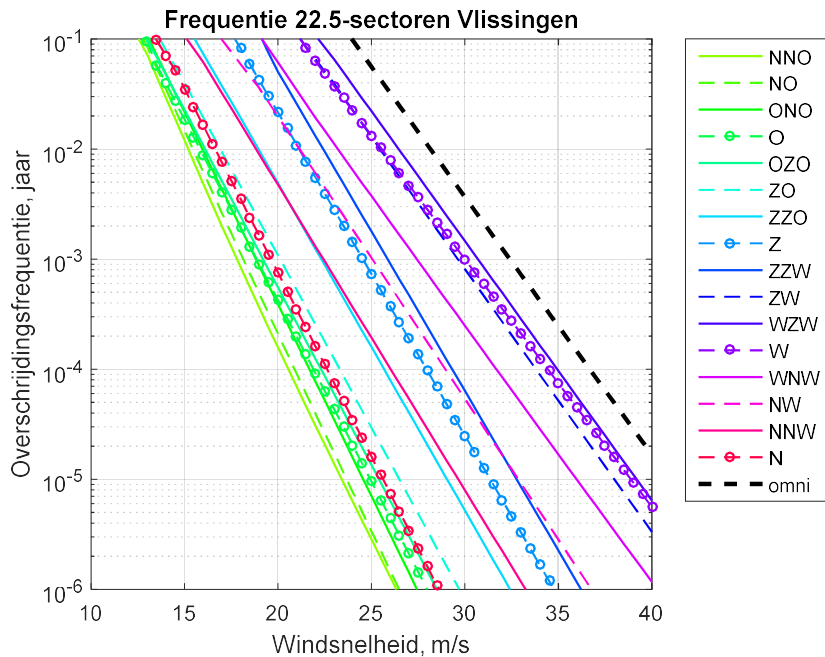


Figuur 2-3 Weergave van de conditionele kansen  $P_{22.5}(U > u | r)$ , inclusief de omnidirectionele kans  $P_{22.5}(U > u)$ .

Ter controle worden ook de overschrijdingsfrequenties weergegeven, zie Figuur 2-4 en Figuur 2-5. De figuren worden weergegeven vanaf  $T = 10$  jaar, omdat de overschrijdingsfrequentie voor lagere  $T$  niet zijn te bepalen uit de gebruikte gegevens.



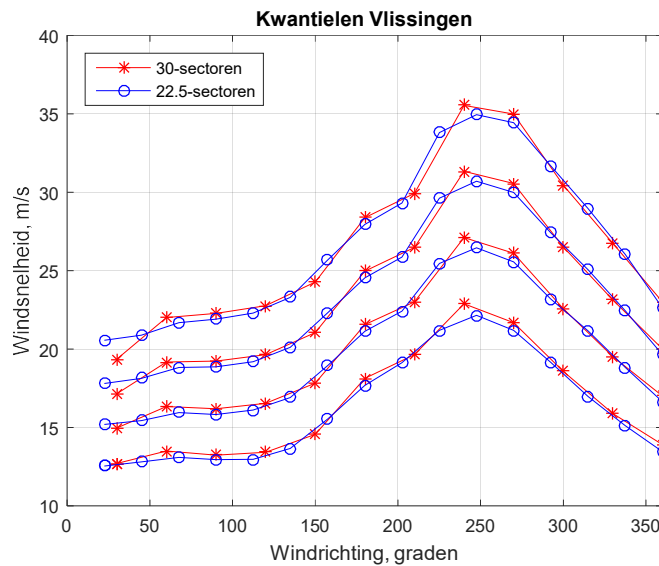
**Figuur 2-4** Weergave van de overschrijdingsfrequentie  $F_{30}(U > u, w)$ , inclusief de omnidirectionele overschrijdingsfrequentie  $F_{30}(U > u)$ .



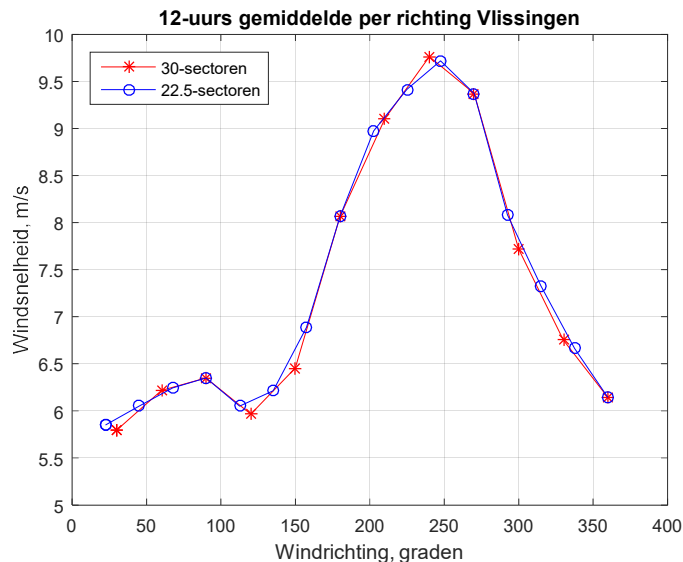
**Figuur 2-5** Weergave van de overschrijdingsfrequentie  $F_{22.5}(U > u, r)$ , inclusief de omnidirectionele overschrijdingsfrequentie  $F_{22.5}(U > u)$ .



De lijnen uit Figuur 2-4 en Figuur 2-5 zijn moeilijk te vergelijken, aangezien de middens van richtingsectoren vaak niet samenvallen. Daarom is ook naar de kwantielen gekeken, zie Figuur 2-6. De kwantielen verschillen (bij vaste T) niet erg van elkaar, zoals ook verwacht moet worden. Wel is de hoogste windsnelheid (bij vaste T) voor de 30°-sectoren hoger dan die voor de 22.5°-sectoren. Dat betreft geen fout: reden daarvan is dat er meer 22.5°-sectoren zijn dan 30°-sectoren, waardoor de iets lagere hoogste windsnelheid als het ware wordt gecompenseerd door het grotere aantal sectoren. We brengen in herinnering dat het totale aantal stormen volgens (2.7) voor beide typen sectoren gelijk is.



Figuur 2-6 Kwantielen per richting van de overschrijdingsfrequenties voor beide typen richtingsectoren. Weergegeven, van onder naar boven, voor  $T = 10, 100, 1000, 10000$  jaar.



Figuur 2-7 Gemiddelde windsnelheden per richting.

Tot slot kijken we nog naar de gemiddelde windsnelheden per richting, zie Figuur 2-7. Deze gemiddelde vertonen een plausibel verloop. Onze conclusie is dat de omrekening van 30°- naar 22.5°-sectoren goed is verlopen.

### 2.3.3 Windstatistiek met aangepaste winddrag

Recent zijn de inzichten over de winddragformulering veranderd, die betrekking hebben op de impulsoverdracht van de wind op het water [Van Vledder, 2015]. Deze nieuwe inzichten kunnen op twee manieren worden verwerkt:

1. Door het aanpassen van fysische verbanden in de WAQUA- en SWAN-berekeningen.
2. Door de windstatistiek aan te passen.

De eerste manier geniet de voorkeur, aangezien dan op de juiste plaats de nieuwe fysische inzichten worden verwerkt, terwijl de tweede manier slechts een pragmatische oplossing betreft.

Voor de Oosterschelde is voor de eerste aanpak gekozen. Dat betekent dat geen windstatistiek hoeft te worden afgeleid inclusief een correctie voor de winddrag. Voor de volledigheid is echter toch dergelijke windstatistiek afgeleid. Resultaten daarvoor staan in Bijlage A en B. Dergelijke statistiek kan desgewenst worden gebruikt om in eerdere modellen voor de Oosterschelde (met oudere invoer voor waterstanden en golven) het effect van een andere winddragformulering te bepalen.

