

memorandum

PR3280.14

Project : WTI 2017 Verschilanalyse
Datum : 1 april 2016
Onderwerp : Overschrijdingsfrequentielijnen voor de zeewaterstand en windsnelheid, met en zonder onzekerheid
Van : Guus Rongen, Karolina Wojciechowska en Chris Geerse (HKV lijn in water)
Aan : Deon Slagter en Robert Slomp (RWS-WVL)

1 Overschrijdingsfrequentielijnen voor de zeewaterstand en windsnelheid

Voor het WTI 2017 dient in Hydra-NL gebruik te worden gemaakt van kans- of frequentieverdelingen, zowel met als zonder onzekerheid, voor de basisstochasten uit dit model. Dit memorandum beschrijft het afleiden van deze verdelingen voor de zeewaterstand op 14 locaties, en voor de windsnelheid op 5 locaties. Voor de toegepaste methodiek is veelvuldig gebruik gemaakt van het werk van Geerse (2016), veelal ontleend aan (Chbab, 2015). Voor meer achtergrondinformatie wordt dan ook naar deze documenten verwezen.

De zeewaterstanden bespreken we eerst, gevolgd door de windsnelheden. Een overzicht van de locaties inclusief de eigenschappen van de onzekerheid is gegeven in Tabel 1. Een aantal van de locaties zijn "virtuele" locaties. Dit zijn hulpstations met dezelfde statistiek als hun niet virtuele dubbelgangers, toegevoegd om goed te kunnen interpoleren.

	Onzekerheidsmodel	Kenmerken verdeling Y	
		Type verdeling	Aard modelparameters
Zeewaterstand			
Delfzijl	Additief	Normaal	Variabel
Den Helder	Additief	Normaal	Variabel
Den Oever	Additief	Normaal	Variabel
Hansweert	Additief	Normaal	Variabel
Harlingen	Additief	Normaal	Variabel
Hoek van Holland	Additief	Normaal	Variabel
Huibertgat	Additief	Normaal	Variabel
IJmuiden Buitenhaven	Additief	Normaal	Variabel
IJmuiden Buitenhaven (virtueel)	Additief	Normaal	Variabel
Lauwersoog	Additief	Normaal	Variabel
OS11	Additief	Normaal	Variabel
Terschelling	Additief	Normaal	Variabel
Vlissingen	Additief	Normaal	Variabel
Vlissingen (virtueel)	Additief	Normaal	Variabel
Windsnelheid			
De Kooy wl DH	Multipliatief	Normaal	Constant: $\sigma = 0.046$
Hoek van Holland wl HvH	Multipliatief	Normaal	Constant: $\sigma = 0.036$

IJmuiden wl YM	Multiplicatief	Normaal	Constant: $\sigma = 0.040$
Vlissingen wl VL	Multiplicatief	Normaal	Constant: $\sigma = 0.043$
West Terschelling wl LO	Multiplicatief	Normaal	Constant: $\sigma = 0.048$

Tabel 1: Informatie over de modellering van de onzekerheid (bron: ftp-server van Deltares, 04-12-2015).

1.1 Zeewaterstanden

In deze paragraaf wordt de statistiek voor de zeewaterstandstations genoemd in Tabel 1 besproken. De verdeling van de overschrijdingskansen is aangeleverd door Deltares. In deze paragraaf wordt de methodiek en resultaten van het verwerken van de onzekerheden in deze statistiek toegelicht. Voor station OS11 zijn de invoer en resultaten gepresenteerd, zodat de methodiek kan worden vergeleken is met Wojciechowska (2016).

1.1.1 Richtingkansen

Voor de waterstanden is gebruik gemaakt van windrichtingkansen en waterstandsverdelingen, beschikbaar gesteld via de ftp van Deltares. De gegevens stammen van 4 december 2015. De windrichtingkansen voor Hoek van Holland zijn gegeven in tabel 2, gekopieerd uit "Water level Hoek van Holland.xlsx" van de Deltares ftp.

