

Opdrachtgever: RWS-WVL

Werkwijze uitintegreren onzekerheden basisstochasten voor Hydra-NL

Afvoeren, meerpeilen, zeewaterstanden en windsnelheden

– Update februari 2016



Opdrachtgever: RWS-WVL

Werkwijze uitintegreren onzekerheden basisstochasten voor Hydra-NL

Afvoeren, meerpeilen, zeewaterstanden en windsnelheden

– Update februari 2016



Auteur
Chris Geerse

Inhoud

Lijst van tabellen	i
---------------------------------	----------

Lijst van figuren	iii
--------------------------------	------------

1 Inleiding	5
1.1 Achtergronden	5
1.2 Doel.....	5
1.3 Update februari 2016	6
1.4 Afbakening	6
1.5 Leeswijzer	7
2 Onzekerheidsformulering in Hydra-Ring.....	9
2.1 Generieke modelleringen in Hydra-Ring.....	9
2.2 Modelkeuzes per basisstochast.....	10
3 Formules voor uitintegreren	13
3.1 Algemene opmerkingen.....	13
3.2 Model 1 (additief zonder begrenzing)	13
3.3 Model 2 (multiplicatief zonder begrenzing).....	14
3.3.1 Situatie met variabele verdelingsparameters voor Y.....	14
3.3.2 Situatie met constante verdelingsparameters voor Y.....	15
3.4 Model 3 (additief met begrenzing)	15
3.4.1 Situatie met begrenzing in nul	15
3.4.2 Situatie met bovengrens voor X en V.....	17
3.5 Model 4 (multiplicatief met begrenzing in nul)	18
3.6 Uitleg lognormale verdeling	20
3.6.1 Gebruikelijke lognormale verdeling.....	20
3.6.2 Verschoven lognormale verdeling	21
3.6.3 Toepassing op het IJsselmeer	22
4 Nieuwe statistiek.....	25
4.1 Olst	25
4.1.1 Overschrijdingskans piekafvoer Olst zonder onzekerheden	25
4.1.2 Overschrijdingskans piekafvoer Olst met onzekerheden	26
4.1.3 Topduur trapezia Olst	27
4.2 Dalfsen	28
4.2.1 Overschrijdingskans piekafvoer zonder onzekerheden.....	28
4.2.2 Overschrijdingskans piekafvoer Dalfsen met onzekerheden	28
4.2.3 Topduur trapezia Dalfsen	30
4.3 Lobith	31
4.3.1 Overschrijdingskans piekafvoer Lobith zonder onzekerheden	31
4.3.2 Overschrijdingskans piekafvoer Lobith met onzekerheden	31
4.3.3 Topduur trapezia Lobith	33
4.4 Borgharen	33
4.4.1 Overschrijdingskans piekafvoer Borgharen zonder onzekerheden	33
4.4.2 Overschrijdingskans piekafvoer Borgharen met onzekerheden	34

4.4.3	Topduur trapezia Borgharen	34
4.5	Lith	35
4.5.1	Overschrijdingskans piekafvoer Lith zonder onzekerheden	35
4.5.2	Overschrijdingskans piekafvoer Lith met onzekerheden	36
4.5.3	Topduur trapezia Lith	37
4.6	IJsselmeer.....	37
4.6.1	Overschrijdingskans piekmeerpeil zonder onzekerheden	37
4.6.2	Overschrijdingskans piekafmeerpeil met onzekerheden.....	37
4.6.3	Topduur trapezia IJsselmeer.....	38
4.7	Markermeer.....	39
4.7.1	Overschrijdingskans piekmeerpeil zonder onzekerheden	39
4.7.2	Overschrijdingskans piekafmeerpeil met onzekerheden.....	39
4.7.3	Topduur trapezia Markermeer.....	40
4.8	Schiphol (16 richtingen)	41
4.8.1	Richtingskansen Schiphol.....	41
4.8.2	Omrekening van 22.5° naar 30° (zonder onzekerheden).....	41
4.8.3	Overschrijdingskans windsnelheid zonder onzekerheid.....	42
4.8.4	Overschrijdingskans windsnelheid met onzekerheid	42
4.9	Schiphol met Volkerfactor.....	43
4.9.1	Overschrijdingskans windsnelheid met Volkerfactor (zonder onzekerheid)	43
4.9.2	Overschrijdingskans windsnelheid met Volkerfactor en met onzekerheid	44
4.10	Deelen (16 richtingen)	46
4.10.1	Richtingskansen Deelen	46
4.10.2	Overschrijdingskans windsnelheid zonder onzekerheid.....	46
4.10.3	Overschrijdingskans windsnelheid met onzekerheid	46
4.11	Zeewaterstand Maasmond.....	48
4.11.1	12-uurskansen Maasmond, zichtjaar 1985, zonder onzekerheid	48
4.11.2	Omgaan met onzekerheid in 12-uurskansen Maasmond, zichtjaar 1985.....	50
5	Conclusies en nieuwe invoerbestanden	53
5.1	Conclusies.....	53
5.2	Nieuwe invoerbestanden	53
6	Referenties	55
	Bijlage A: Overschrijdingskansen afvoeren met onzekerheid	57
	Bijlage B: Overschrijdingskansen meerpeilen met onzekerheid.....	63