## 2.4 Resultaten zeewaterstand OS11 voor 22.5°-sectoren

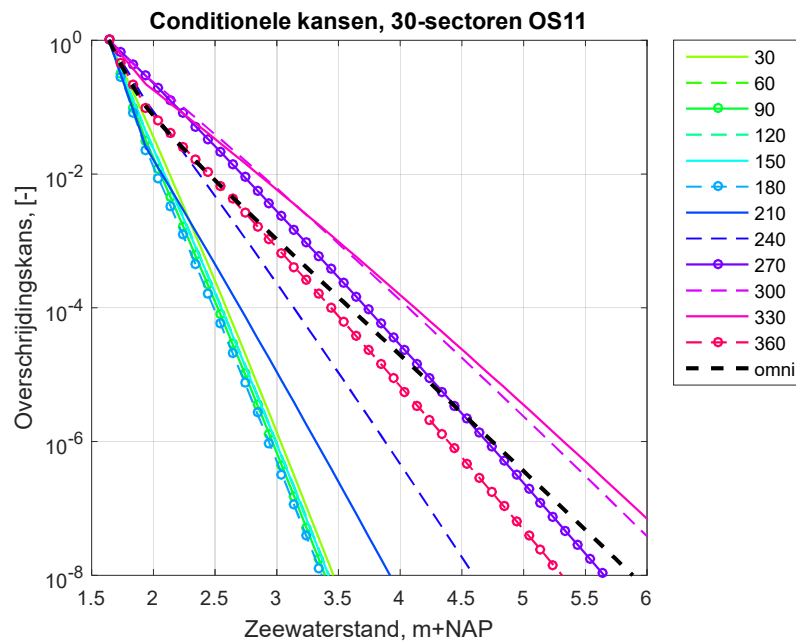
Voor OS11 is dezelfde omrekening gedaan als voor de wind bij Vlissingen. We geven dezelfde figuren als voor de wind exclusief aanpassing voor winddrag. Die betreffen:

1. Conditionele kansen voor 30°-sectoren (Figuur 2-8).
2. Conditionele kansen voor 22.5°-sectoren (Figuur 2-9).
3. Overschrijdingsfrequenties voor 30°-sectoren (Figuur 2-10).
4. Overschrijdingsfrequenties voor 22.5°-sectoren (Figuur 2-11).
5. Kwantielen per richting (Figuur 2-12).

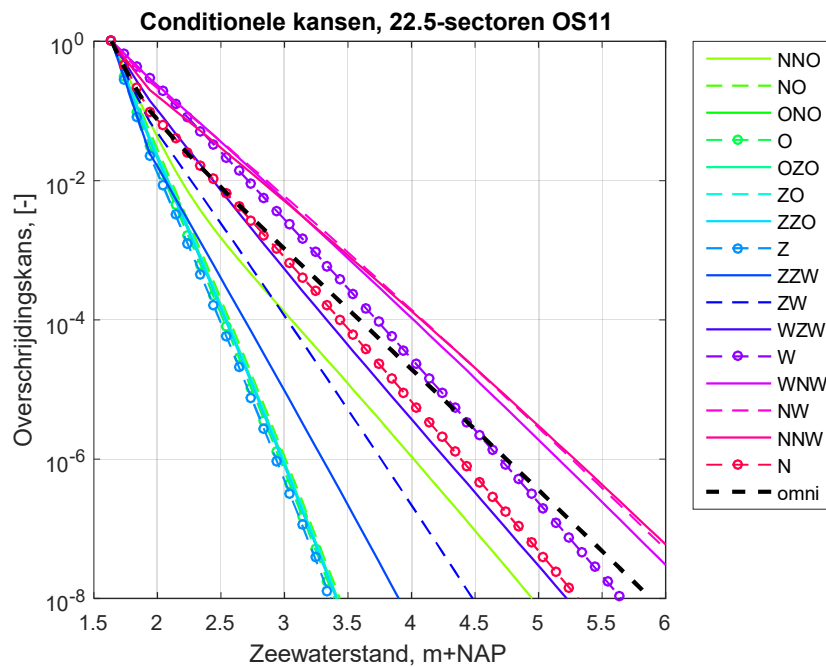
Hier volgt kort wat commentaar. De omrekening voor de conditionele kansen oogt plausibel; bovendien stemmen de omnidirectionele verdelingen voor beide typen sectoren overeen, wat het geval moet zijn.

Soortgelijke opmerkingen gelden voor de overschrijdingsfrequenties uit Figuur 2-10 en Figuur 2-11. Wel opvallend is het karakter voor richting NNO in Figuur 2-11: de lijn begint bij een vrij lage zeewaterstand en eindigt bij een behoorlijk hoge. Dat komt omdat NNO volgens Tabel 2-2 wordt samengesteld uit de 30°-sectoren 360° (weging 1/8) en 30° (weging 5/8), waarbij de sector 360° een totaal ander en veel extremer karakter heeft dan sector 30°. Ons inziens is de omrekening goed uitgevoerd. Daarnaast blijkt het zo te zijn dat in Figuur 2-10 de lijnen voor de sectoren 30°, 60°, ..., 180° op elkaar liggen. Voor deze richtingen wordt in de brondata dus geen onderscheid gemaakt in overschrijdingsfrequenties: voor deze richtingen kunnen in de praktijk ook geen stormvloed van betekenis voorkomen.

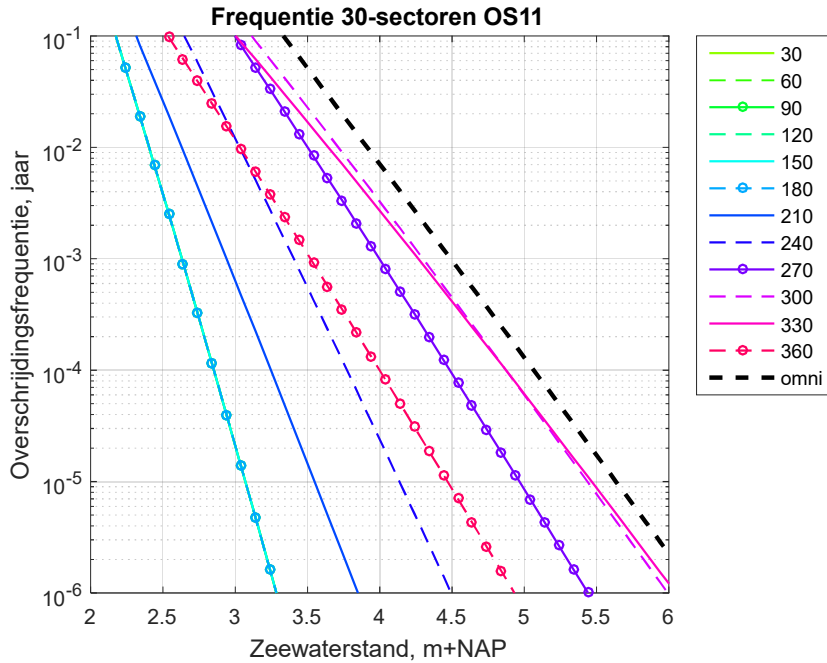
Figuur 2-12 laat de kwantielen zien. De 22.5°-sector NNO vertoont een afwijkend gedrag, zoals zojuist uitgelegd. Verder vertonen de kwantielen een plausibel verloop.