Richting	Kans
30	0.04228
60	0.06455
90	0.08662
120	0.06137
150	0.06392
180	0.11730
210	0.16206
240	0.14389
270	0.09864
300	0.07014
330	0.04829
360	0.04094

Tabel 2: Windrichtingkansen voor Harlingen (bron: ftp-server van Deltares, 04-12-2015).

360 graden is het noorden. Let er op dat in de Hydra-NL invoerbestanden als eerste invoer 30 graden gegeven wordt, in plaats van 360 graden. De kansen zijn daar dus circulair een plaats verschoven. De richtingskansen zijn voor alle locaties gelijk, en afgeleid van de windstatistiek bij Hoek van Holland.

1.1.2 Overschrijdingskansen zonder onzekerheid

De overschrijdingskansen zonder onzekerheid voor 12-uursperioden zijn gegeven als conditionele Weibull-verdelingen in parametrische vorm, zoals weergegeven in onderstaande formule:

$$P_{12}(M > m | R = r) = \lambda_r \cdot \exp \left\{ - \left(\frac{m}{\sigma_r} \right)^{\alpha_r} + \left(\frac{\omega}{\sigma_r} \right)^{\alpha_r} \right\} \text{ met } m \geq \omega_r \quad (1.1)$$

Waarin:

- M : zeewaterstand met realisatie m [m+NAP]
- R : windrichting met realisatie r [graad]
- ω_r : drempelwaarde voor windrichting r
- λ_r : kans op overschrijden van de drempelwaarde voor windrichting r
- α_r : vormparameter voor windrichting r
- σ_r : schaalparameter voor windrichting r

De waarden van de parameters verschillen per windrichting en per station, en zijn aangeleverd door Deltares. De parametertabel per windrichting voor station OS11 (Oosterschelde) is als voorbeeld gegeven in tabel 3.

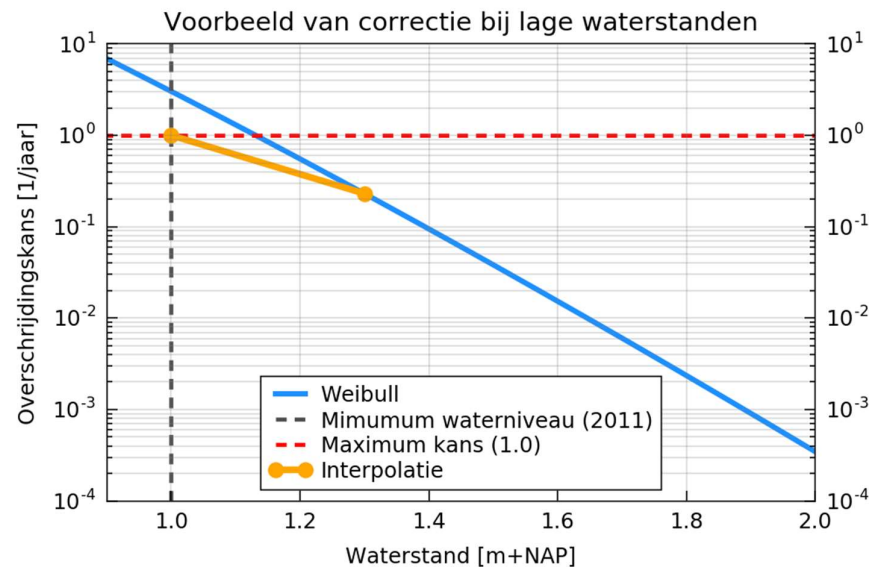
Windrichting [graden]	ω	λ	α	σ
360	2.27	0.0206	1.14	0.332
30	2.27	0.00207	1.22	0.2071
60	2.27	0.00136	1.22	0.2071
90	2.27	0.00101	1.22	0.2071
120	2.27	0.00143	1.22	0.2071
150	2.27	0.00137	1.22	0.2071
180	2.27	0.00075	1.22	0.2071
210	2.27	0.00204	1.13	0.2127
240	2.27	0.01602	1.15	0.2709
270	2.27	0.06481	1.13	0.3329
300	2.27	0.08357	1.15	0.4112
330	2.27	0.06803	1.17	0.4555

Tabel 3: Parameterwaarden per windrichting van de conditionele Weibullverdeling voor de zeewaterstand bij OS11 (bron: Water level OS11.xlsx, 04-12-2015).