Lijst van tabellen

Tabel 2-1	Informatie over de modellering van de onzekerheid.....	10
Tabel 3-1	Gegevens IJsselmeer. Bron: Tabel 5.14 uit [Chbab, 2015].	22
Tabel 4-1	Inhoud van bestand "Ovkans_Olst_piekafvoer_2017.txt". Zonder onzekerheid.	26
Tabel 4-2	Gegevens voor verwerken onzekerheid Olst. Model: additief/normaal.	27
Tabel 4-3	Inhoud van bestand "Ovkans_Olst_piekafvoer_2017_metOnzHeid.txt".	27
Tabel 4-4	Inhoud van bestand "Topduur_Olst_2017.txt".	28
Tabel 4-5	Inhoud van bestand "Ovkans_Dalfsen_piekafvoer_2017.txt". Zonder onzekerheid. N.B. Zelfde als HR2006.	28
Tabel 4-6	Gegevens voor verwerken onzekerheid Dalfsen. Model: additief/normaal met bovengrens 800 m ³ /s.	29
Tabel 4-7	Inhoud van bestand "Topduur_Dalfsen_2017.txt".	30
Tabel 4-8	Inhoud van bestand "Ovkans_Lobith_piekafvoer_2017.txt". Zonder onzekerheid.	31
Tabel 4-9	Gegevens voor verwerken onzekerheid Lobith. Model: additief/normaal.	32
Tabel 4-10	Inhoud van bestand "Topduur_Lobith_2017.txt".	33
Tabel 4-11	Inhoud van bestand "Ovkans_Borgharen_piekafvoer_2017.txt". Zonder onzekerheid.	33
Tabel 4-12	Gegevens voor verwerken onzekerheid Borgharen. Model: additief/normaal.	34
Tabel 4-13	Inhoud van bestand "Topduur_Borgharen_2017.txt".	35
Tabel 4-14	Inhoud van bestand "Ovkans_Lith_piekafvoer_2017.txt". Zonder onzekerheid.....	35
Tabel 4-15	Gegevens voor verwerken onzekerheid Lith. Model: additief/normaal.	36
Tabel 4-16	Inhoud van bestand "Topduur_Lith_2017.txt".	37
Tabel 4-17	Inhoud van bestand "Ovkans_IJsselmeer_piekafvoer_2017.txt". Zonder onzekerheid.	37
Tabel 4-18	Gegevens voor verwerken onzekerheid IJsselmeer. Model: additief/lognormaal.	38
Tabel 4-19	Inhoud van bestand "Topduur_IJsselmeer_2017.txt".	38
Tabel 4-20	Inhoud van bestand "Ovkans_Markermeer_piekafvoer_2017.txt". Zonder onzekerheid.	39
Tabel 4-21	Gegevens voor verwerken onzekerheid Markermeer. Model: additief/lognormaal.	39
Tabel 4-22	Inhoud van bestand "Topduur_Markermeer_2017.txt".	40
Tabel 4-23	Inhoud van bestand "Richtingskansen_Schiphol_2017.txt".	41
Tabel 4-24	Inhoud van bestand "Richtingskansen_Deelen_2017.txt".	46
Tabel 4-25	Conditionele overschrijdingskansen voor Maasmond 1985, voor 12-uursperiodes (eerste deel).	49
Tabel 4-26	Conditionele overschrijdingskansen voor Maasmond 1985, voor 12-uursperiodes (vervolg).....	50
Tabel 4-27	Gegevens voor verwerken onzekerheid zeewaterstand Maasmond. Model: additief/normaal.	51
Tabel 5-1	Lijst met nieuwe invoerbestanden voor afvoeren.....	53
Tabel 5-2	Lijst met nieuwe invoerbestanden voor meerpeilen.	54
Tabel 5-3	Lijst met nieuwe invoerbestanden voor wind.	54
	Inhoud van bestand "Ovkans_Olst_piekafvoer_2017_metOnzHeid.txt".	57
	Inhoud van bestand "Ovkans_Lobith_piekafvoer_2017_metOnzHeid.txt".	59
	Inhoud van bestand "Ovkans_Borgharen_piekafvoer_2017_metOnzHeid.txt".	60
	Inhoud van bestand "Ovkans_Lith_piekafvoer_2017_metOnzHeid.txt".	61
	Inhoud van bestand "Ovkans_IJsselmeer_piekmeerpeil_2017_metOnzHeid.txt".	63
	Inhoud van bestand "Ovkans_Markermeer_piekmeerpeil_2017_metOnzHeid.txt".	64