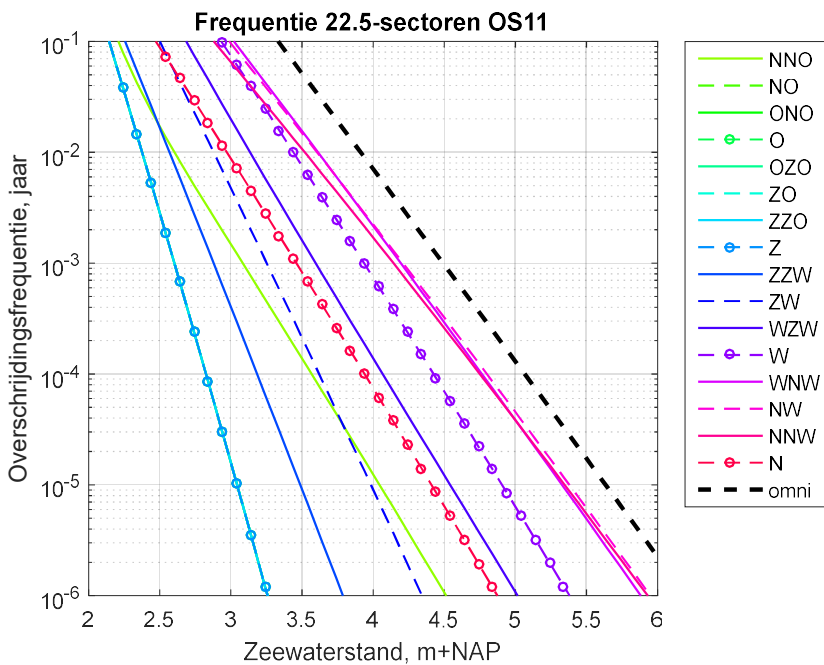
Figuur 2-8 Weergave van de conditionele kansen  $P_{30}(M>m|w)$  voor OS11, inclusief de omnidirectionele kans  $P_{30}(M>m)$ .



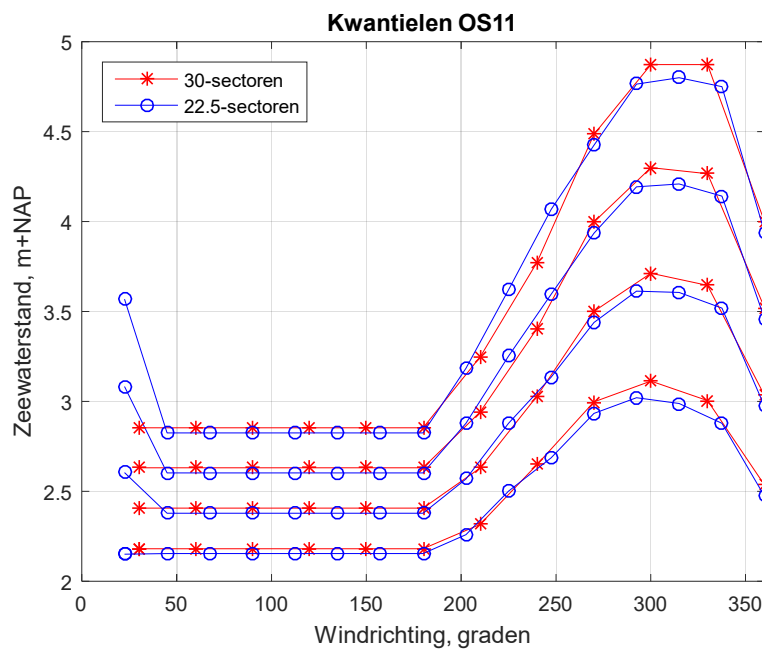
Figuur 2-9 Weergave van de conditionele kansen  $P_{22.5}(M>m|r)$  voor OS11, inclusief de omnidirectionele kans  $P_{22.5}(M>m)$ .



**Figuur 2-10** Weergave van de overschrijdingsfrequentie  $F_{30}(M>m,w)$  voor OS11, inclusief de omnidirectionele overschrijdingsfrequentie  $F_{30}(M>m)$ .



**Figuur 2-11** Weergave van de overschrijdingsfrequentie  $F_{22.5}(M>m,r)$  voor OS11, inclusief de omnidirectionele overschrijdingsfrequentie  $F_{22.5}(M>m)$ .



*Figuur 2-12 Kwantielen per richting van de overschrijdingsfrequenties voor OS11 voor beide typen richtingssectoren. Weergegeven, van onder naar boven, voor  $T = 10, 100, 1000, 10000$  jaar.*



## 3 Uitintegreren wind en zeewaterstand

### 3.1 Methode

De algemene methode voor het uitintegreren van wind en zeewaterstand is beschreven in [Chbab, 2015] en [Geerse, 2016]. De methode is herhaaldelijk toegepast voor kust en windstations, zie o.m. [Rongen et al, 2016] en [Wojciechowska, 2016ab]. De methode kan (uiteraard) worden toegepast op 22.5°-sectoren en op 30°-sectoren.

Voor de wind wordt een zogenaamd *multiplicatief* model gebruikt: de onzekerheid wordt gemodelleerd met een (dimensieloze) factor op de windsnelheid, waarbij deze factor een normale verdeling volgt. Voor de wind bij Vlissingen geldt dan  $\mu = 1$  en  $\sigma = 0.043$  [Wojciechowska, 2016b].<sup>2</sup>

Voor de zeewaterstand wordt een zogenaamd *additief* model gebruikt, waarbij een normaal verdeelde stochast bij de (oorspronkelijke) zeewaterstand wordt opgeteld. Voor OS11 heeft die stochast  $\mu = 0$  m+NAP en een  $\sigma$  die afhangt van de beschouwde zeewaterstand, zoals weergegeven in Tabel 3-1. N.B. Voor hogere zeewaterstanden dan 5.57 m+NAP wordt lineair geëxtrapoleerd om de bijbehorende  $\sigma$ 's te vinden.

<b>OS11</b>		
Onzekerheid: Normale verdeling		
Zeewaterstand [m+NAP]	Gemiddelde [m+NAP]	Standaard afwijking [m]
3.19	0	0.0225
3.29	0	0.0225
3.86	0	0.075
4.43	0	0.1475
5.00	0	0.25
5.57	0	0.3825

Tabel 3-1 Statistische onzekerheid zeewaterstand OS11 (afkomstig uit: Water level OS11.xlsx, 04-12-2015). Bron: [Wojciechowska, 2016ab].

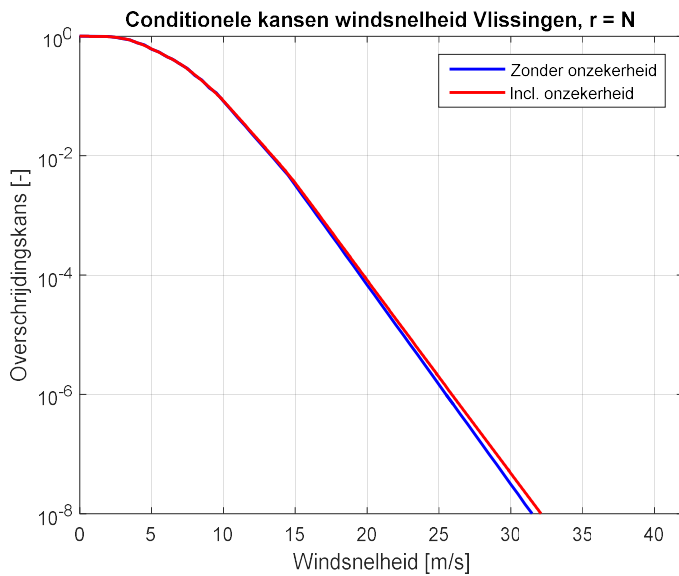
#### Opmerking over uitintegreren in de situatie met winddrag

In de berekeningen is er voor gekozen om bij windstatistiek inclusief winddrag de lijnen inclusief winddrag statistisch uit te integreren. Een alternatieve aanpak zou zijn eerst de windstatistiek zonder winddrag uit te integreren, en daarna de uitgeïntegreerde statistiek aan te passen door het verdisconteren van de winddrag. Dat zou iets andere uitkomsten opleveren.