Naast de parameters in deze tabel is ook een zeespiegelstijging gegeven. Deze is niet verwerkt in de statistiek, omdat Hydra-NL dit zelf doet. Op deze manier hoeft er niet voor elk klimaatscenario nieuwe statistiek te worden afgeleid.

De onzekerheid in de zeewaterstand is normaal verdeeld met een gemiddelde van 0 en een standaardafwijking afhankelijk van de locatie en de zeewaterstand.

Omdat de Weibullverdeling in het lage bereik overschrijdingskansen hoger dan 1.0 kan geven, is voor elke overschrijdingskans het minimum van 1.0 en de overschrijdingskans genomen. De overschrijdingskans van de laagste waterstand is op 1.0 gezet. Over de eerste 30 cm is logaritisch geïnterpoleerd om de verdeling aan te sluiten op de laagste waterstand. Deze interpolatie heeft geen invloed op de berekening in Hydra-NL (Wojciechowska, 2016). Een voorbeeld van deze interpolatie is gegeven in figuur 1, in dit voorbeeld is duidelijk te zien hoe een Weibullverdeling bij lage waterstanden te hoge overschrijdingskansen geeft, en dus gecorrigeerd dient te worden.



Figuur 1: Grafisch voorbeeld van correctie bij lage waterstanden.

De overschrijdingskansen zijn per 12 uur en per jaar berekend. De omrekening van 12-uurskansen naar jaarfrequenties gaat volgens formule 1.2, afkomstig uit (Geerse, 2016).

$$F_{whj}(M > m, r) = P_{12}(M > m | R = r) \cdot N \cdot P(r) \quad (1.2)$$

Waarin:

N : Aantal 12-uursblokken in een winterhalfjaar (whj)

Merk op dat een winterhalfjaar 180 dagen bevat, en dus geen volledig halfjaar inneemt.

1.1.3 Overschrijdingskansen met onzekerheid

De statistische onzekerheden voor de zeewaterstand zijn gedefinieerd volgens een additief model. De onzekerheid Y wordt opgeteld bij de basisstochast X zonder onzekerheid, tot de stochast met onzekerheid V (Chbab, 2015):

$$V = X + Y$$

Tabel 4 geeft de onzekerheid per waterstand voor OS11, bij een windrichting van 330 graden.

OS11		
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 4: Grootte van de onzekerheid voor verschillende waterstanden (bron: Water level OS11.xlsx, 04-12-2015).

Tussen verschillende waterstanden wordt lineair geïnterpoleerd en lineair geëxtrapoleerd. De standaardafwijking van de normaal verdeelde onzekerheid gaat niet naar 0, door de constante onzekerheid over de laagste twee waterstanden.