Lijst van figuren

Figuur 3-1	Illustratie van de begrenzing door de waarde 0.....	17
Figuur 3-2	Weergave kansdichtheid $\hat{f}(y x)$ uit (3.15): ter plaatse van $y = -x$ bevindt zich een oneindig hoge 'spijker' met kansinhoud p_x (die gelijk is aan het gearceerde oppervlakje uit figuur 3-1).	17
Figuur 3-3	Cumulatieve kansverdelingen van de stochasten Y en W voor de situatie dat Y normaal is verdeeld met gemiddelde 1 en standaardafwijking 0.8.....	19
Figuur 3-4	Schetsmatige weergave lognormale verdeling (zonder locatieparameter).	21
Figuur 3-5	Schetsmatige weergave lognormale verdeling met locatieparameter ε	22
Figuur 3-6	Toelichting op de modellering van de onzekerheid voor het IJsselmeer d.m.v. een lognormale verdeling.	23
Figuur 4-1	Resultaten onzekerheid Olst.	27
Figuur 4-2	Resultaten onzekerheid Dalfsen, met bovengrens 800 m ³ /s.....	29
Figuur 4-3	Resultaten onzekerheid Dalfsen, met fictieve bovengrens 450 m ³ /s.....	30
Figuur 4-4	Resultaten onzekerheid Lobith.	32
Figuur 4-5	Resultaten onzekerheid Borgharen.	34
Figuur 4-6	Resultaten onzekerheid Lith.	36
Figuur 4-7	Resultaten onzekerheid IJsselmeer.....	38
Figuur 4-8	Resultaten onzekerheid Markermeer.....	40
Figuur 4-9	Resultaten windstatistiek Schiphol $r = 270^\circ$ (W).	42
Figuur 4-10	Resultaten windstatistiek Schiphol $r = 270^\circ$ in termen van terugkeertijden.	43
Figuur 4-11	Effect van de Volkerfactor voor richting W (270°).....	44
Figuur 4-12	Overschrijdingskans inclusief Volkerfactor, met en zonder onzekerheid voor richting W (270°).	45
Figuur 4-13	Resultaten windstatistiek Deelen, richting 270°	47
Figuur 4-14	Resultaten windstatistiek Deelen in termen van de terugkeertijd, richting 270°	47
Figuur 4-15	Resultaten onzekerheid Maasmond 1985, richting W (270°).	51
Figuur 4-16	Resultaten onzekerheid Maasmond 1985, richting NW (315°).	52
Figuur 4-17	Resultaten onzekerheid Maasmond 1985, omnidirectionele verdeling.....	52