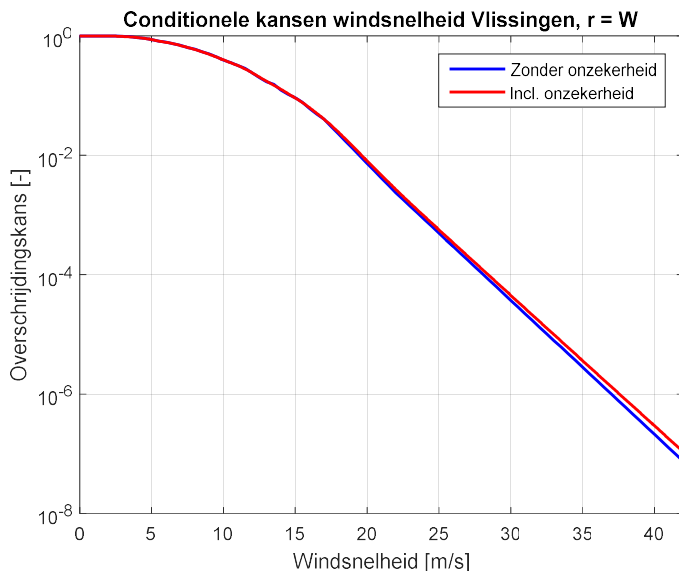
<sup>2</sup> Deze referentie meldt ook dat deze waarden komen uit het spreadsheet Wind speed Vlissingen - vl VL.xlsx, 04-12-2015.

### 3.2 Resultaten wind Vlissingen (22.5°-sectoren)

Voor de richtingen N en W worden de resultaten voor de conditionele kansen getoond in Figuur 3-1 en Figuur 3-2. Daarin zijn zowel de oorspronkelijke als de uitgeïntegreerde lijnen weergegeven. De oorspronkelijke (blauwe) lijnen komen ook voor in Figuur 2-2, met de kanttekening dat ze in die figuur wel een ander label hebben. Het blijkt dat het uitintegreren de lijnen niet sterk wijzigt, wat al bekend is uit [Wojciechowska, 2016b].



Figuur 3-1 Conditionele kans  $P_{22.5}(U > u | r)$  voor de richting N (360°).



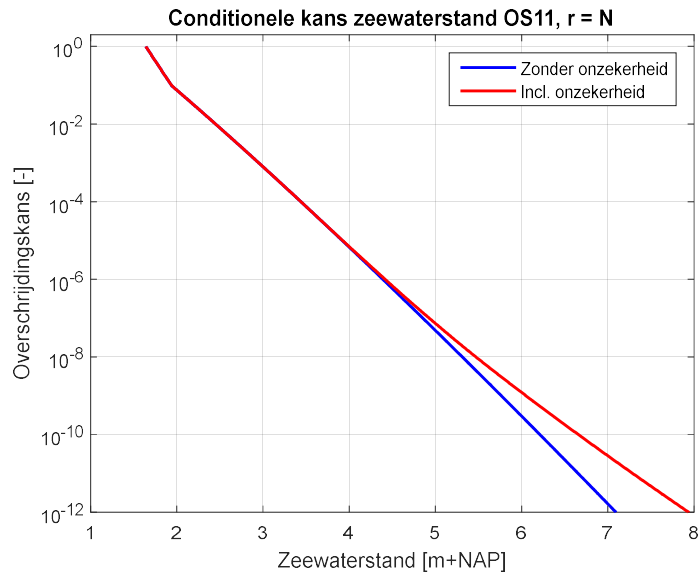
Figuur 3-2 Conditionele kans  $P_{22.5}(U > u | r)$  voor de richting W (270°).



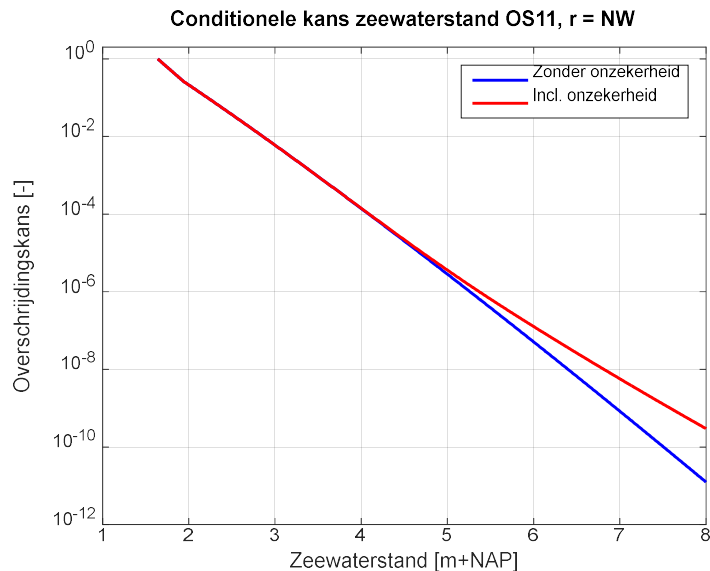
### 3.3 Resultaten zeewaterstand OS11

#### 3.3.1 Conditionele kansen

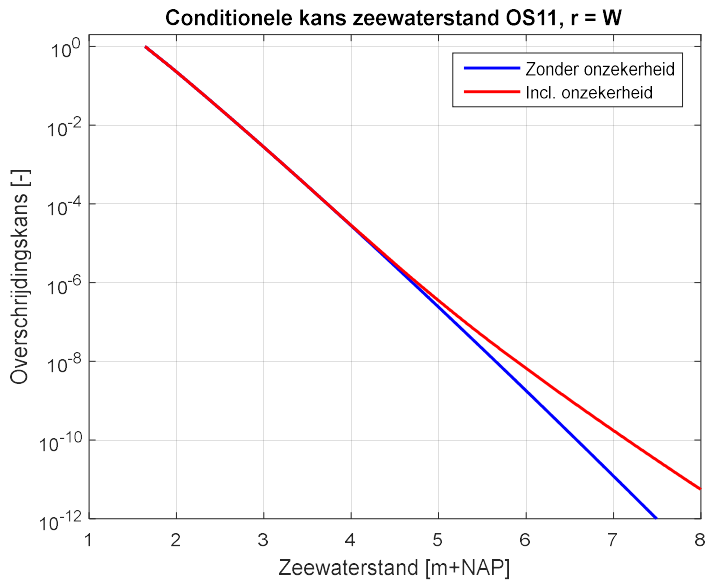
Voor de zeewaterstand zijn de resultaten voor de conditionele kansen te zien voor richtingen N, NW en W in Figuur 3-3 t/m Figuur 3-5 (de blauwe lijnen komen ook voor in Figuur 2-9, maar dan met andere labels). Het blijkt dat de onzekerheid vooral doorwerkt bij de zeer extreme zeewaterstanden vanaf ongeveer 5 m+NAP.



Figuur 3-3 Conditionele kans  $P_{22.5}(M>m|r)$  voor de richting N (360°).



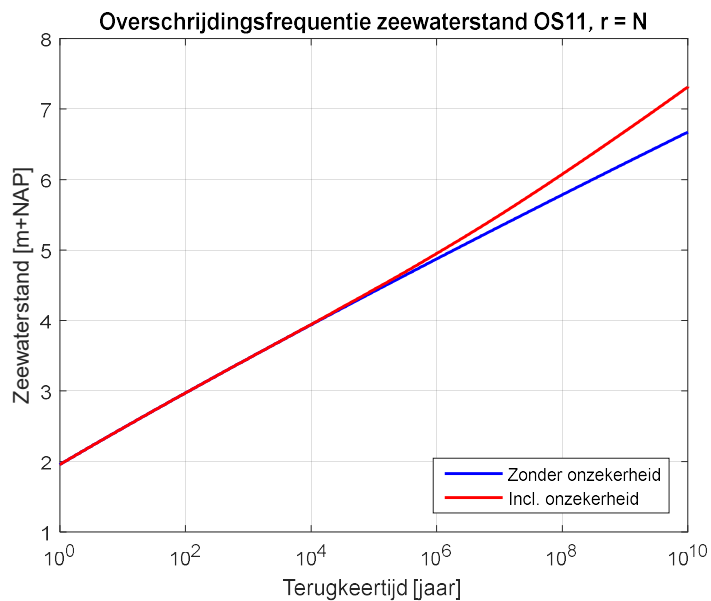
Figuur 3-4 Conditionele kans  $P_{22.5}(M>m|r)$  voor de richting NW(315°).



Figuur 3-5 Conditionele kans  $P_{22.5}(M>m|r)$  voor de richting W (270°).