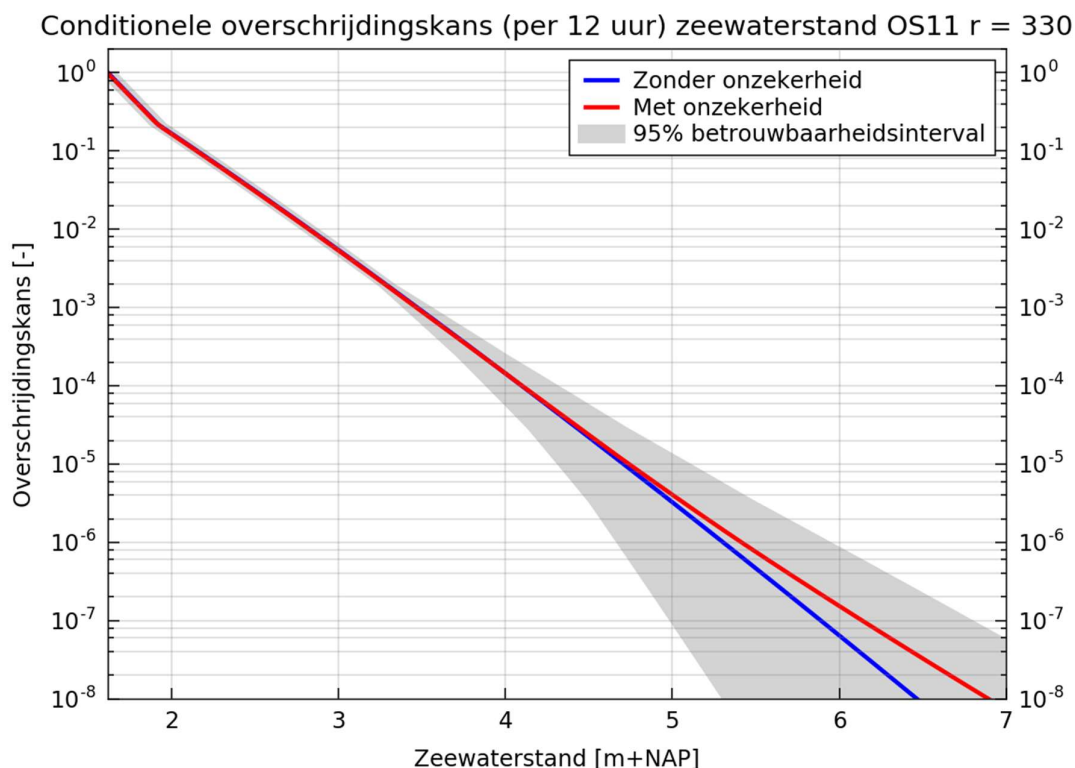
De overschrijdingskans met onzekerheid kan worden berekend volgens de volgende integraal (Geerse, 2016):

$$\begin{aligned} P(V > v) &= P(X + Y > v) \\ &= \int dx f(x) P(x + Y > v \mid X = x) \\ &= \int dx f(x) P(Y > v - x \mid X = x) \\ &= \int dx f(x) [1 - F_{Y|X=x}(v - x)] \end{aligned}$$

Hierin is $F_{Y|X=x}(t)$ de cumulatieve verdelingsfunctie van de onzekerheid, in het geval van de zeewaterstanden dus een cumulatieve normaalverdeling.

De numerieke implementatie is afgeleid uit MATLAB-scripts gebruikt voor (Wojchichowska, 2016), welke zijn afgeleid uit scripts gebruikt voor (Geerse, 2015). De overschrijdingskansen van de waterstanden zijn bepaald van het gemiddeld gemeten hoogwater van 2011, tot aan 8.0 m + NAP. De stapgrootte van de numerieke integratie is 0.01 m, terwijl de Hydra uitvoer 0.1 m is. De laatste Hydra stap wijkt dus in de meeste gevallen af van 0.1 m.

De resultaten zijn vergeleken met Wojchichowska (2016), en komen overeen. De uitvoer is gegeven in 3 vormen: figuren, Hydra-NL invoerbestanden en csv-bestanden. De figuur voor OS11 is gegeven in figuur 2. Ter illustratie is het 95% betrouwbaarheidsinterval van de onzekerheid ook weergegeven.



Figuur 2: Resultaten onzekerheid zeewaterstand OS11 voor $r = 330$ graden.

Bij het schrijven van de Hydra-NL bestanden zijn de volgende regels voor de opmaak aangehouden, afkomstig uit de systeemdokumentatie van Hydra-NL:

- Dit bestand moet bestaan uit een kolom met zeewaterstanden, die oplopen, en uit kolommen met conditionele overschrijdingskansen van de zeewaterstand gegeven de windrichting;
- De windrichtingen moeten oplopen;
- De kolommen moeten gescheiden worden door één of meer spaties. Niet een tab.
- De kolom met zeewaterstanden hoeft niet opgebouwd te zijn met een constante stapgrootte. Regels met commentaar kunnen bovenaan toegevoegd worden maar moeten vooraf gegaan worden door een asterisk (*);
- De derde regel moet de exacte locatie bevatten waarop deze kansverdeling van de zeewaterstand van toepassing is. De exacte locatie is weergegeven in R.D.-coördinaten. De derde regel moet daarmee bestaan uit: een asterisk, een spatie, de x-coördinaat (R.D.), een komma en de y-coördinaat (R.D.);
- Omdat het rekengedeelte vastloopt op lege regels, mag dit invoerbestand geen lege regels bevatten (ook niet aan de onderzijde).