1 Inleiding

1.1 Achtergronden

Voor het WTI2017 dient in Hydra-NL gebruik te worden gemaakt van uitgeïntegreerde verdelingen van de statistische onzekerheid voor de basisstochasten afvoer, meerpeilen, zee-waterstand Maasmond en de wind te Schiphol en Deelen. Bij de aanvang van dit project was niet goed duidelijk wat de benodigde gegevens zijn en wat de precieze methode is om het uitintegreren uit te voeren. Transparantie/reproduceerbaarheid vormt echter een cruciale kwaliteitseis voor de WTI2017. Daarbij zijn op korte termijn definitieve en betrouwbare gegevens nodig voor verschil- en consequentieanalyses.

Bovenstaande leidt tot de volgende vragen. Ten eerste, wat is de juiste invoer voor elk van de basisstochasten en ten tweede, hoe moet dit uitintegreren plaatsvinden?

Gedurende het project is (in concept) het rapport *Basisstochasten WTI-2017. Statistiek en statistische onzekerheid* [Chbab, 2015] beschikbaar gekomen. Aan de hand van dit rapport bleken de onduidelijkheden te kunnen worden opgehelderd (zie echter ook paragraaf 1.4).

1.2 Doel

Dit rapport beschrijft hoe voor de basisstochasten uit Hydra-NL statistische onzekerheden moeten worden "uitgeïntegreerd". Hiermee wordt bedoeld dat de onzekerheid niet als aparte stochast in een probabilistisch model wordt meegenomen, maar dat de onzekerheidsbron van te voren wordt verwerkt in de statistiek die invoer is voor een probabilistisch model. De volgende basisstochasten komen aan de orde, voor zowel de situatie *zonder* statistische onzekerheden als die *met* statistische onzekerheden:

- Afvoeren:
 - Lobith
 - Olst
 - Borgharen
 - Lith
 - Dalfsen
- Meerpeilen:
 - IJsselmeer
 - Markermeer
- Zeewaterstand:
 - Maasmond
- Windsnelheden:
 - Schiphol (met en zonder Volkerfactor)
 - Deelen

Het rapport beschrijft gedetailleerd hoe de invoerbestanden voor Hydra-NL zijn bepaald, die tevens digitaal beschikbaar worden gesteld.

1.3 Update februari 2016

Een eerste versie van dit rapport is gereedgekomen in december 2015 [Geerse, 2015]. Daarin is aangegeven hoe door Deltares, zie [Chbab, 2015], windstatistiek voor Schiphol en Deelen is bepaald in termen van 22.5°-sectoren. Dat werd gedaan door reeds beschikbare statistiek uit [Caires, 2009] voor 30°-sectoren op een bepaalde manier om te rekenen naar 22.5°-sectoren.

De gebruikte omrekening verschilt echter van die uit eerdere literatuur (zoals [Geerse et al, 2002; Geerse en Verkaik, 2010]). Als gevolg daarvan worden ons inziens de afgeleide windsnelheden voor de westelijke richtingen met circa 0.5 m/s overschat. Aangezien deze richtingen relatief vaak maatgevend zijn, werd in [Geerse, 2015] aanbevolen die windstatistiek te herzien, en daarbij de omrekening te gebruiken uit de genoemde eerdere literatuur.

De nieuwe windstatistiek in termen van 22.5°-sectoren is voor Schiphol en Deelen afgeleid in het memo [Wojciechowska, 2016], waarbij voor Schiphol een versie met en zonder Volkerfactor is afgeleid. De resultaten uit dit memo zijn opgenomen in het voorliggende rapport, dat een update vormt van de eerdere versie uit december 2015, zie [Geerse, 2015]. Van de eerdere versie zijn alleen de paragrafen 4.8 t/m 4.10 (betreft resultaten) en paragraaf 5.1 (betreft conclusies en aanbevelingen) gewijzigd.

1.4 Afbakening

De volgende onderdelen behoren niet tot de scope van dit rapport:

- De basisstochasten voor de zoute wateren worden in dit rapport niet behandeld, met uitzondering van de zeewaterstand voor Maasmond, aangezien de statistiek van deze locatie relevant is voor het benedenrivierengebied. Maar zaken als waterstanden langs de gehele kust en seiches voor het Europoortgebied komen dus niet aan de orde.
- Golven worden in dit rapport niet behandeld. In het bijzonder wordt geen golfstatistiek voor de zoute wateren beschouwd.