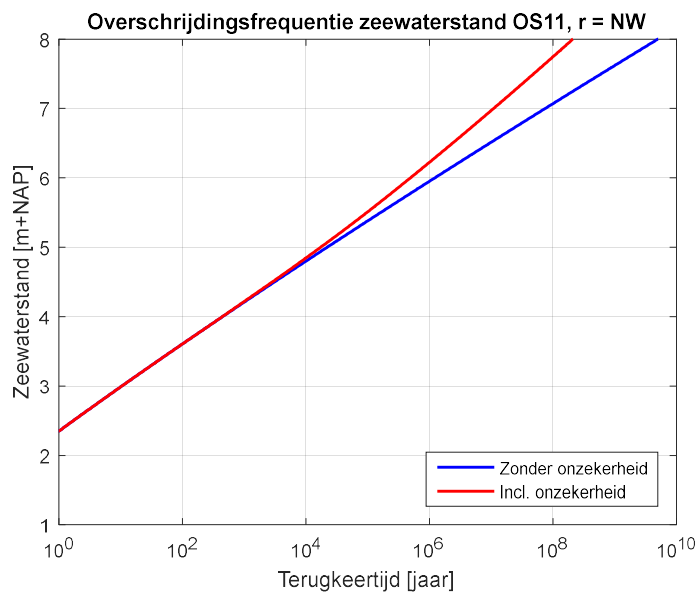
### 3.3.2 Overschrijdingsfrequenties

Als service aan de lezer worden de figuren ook gegeven in termen van de terugkeertijd (Figuur 3-6 t/m Figuur 3-8).<sup>3</sup> De figuren laten zien dat de onzekerheid pas echt groot wordt vanaf terugkeertijden in de orde van  $T = 10^6$  jaar.

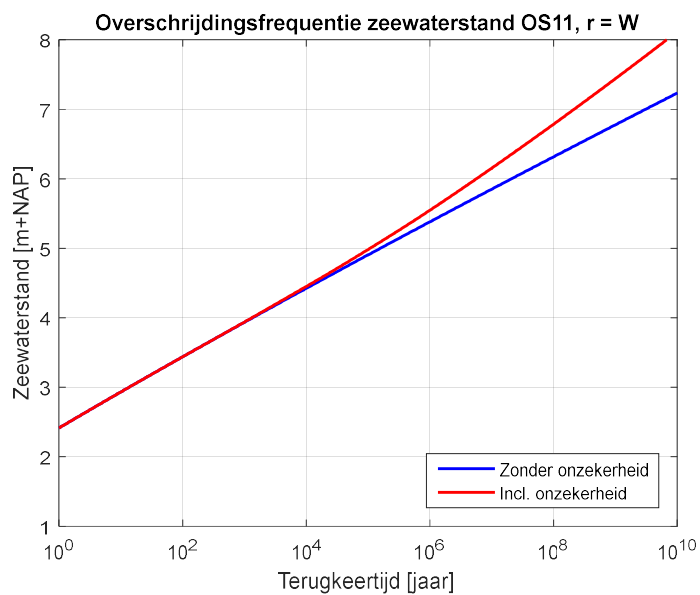


Figuur 3-6 Conditionele kans  $F_{22.5}(M>m,r)$  voor de richting N (360°).

<sup>3</sup> In de figuren staat op de horizontale as de terugkeertijd, terwijl in het bijschrift de overschrijdingsfrequentie wordt genoemd. Omdat beide grootheden simpelweg elkaars reciproke zijn, worden beide grootheden soms door elkaar gebruikt.



Figuur 3-7 Conditionele kans  $F_{22.5}(M > m, r)$  voor de richting NW (315°).



Figuur 3-8 Conditionele kans  $F_{22.5}(M > m, r)$  voor de richting W (270°).



## 4 Aanvullende zaken

Dit hoofdstuk geeft wat aanvullende informatie over invoerbestanden voor het Oosterschelde-model uit Hydra-NL.

### 4.1 Kansverdeling faseverschil

In het probabilistisch model Hydra-NL dat voor de waterstanden gevoed wordt met WAQUA-berekeningen, wordt slechts één faseverschil tussen de rechte opzet en astronomisch hoogwater meegenomen. Daarbij komt het maximum van de rechte opzet 320 minuten vóórafgaand aan astronomisch hoogwater.

In het Prestatiepeilenmodel (Prespeil), waarop het probabilistisch model uit Hydra-NL is gebaseerd, worden meerdere fases beschouwd; in Prespeil wordt echter het 1d-model IMPLIC gebruikt om waterstanden te berekenen, dat veel sneller rekent dan het 2d-model WAQUA. Om het aantal WAQUA-berekeningen voor Hydra-NL behapbaar te houden, wordt nu slechts één fase gebruikt, zie voor de motivatie daarvoor [Geerse en Stijnen, 2016].

### 4.2 Kansverdeling stormopzetduur

In Prespeil worden vijf stormduren meegenomen in de IMPLIC-berekeningen. In Hydra-NL worden in de WAQUA-berekeningen slechts drie stormduren meegenomen, namelijk 40, 60 en 80 uur. De reden is weer het beperken van het aantal WAQUA-berekeningen [Geerse en Stijnen, 2016]. Tabel 4-1 geeft de kansen op de stormduren uit Prespeil en uit Hydra-NL. De kansen uit Prespeil zijn afkomstig van een lognormale verdeling; zie paragraaf 3.3.2 uit [Geerse en Stijnen, 2016] voor de precieze formulering daarvan en voor de achterliggende referenties, die teruggaan tot het jaar 1980.

De kansen uit Hydra-NL zijn als volgt gekozen:

- De klasse 60 uur houdt nagenoeg dezelfde kans houdt als in Prespeil.
- De klasse 40 uur krijgt nagenoeg de kansen van de klassen 20 en 40 uur uit Prespeil.
- De klasse 80 uur krijgt nagenoeg de kansen van de klassen 80 en 100 uur uit Prespeil.
- Nadien zijn de kansen nog getuned, zodat de gemiddelde stormopzetduur hetzelfde blijft.

Stormopzetduur, uur	Prespeil		Hydra-NL	
	Klassekans	Kans*Stormopzetduur, uur	Klassekans	Kans*Stormopzetduur, uur
20	0.055	1.10	0	0.00
40	0.414	16.56	0.475	19.00
60	0.353	21.18	0.349	20.94
80	0.131	10.48	0.176	14.08
100	0.047	4.70	0	0.00
	<b>Gemiddeld:</b>	<b>54.02</b>	<b>Gemiddeld:</b>	<b>54.02</b>

Tabel 4-1 Kansen op de stormopzetduren volgens Prespeil en Hydra-NL.

### 4.3 Parameters correlatie wind en zeewaterstand

De correlatie tussen wind en zeewaterstand wordt in Hydra-NL per richting gemodelleerd met model CS (model met constante spreiding). Zie voor achtergronden van dat model bijvoorbeeld [Geerse en Diermanse, 2006]. Per richtingsector dient dan een standaarddeviatie  $\sigma$  te worden gebruikt. In Prespeil worden op dit moment, voor 30°-sectoren, per richting de getallen gebruikt zoals weergegeven in Tabel 4-2; voor de richtingen 30° t/m 210° wordt geen correlatie tussen wind en zeewaterstand meegenomen, omdat voor die richtingen geen bedreigende stormvloedenvoorkomen.

De getallen uit de tabel stemmen overeen met de waarden die in [Chbab, 2015] zijn afgeleid voor de Westerschelde (voor de Oosterschelde worden in die referentie geen getallen gegeven): blijkbaar worden voor de Oosterschelde dezelfde correlatiesterktes per richting aangenomen als voor de Westerschelde. Overigens is het een ervaringsfeit (expert judgement) dat de precieze waarden voor de  $\sigma$ 's niet veel invloed hebben op de resultaten uit Hydra-NL.