Voor de overschrijdingskansen in dit bestand gelden de voor kansen reguliere voorwaarden:

- De overschrijdingskans moet groter of gelijk aan 0 zijn en kleiner of gelijk aan 1;
- Voor iedere windrichting moet de overschrijdingskans van de laagste zeewaterstand gelijk aan 1 zijn;
- Binnen een windrichting neemt de overschrijdingskans niet toe met toenemende zeewaterstand; gelijk blijven is toegestaan;
- De waarde van de overschrijdingskans mag in een gewenste notatie worden opgegeven ('E-notatie' is niet voorgeschreven).

1.2 Windsnelheden

In deze paragraaf wordt de windstatistiek binnen WTI 2017 voor de stations: De Kooy, Hoek van Holland, IJmuiden, Vlissingen en West Terschelling gegeven. De bepaling van de windstatistiek met en zonder onzekerheid wordt gegeven. De werkwijze komt overeen met Wojchichowska (2016), waarin de bepaling van de windstatistiek voor Vlissingen wordt besproken. In dit memorandum worden dan ook de resultaten voor Vlissingen gepresenteerd, ter vergelijking.

1.2.1 Richtingskansen

De richtingskansen zijn gegeven voor 12 windrichtingen. De richtingskansen zijn gelijk voor elke richting, en gelijk aan de kansen in Tabel 2.

1.2.2 Overschrijdingskansen zonder onzekerheid

De overschrijdingskansen voor de windsnelheid zonder onzekerheid zijn overgenomen uit de excelbestanden aangeleverd via de ftp van Deltares (datum 04-12-2015). De aangeleverde data bevat overschrijdingskansen per station, per windrichting, voor 0 m/s en van 2 m/s tot 42 m/s met een stapgrootte van 0.5 m/s. Deze gegevens zijn direct omgezet naar Hydra-NL invoerbestanden. Dezelfde regels als voor de zeewaterstanden zijn aangehouden, behalve dat er geen locatiecoördinaten zijn toegevoegd. De reden hiervoor is dat deze informatie voor windbestanden niet vereist is.

1.2.3 Overschrijdingskansen met onzekerheid

Onzekerheden in de windstatistiek worden voor alle stations gemodelleerd met het multiplicatieve model, gegeven in de volgende formule (Chbab, 2015):

$$V = X Y$$

De onzekerheden zijn normaal verdeeld met een gemiddelde van 1 en een constante standaard deviatie. De overschrijdingskansen kunnen nu bepaald worden door de aanpak in Geerse (2016) te volgen:

$$\begin{aligned} P(V > v) &= P(X Y > v) \\ &= \int dx f(x) P(X Y > v \mid X = x) \\ &= \int dx f(x) P(Y > v/x \mid X = x) \\ &= \int dx f(x) [1 - F_{Y|X=x}(v/x)] \end{aligned}$$

Omdat de standaarddeviatie constant is bij verschillende windsnelheden, kan echter ook de volgende formulering gebruikt worden (zoals ook in de MATLAB-scripts van Geerse wordt gedaan):