Dit rapport is bedoeld voor mensen met achtergrondkennis van Hydra-NL en Hydra-Ring. Daarbij is in hoofdstuk 3 wiskundige kennis vereist voor een goed begrip van het uitintegreren van de statistische onzekerheid. Het rapport beschrijft niet voor welke regio's welke statistiek moet worden toegepast; daarvoor wordt verwezen naar de beschikbare literatuur, in het bijzonder [Chbab, 2015].

Wat de status van het rapport betreft het volgende. In het bepalen van de invoer met en zonder onzekerheid is gebruik gemaakt van [Chbab, 2015]. Dat betreft echter een rapport in *conceptversie*, zodat de inhoud daarvan nog niet definitief is vastgesteld. Daarnaast waren enkele zaken (zoals topduren en de details van het begrenzen van de afvoer te Dalfsen) op het moment van de werkzaamheden nog niet geheel duidelijk. Het voorliggende rapport geeft daarmee naar beste weten de stand van zaken weer van dit moment (februari 2016).

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 behandelt de onzekerheidsformuleringen die in Hydra-Ring worden gebruikt voor het verwerken van de statistische onzekerheid in de basisstochasten afvoer, meerpeil, wind en zeewaterstand. In hoofdstuk 3 worden formules gegeven waarmee overschrijdingsfrequenties en -kansen kunnen worden bepaald. In hoofdstuk 4 wordt de invoer beschreven die voor deze basisstochasten nodig is in Hydra-NL, waarbij zowel de invoer zonder als die met onzekerheden aan de orde komt. Hoofdstuk 5 geeft de conclusies, waarbij ook de gemaakte invoerbestanden worden opgesomd. Het rapport besluit met de referenties (hoofdstuk 6) en met twee bijlagen die voor afvoeren en meerpeilen de invoerbestanden inclusief statistische onzekerheid geven. Gezien de omvang van de overige tabellen worden deze hier verder niet weergegeven.

2 Onzekerheidsformulering in Hydra-Ring

In dit hoofdstuk worden de formuleringen uit Hydra-Ring beschreven die gelden voor de statistische onzekerheden voor de volgende (basis)stochasten:

1. Afvoer
2. Meerpeil (IJssel- of Markermeer)
3. Zeewaterstand
4. Windsnelheid

De informatie uit dit hoofdstuk is grotendeels ontleend aan het rapport "Uncertainties in hydraulic load models" [Deltares, 2015].

2.1 Generieke modelleringen in Hydra-Ring

Beschouw de volgende stochasten:

- X = basisstochast zonder onzekerheid daarin verwerkt
- Y = stochast die onzekerheid representeert
- V = basisstochast met daarin onzekerheid verwerkt

In Hydra-Ring worden vier generieke modelleringen gebruikt om de onzekerheid te beschrijven:

Model 1: additief model

De onzekerheid Y wordt opgeteld bij de basisstochast X zonder onzekerheid:

$$V = X + Y \quad (2.1)$$

Model 2: multiplicatief model

De onzekerheid Y wordt vermenigvuldigd met de basisstochast X zonder onzekerheid:

$$V = X Y \quad (2.2)$$

Model 3: additief model met begrenzing (*truncation*)

Beschouw een basisstochast X met waarden $x \geq 0$. De onzekerheid Y wordt opgeteld bij de basisstochast X zonder onzekerheid, maar negatieve waarden voor de som worden op 0 gesteld:

$$V = \max(0, X + Y) \quad (2.3)$$

Recent is duidelijk geworden dat nog een variant van dit model nodig is, waarbij de onzekerheid in het additieve model begrensd is door een bovengrens (dat is het geval voor de Vecht, waarbij een bovengrens van 800 m³/s gehanteerd zal worden [Chbab, 2015]). In dat geval volgt, met de bovengrens aangeduid als κ :

$$V = \min(\kappa, X + Y) \quad (2.4)$$

In dit geval wordt tevens aangenomen dat de basisstochast X eveneens is gemaximeerd op de waarde κ .¹