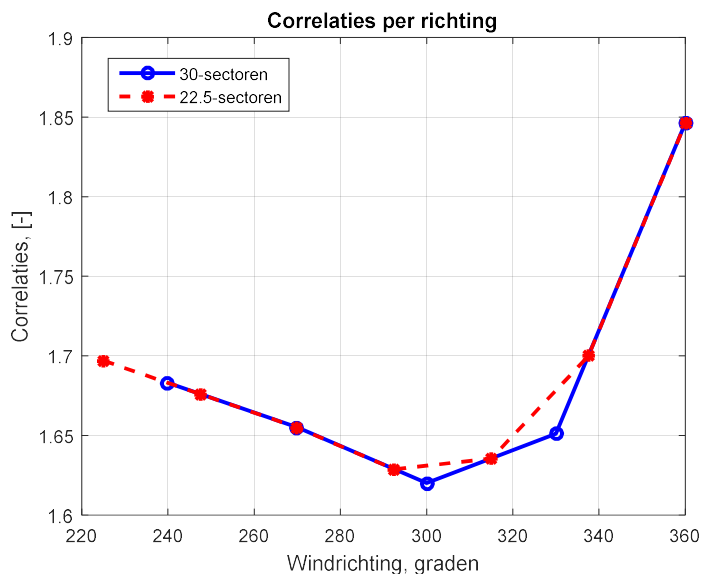
Door interpolatie en extrapolatie volgen de getallen voor de 22.5°-sectoren zoals weergegeven in Tabel 4-3. Deze getallen zijn ook grafisch weergegeven in Figuur 4-1. Richting N (360°) heeft de grootste waarde voor  $\sigma$  (zwakste correlatie), terwijl de kleinste  $\sigma$ 's (sterkste correlatie) bij de richtingen WNW - NW ligt (292.5° - 315°).

Richtingsector, graden	240	270	300	330	360
Correlatiesterkte Prespeil, [-]	1.683	1.655	1.62	1.651	1.846

Tabel 4-2 Correlaties in Prespeil (stand van zaken augustus 2017). Bron: toelevering Prespeil door Krijn Saman.

Richtingsector, graden	ZW	WZW	W	WNW	NW	NNW	N
Correlatiesterkte Hydra-NL [-]	1.697	1.676	1.655	1.629	1.636	1.700	1.846

Tabel 4-3 Correlaties in Hydra-NL, na interpolatie naar 22.5°-sectoren.



Figuur 4-1 Vergelijking van de correlatiesterktes voor 30°- en 22.5°-sectoren.

## 5 Invoerbestanden

Dit hoofdstuk geeft informatie over de invoerbestanden voor model OS in Hydra-NL. Kleinere bestanden worden in hun geheel weergegeven, de grotere bestanden voor de wind en de zeewaterstand echter niet. De bestanden worden niet of nauwelijks becommentarieerd, omdat de manier om ze te bepalen hiervoor al is beschreven.

### 5.1 Faseverschil

```
* Kansen op faseverschil tussen top van de storm en de getijtop
*
* Bestand om te testen. Gemaakt door Matthijs Duits, HKV Lijn in water, 10-08-2017
*
* Tijd [minuten]   kans [-]
*
-320.0             1.0
```

*Tabel 5-1      Inhoud bestand "KansenFaseverschil\_2023.txt".*

### 5.2 Stormopzetduur

```
* Kansen op de stormduren
*
* De getallen zijn ontleend aan paragraaf 2.6 van:
* 'Kansberekeningen meetstation OS11'
* TNO rapport, Delft, 1 augustus 2007.
* Auteurs: A.C.W.M. Vrouwenfelder en H.M.G.M. Steenbergen
*
* Op 23-02-2016 aangepast door R.P. Nicolai o.b.v.
* berekeningen uitgevoerd i.o.m. C. Geerse.
* 3 stormduren -> dezelfde verwachtingswaarde 54.02
*
* Duur [uur]       kans [-]
*
40                 0.475
60                 0.349
80                 0.176
```

*Tabel 5-2      Inhoud bestand "KansenStormduur\_OS\_40\_60\_80uur\_2017.txt".*

## 5.3 Correlatie wind en zeewaterstand

```
* Correlatiecoëfficiënten sigma voor de Oosterschelde voor de correlatie tussen
* zeewaterstand en windsnelheid per windrichting
*
* De correlatiecoëfficiënten worden gegeven voor het correlatiemodel met
* variabele spreiding (VS). Per zeewaterstand kan er daardoor sprake
* zijn van een andere correlatie. Door de correlatiecoëfficiënten voor
* alle zeewaterstanden hetzelfde te kiezen, wordt het correlatiemodel met
* variabele spreiding (VS) gevormd tot het correlatiemodel met constante
* spreiding (CS).
*
* Door:      Chris Geerse van HKV lijn in water
* Project: PR3556.10
*
* Correlaties overgenomen van de Westerschelde voor 30-graden sectoren;
* deze zijn daarna geïnterpoleerd naar 22.5-sectoren. Zie rapportage PR3556.10.
*
* De waarde -99.0 betekent: geen correlatie
*
* Onderstaand is m de zeewaterstand (m+NAP) en r de windrichting
*
* m/r   22.5   45     ... 202.5   225     247.5   270     292.5   315     337.5   360
0       -99.0  -99.0  ... -99.0    1.697   1.676   1.655   1.6288  1.6355  1.6998  1.846
6.5     -99.0  -99.0  ... -99.0    1.697   1.676   1.655   1.6288  1.6355  1.6998  1.846
```

Tabel 5-3 Inhoud bestand "VS\_sigmafunctie\_OS\_16sectoren\_2017.txt". N.B. De getallen voor 67.5° t/m 180° zijn weggelaten.

## 5.4 Windrichtingskansen

```
* Kansen op de windrichtingen voor de Oosterschelde
*
*
* Door:      Chris Geerse
* Project: PR3556.10
* Datum:      augustus 2017
*
* Kansen 30-graden sectoren overgenomen van Hoek van Holland, conform rapport:
* Basisstochasten WTI-2017. Statistiek en statistische onzekerheid.
* Houcine Cbab. Kenmerk 1209433-012-HYE-0007, 2 december 2015.
*
* Daarna omgerekend naar 22.5-sectoren volgens rapportage PR3556.10
*
*
22.5      3.1544E-02
45.0      4.0064E-02
67.5      5.1174E-02
90.0      6.4961E-02
112.5     4.9185E-02
135.0     4.6984E-02
157.5     5.4612E-02
180.0     8.7976E-02
202.5     1.1595E-01
225.0     1.1473E-01
247.5     1.0226E-01
270.0     7.3977E-02
292.5     5.6167E-02
315.0     4.4412E-02
337.5     3.5300E-02
360.0     3.0704E-02
```

Tabel 5-4 Inhoud bestand "KansenWindrichting\_16sectoren\_OS\_2017.txt".



## 5.5 Conditionele overschrijdingskansen potentiële wind Vlissingen

Voor Hydra-NL zijn voor de potentiële wind bij Vlissingen, voor  $r = \text{NNO t/m N}$ , conditionele kansen van de vorm  $P_{22.5}(U > u | r)$  nodig. Deze zijn opgesomd in Tabel 5-5. Het format van de bestanden is analoog aan de bestanden uit paragraaf 2.2.1.

Omschrijving	Bestandsnaam
Conditionele ov.kans (standaard)	Ovkanswind_Vlissingen_16sectoren_2017.txt
Conditionele ov.kans met statistische onzekerheid	Ovkanswind_Vlissingen_16sectoren_2017_metOnzHeid.txt
Conditionele ov.kans met aanpassing winddrag en statistische onzekerheid	Ovkanswind_Vlissingen met winddrag_16sectoren_2017_metOnzHeid.txt

Tabel 5-5 Informatie over de windbestanden voor Vlissingen.

## 5.6 Conditionele overschrijdingskansen zeewaterstand OS11

Voor Hydra-NL zijn voor de zeewaterstand bij OS11, voor  $r = \text{NNO t/m N}$ , conditionele kansen van de vorm  $P_{22.5}(M > m | r)$  nodig. Deze zijn opgesomd in Tabel 5-6. Het format van de bestanden is analoog aan de bestanden uit paragraaf 2.2.2.