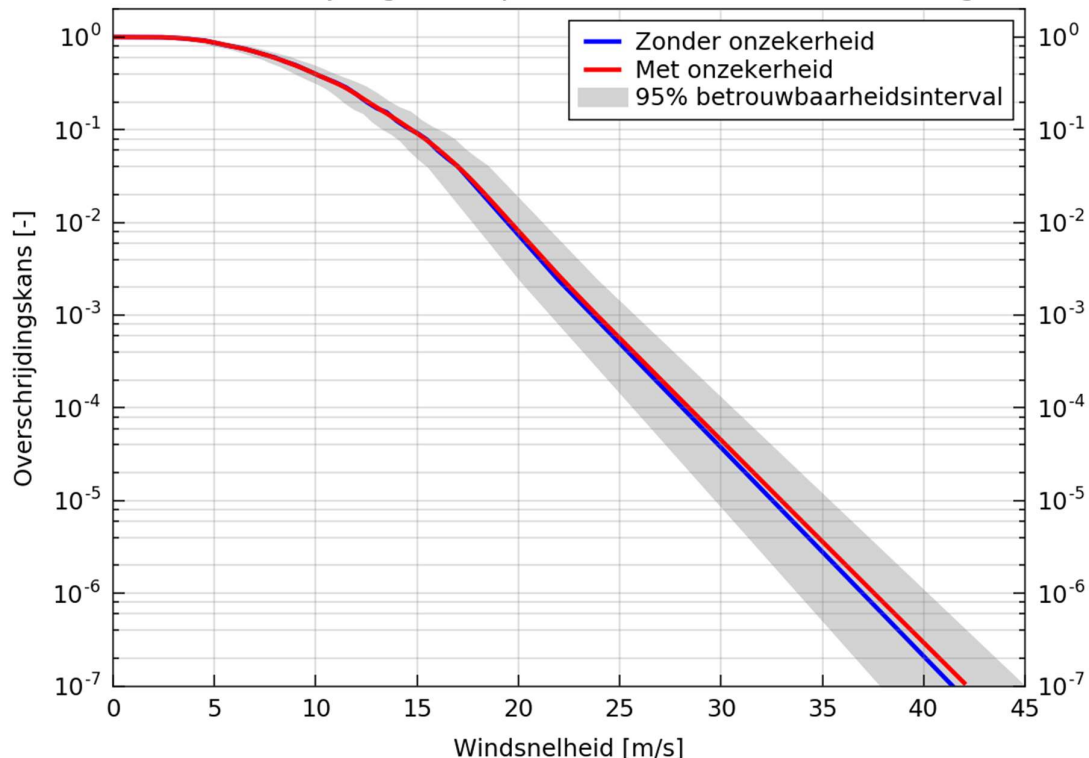
$$\begin{aligned}
 P(V > v) &= P(XY > v) \\
 &= \int dy f(y) P(XY > v \mid Y = y) \\
 &= \int dy f(y) P(X > v/y \mid Y = y) \\
 &= \int dy f(y) [1 - F_{X|Y=y}(v/y)]
 \end{aligned}$$

Het voordeel hiervan is dat de onzekerheden preciezer geïntegreerd worden, omdat de verdeling van de onzekerheid bij elke windsnelheid op dezelfde percentielen wordt gediscrèteerd. De numerieke integratie is uitgevoerd met een stapgrootte van 0.1 m/s voor de windsnelheden, en 0.01 σ voor de onzekerheid. De resultaten zijn gegeven voor dezelfde windsnelheden als de invoer: 0 m/s en van 2 m/s tot 42 m/s met een stapgrootte van 0.5 m/s.

De resultaten komen precies overeen met de resultaten van Wojciechowska (2016) voor station Vlissingen. Er is geen cumulatieve normaalverdeling aanwezig die verschillen geeft, zoals bij de waterstanden. Er zijn per station drie resultaten gegeven:

- De windrichtingskansen als Hydra-NL invoer
- De Hydra-NL invoer
- Figuren voor de overschrijdingskansen per richting, voor 12-uursperiode en jaar, met en zonder onzekerheid. Een voorbeeldfiguur voor Vlissingen is gegeven in figuur 3.

Conditionele overschrijdingskansen (per 12 uur) windsnelheid Vlissingen $r = 270$



Figuur 3: Resultaten onzekerheid windsnelheid Vlissingen voor $r = 270$ graden.

Referenties

[Chbab, 2015]

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

[Geerse, 2016]

Werkwijze uitintegreren onzekerheden basisstochasten voor Hydra-NL. Afvoeren, meerpeilen, zeewaterstanden en windsnelheden. Geerse, C.P.M. HKV lijn in water, PR3216.10, opdrachtgever: RWS-WVL, update februari 2016.

[Wojchichowska, 2016]

Uitintegreren statistische onzekerheid voor de Oosterschelde. Wojchichowska, K. HKV lijn in water memorandum, PR3216.10, opdrachtgever: RWS-WVL, februari 2016.