Model 4: multiplicatief model met begrenzing (*truncation*)

De onzekerheid Y wordt vermenigvuldigd met de basisstochast X zonder onzekerheid, maar negatieve waarden voor het product worden op 0 gesteld:

$$V = \max(0, X Y) \quad (2.5)$$

Voor Y zijn in Hydra-Ring enkele analytische kansverdelingen beschikbaar, o.m. de normale en de lognormale verdeling. Een beschouwde kansverdeling wordt gekarakteriseerd door enkele verdelingsparameters. Voor bijvoorbeeld de normale verdeling zijn dat het gemiddelde μ en de standaarddeviatie σ . Afhankelijk van de context, kunnen zulke parameters wel of niet afhangen van een beschouwde realisatie $X = x$.

2.2 Modelkeuzes per basisstochast

In Hydra-Ring worden – voor zover op dit moment bekend – de keuzes gemaakt zoals weergegeven in Tabel 2-1 [Chbab, 2015]. De normale verdeling heeft daarbij twee parameters, het gemiddelde μ en de standaarddeviatie σ . De lognormale verdeling heeft drie parameters, het gemiddelde μ_L , de standaarddeviatie σ_L en een locatieparameter ε_L ; deze parameters hebben betrekking op de lognormale verdeling zelf, en niet op de hiermee geassocieerde normale verdeling (voor meer hierover, zie paragraaf 3.6).

	Onzekerheidsmodel	Kenmerken verdeling Y	
		Type verdeling	Aard modelparameters
Afvoer			
Lobith	additief	normaal	variabel
Olst	additief	normaal	variabel
Borgharen	additief	normaal	variabel
Lith	additief	normaal	variabel
Dalfsen	additief met bovengrens	lognormaal met loc. par.	variabel
Meerpeil			
IJsselmeerpeil	additief	lognormaal met loc. par.	variabel
Markermeerpeil	additief	lognormaal met loc. par.	variabel
Zeewaterstand			
Maasmond	additief	normaal	variabel
Windsnelheid			
Schiphol	multiplicatief	normaal	constant
Schiphol met Volkerfactor	multiplicatief	normaal	constant
Deelen	multiplicatief	normaal	constant

Tabel 2-1 Informatie over de modellering van de onzekerheid.

In het overzicht uit Tabel 2-1 komen geen modellen voor met ondergrens 0. Strikt genomen zouden echter voor afvoeren en windsnelheden de modellen met ondergrens 0 moeten worden gebruikt. In de toepassingen blijkt de kans dat bij verwerken van de onzekerheid negatieve

¹ Strikt genomen zouden we dan moeten schrijven: $V = \min(\kappa, \min(\kappa, X) + Y)$, maar dat wordt hier achterwege gelaten. Zie voor de precieze aannames en formules paragraaf 3.4.2.

afvoeren en windsnelheden voorkomen echter verwaarloosbaar klein, zodat de modellen ook zonder deze begrenzing gebruikt kunnen worden.

3 Formules voor uitintegreren

In dit hoofdstuk worden de formules gegeven voor het uitintegreren voor het additieve en het multiplicatieve model; de toepassingen komen aan de orde in hoofdstuk 4.

3.1 Algemene opmerkingen

Het is gewenst de kansverdeling uit te rekenen van de stochast V inclusief onzekerheid. Dit hoofdstuk geeft de wiskundige formules.

Opmerking over gemiddelde van stochast Y

In de regel wordt de verdeling Y voor de additieve modellen 1 en 3 zó gekozen dat het gemiddelde $E(Y|X=x)$ van de verdeling gelijk is aan 0. De aanname is dan dat er geen systematische fout aanwezig is in de kansverdeling van Y . Om soortgelijke redenen wordt voor de multiplicatieve modellen 2 en 4 aangenomen dat het gemiddelde $E(Y|X=x)$ gelijk is aan 1. In het vervolg wordt echter de mogelijkheid opengelaten dat $E(Y|X=x)$ voor de additieve modellen afwijkt van 0 en voor de multiplicatieve van 1. Deze generieke formulering maakt het mogelijk om systematische fouten (bias) in de verwerking van de onzekerheid te compenseren.