Omschrijving	Bestandsnaam
Conditionele ov.kans (standaard)	CondPovOS11_16sectoren_12u_zichtjaar2017.txt
Conditionele ov.kans met statistische onzekerheid	CondPovOS11_16sectoren_12u_2017_metOnzHeid.txt

Tabel 5-6 Informatie over de zeewaterstand-bestanden voor OS11.



## 6 Referenties

[Chbab, 2015]

Basisstochasten WTI-2017. Statistiek en statistische onzekerheid. Houcine Cbab. Kenmerk 1209433-012-HYE-0007, 2 december 2015.

[Duits en Kuijper, 2017]

Hydra-NL. Systeemdokumentatie – Versie 2.3. *[HKV-rapport PR3506]*. M.T. Duits en B. Kuijper. HKV Lijn in Water, april 2017.

[Geerse et al, 2002]

Wind-waterstandstatistiek Hoek van Holland. *[HKV-rapport PR456.10]*. C.P.M. Geerse (RIZA), M.T. Duits (HKV), H.J. Kalk (HKV), I.B.M. Lammers, (HKV). RIZA/HKV rapport, Lelystad, juli 2002.

[Geerse en Diermanse, 2006]

Correlaties en meerdimensionale statistiek. C.P.M. Geerse en F.L.M. Diermanse. HKV Lijn in Water en WL|Delft Hydraulics, rapport PR1175, Lelystad, november 2006.

[Geerse en Stijnen, 2016]

Belastingmodel Oosterschelde WTI2023. Chris Geerse en Jan Stijnen. *[Deltares-HKV-rapport PR3262.10]*. Deltares en HKV Lijn in Water, juni 2016. In opdracht van RWS - WVL.

[Geerse, 2016]

Werkwijze uitintegreren onzekerheden basisstochasten voor Hydra-NL. Afvoeren, meerpeilen, zeewaterstanden en windsnelheden – Update februari 2016. C.P.M. Geerse. *[HKV-rapport PR3216.10]*. HKV Lijn in Water, februari 2016. In opdracht van RWS - WVL.

[Rongen et al, 2016]

Overschrijdingsfrequentielijnen voor de zeewaterstand en windsnelheid, met en zonder onzekerheid. *[HKV-memo PR3280.14]*. Guus Rongen, Karolina Wojciechowska en Chris Geerse. HKV Lijn in Water, 1 april 2016.

[Rongen, 2016]

Controle Databases Winddragcorrectie.*[HKV-memo PR3280.20.03]* Guus Rongen. HKV Lijn in Water, 14 september 2016.

[Van Vledder, 2015]

Stappenplan aanpassing hydraulische randvoorwaarden op basis van nieuwe inzichten winddrag. G. van Vledder. Van Vledder Consulting, opdrachtgever: RWS-WVL, december 2015.

[Wojciechowska, 2016a]

Afleiden nieuwe windstatistiek. *[HKV-memo PR3280.14]*. K. Wojciechowska. HKV Lijn in Water, februari 2016.

[Wojciechowska, 2016b]

Uitintegreren statistische onzekerheid voor de Oosterschelde. *[HKV-memo PR3280.10]*. Karolina Wojciechowska. HKV Lijn in Water, februari 2016.



## Bijlage A: Omrekening wind naar 22.5° met winddrag

Deze bijlage beschrijft de omrekening van de statistiek waarin een correctie voor winddrag is verwerkt.

### Gebruikte gegevens

Tabel A-1 bevat conditionele overschrijdingskansen  $P_{30}(U > u|w)$  waarin voor extreme windsnelheden vanaf ongeveer 30 m/s een correctie is aangebracht voor winddrag, zie onderstaande tabel.

\* De conditionele overschrijdingskans van de windsnelheid zonder statistische  
 \* onzekerheid gegeven de windrichting voor een 12-uursperiode te Vlissingen  
 \*

\* Het doel van deze aangepaste statistiek is de winddragcorrectie te verwerken,  
 \* zonder dat deze in de database aangepast hoeft te worden.  
 \* LET OP: deze windstatistiek is dus onjuist (dwz: hij volgt niet logischerwijs  
 \* uit de bekende gegevens), maar dient als workaround om zonder de  
 \* database aan te passen, de winddrag te corrigeren. De statistiek  
 \* moet dus niet voor andere doeleinden, en in andere systemen dan de meren en  
 \* de Oosterschelde gebruikt worden  
 \*

\* Door: G.W.F. Rongen van HKV lijn in water  
 \* Project: PR3280.20.03  
 \*

* u (m/s)	30.0		300.0	330.0	360.0
0.00	1.000e+00	.....	1.000e+00	1.000e+00	1.000e+00
2.00	9.840e-01	.....	9.967e-01	1.000e+00	9.820e-01
2.50	9.631e-01	.....	9.878e-01	9.836e-01	9.587e-01
3.00	8.966e-01	.....	9.523e-01	9.387e-01	9.126e-01
3.50	8.436e-01	.....	9.301e-01	8.999e-01	8.684e-01
4.00	7.266e-01	.....	8.890e-01	8.221e-01	7.701e-01
4.50	6.626e-01	.....	8.546e-01	7.833e-01	7.151e-01
...					
...					
...					
...					
...					
39.00	9.315e-17	.....	2.562e-09	1.827e-10	1.396e-12
39.50	4.267e-17	.....	1.665e-09	1.143e-10	7.928e-13
40.00	1.955e-17	.....	1.082e-09	7.151e-11	4.503e-13
40.50	8.956e-18	.....	7.035e-10	4.474e-11	2.558e-13
41.00	4.103e-18	.....	4.572e-10	2.800e-11	1.453e-13
41.50	1.880e-18	.....	2.972e-10	1.752e-11	8.256e-14
42.00	8.610e-19	.....	1.931e-10	1.096e-11	4.690e-14

Tabel A-1 Deel van de inhoud van bestand 'Ovkanswind\_Vlissingen\_2017\_metWindDrag.txt'.

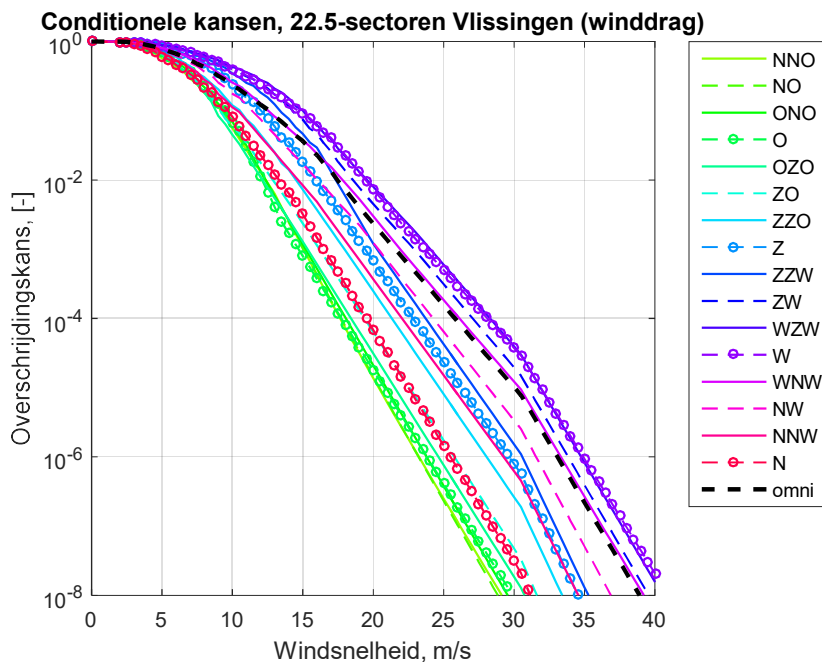
## Resultaten

De omrekening voor de windsnelheid met aanpassing voor winddrag verloopt op dezelfde manier als die zonder aanpassing (de richtingskansen blijven onveranderd). Vandaar dat we ons beperken tot de volgende figuren:

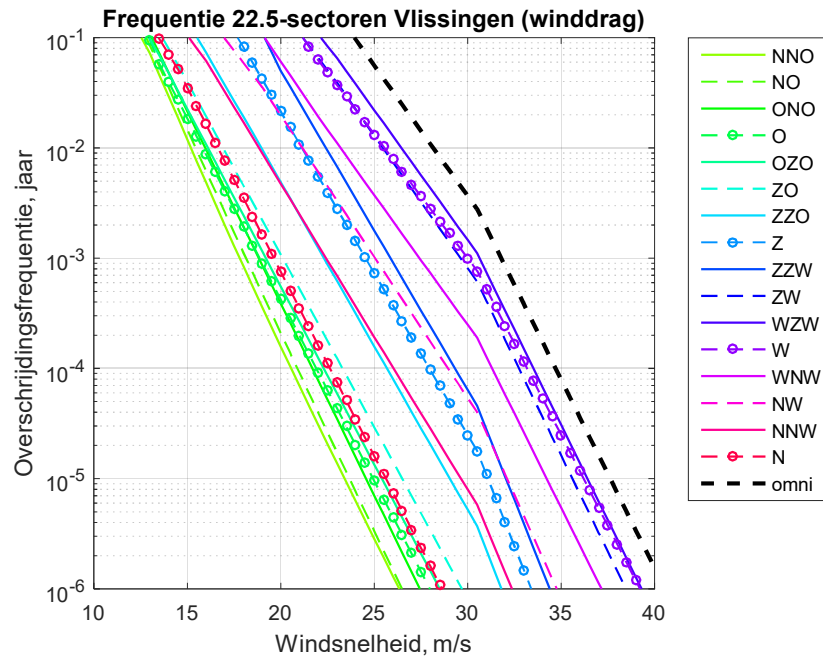
1. Conditionele kansen voor 22.5°-sectoren (Figuur A-1).
2. Overschrijdingsfrequenties voor 22.5°-sectoren (Figuur A-2).
3. Kwantielen per richting (Figuur A-3).

Voor de conditionele kansen is het effect van de aanpassing voor winddrag te zien aan de knikken in de lijnen bij windsnelheid  $u = 30$  m/s. Deze knikken zijn ook te zien in de lijnen voor de overschrijdingsfrequenties.

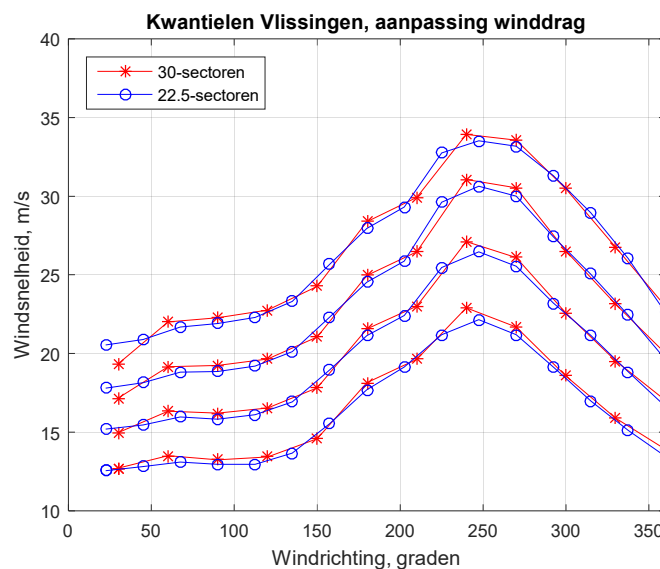
Kwantielen hoger dan 30 m/s worden in de situatie met winddrag lager dan zonder, wat blijkt uit de vergelijking van Figuur A-3 met Figuur 2-6. Dat moet uiteraard ook het geval zijn.



Figuur A-1 Weergave van de conditionele kansen  $P_{22.5}(U > u | r)$ , inclusief de omnidirectionele kans  $P_{22.5}(U > u)$ . Situatie met aanpassing voor winddrag.



Figuur A-2 Weergave van de overschrijdingsfrequentie  $F_{22.5}(U > u, r)$ , inclusief de omnidirectionele overschrijdingsfrequentie  $F_{22.5}(U > u)$ . Situatie met aanpassing voor winddrag.



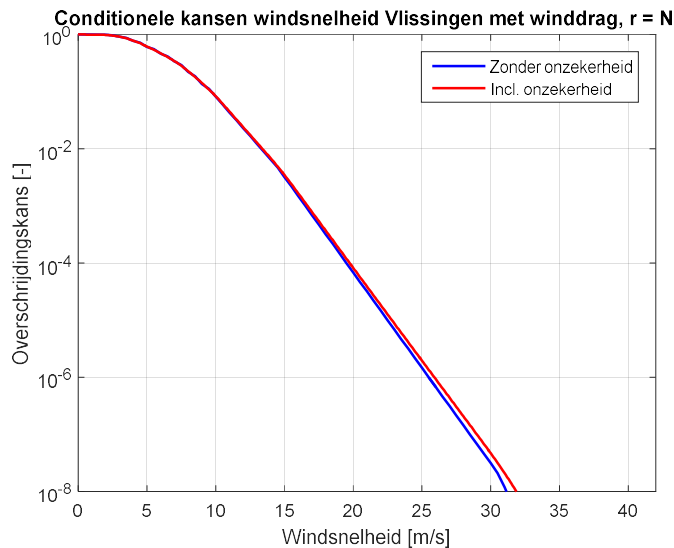
Figuur A-3 Kwantielen per richting van de overschrijdingsfrequenties voor beide typen richtingsectoren. Weergegeven, van onder naar boven, voor  $T = 10, 100, 1000, 10000$  jaar. Situatie met aanpassing voor winddrag.



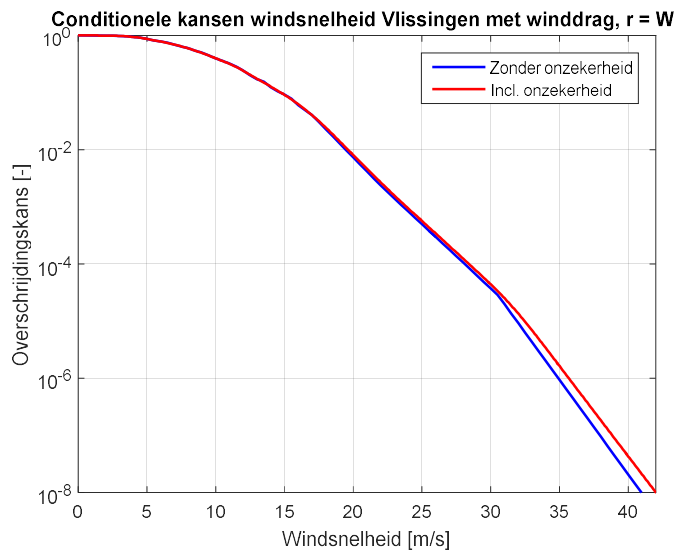


## Bijlage B: Resultaten uitintegreren met winddrag

Voor de situatie met winddrag zijn de resultaten van het uitintegreren te zien voor richtingen N en W in Figuur B-1 en Figuur B-2. Daarin zijn zowel de oorspronkelijke als de uitgeïntegreerde lijnen weergegeven. Vanaf 30 m/s is het effect van de aanpassing voor winddrag te zien.



Figuur B-1 Conditionele kans  $P_{22.5}(U > u|r)$  voor de richting N ( $360^\circ$ ); situatie met winddrag.



Figuur B-2 Conditionele kans  $P_{22.5}(U > u|r)$  voor de richting W ( $270^\circ$ ); situatie met winddrag.



HKV lijn in water BV

Postbus 2120  
8203 AC Lelystad

Botter 11-29  
8232 JN Lelystad

0320 29 42 42  
[info@hkv.nl](mailto:info@hkv.nl)  
[www.hkv.nl](http://www.hkv.nl)