3.2 Model 1 (additief zonder begrenzing)

Ga uit van de situatie volgens formule (2.1), waarbij de parameters van de verdeling van Y afhangen van realisaties $X = x$ (dat is de meest algemene situatie). Het doel is nu de kansverdeling uit te rekenen van $V = X + Y$. Daarvoor is de gezamenlijke kansdichtheid $f(x,y)$ nodig van X en Y . Hiervoor kan worden geschreven:

$$f(x,y) = f(x)f(y|x) \quad (3.1)$$

waarbij $f(y|x)$ de conditionele kansdichtheid van de onzekerheid aangeeft, gegeven een realisatie $X = x$. Als bijvoorbeeld Y een normale verdeling volgt, met parameters μ en σ , betekent dit dat σ afhangt van x , oftewel $\sigma = \sigma(x)$. Als de onzekerheid gemiddeld nul is, moet μ gelijk zijn 0.

Voor de overschrijdingskans van $V = X+Y$ kan nu worden geschreven:

$$\begin{aligned} P(V > v) &= P(X + Y > v) \\ &= \int dx f(x) P(x + Y > v | X = x) \\ &= \int dx f(x) P(Y > v - x | X = x) \\ &= \int dx f(x) [1 - F_{Y|X=x}(v - x)] \end{aligned} \quad (3.2)$$

waarbij in het laatste lid $F_{Y|X=x}(t)$ de cumulatieve verdelingsfunctie weergeeft van Y , gegeven $X=x$. Die wordt gegeven door:

$$F_{Y|X=x}(w) = \int_{-\infty}^w dy f(y|x) \quad (3.3)$$

In toepassingen is dit gewoonlijk een normale of lognormale verdeling, waarvan één of meerdere verdelingsparameters afhangen van x .

De integraal uit (3.2) kan vrij eenvoudig benaderd worden met numerieke integratie (NI). Discretiseer daartoe de uitkomsten x , uitgaande van een stapgrootte Δx , als volgt:

$$x_i = x_{\min} + (i-1)\Delta x, \quad i = 1, \dots, n \quad (3.4)$$

De integraal uit (3.2) kan dan, mits Δx voldoende klein gekozen is, als volgt worden benaderd:

$$P(V > v) = \sum_{i=1}^n f(x_i) \Delta x \left[1 - F_{Y|X=x_i}(v - x_i) \right] \quad (3.5)$$

Deze numerieke berekening is eenvoudig uit te voeren. In toepassingen is de kansverdeling van X vaak gegeven door een tabel met overschrijdingskansen, maar soms door een analytische formulering.

3.3 Model 2 (multiplicatief zonder begrenzing)

3.3.1 Situatie met variabele verdelingsparameters voor Y

Beschouw nu de situatie waarin $V = X \cdot Y$. Analoog aan de berekening van (3.2) kan dan worden geschreven:

$$\begin{aligned} P(V > v) &= P(XY > v) \\ &= \int dx f(x) P(XY > v | X = x) \\ &= \int dx f(x) P(Y > v/x | X = x) \\ &= \int dx f(x) \left[1 - F_{Y|X=x}(v/x) \right] \end{aligned} \quad (3.6)$$

Met x gediscretiseerd als hiervoor, kan deze integraal numeriek worden berekend op soortgelijke wijze als in (3.5):

$$P(V > v) = \sum_{i=1}^n f(x_i) \Delta x \left[1 - F_{Y|X=x_i}(v/x_i) \right] \quad (3.7)$$

Daarbij dient er wel voor te worden gezorgd dat de laagste waarde van x (dat is $x_1 = x_{\min}$) groter is dan 0.

N.B. Het model zonder begrenzing bij de waarde 0 veronderstelt dat $P(X < 0)$ een verwaarloosbaar kleine kans betreft. Als $P(X < 0)$ niet verwaarloosbaar klein is, mag het model zonder begrenzing niet worden toegepast.

3.3.2 Situatie met constante verdelingsparameters voor Y

In de situatie dat de verdelingsparameters van Y niet afhangen van $X = x$, kan de integraal uit (3.6) ook als volgt worden berekend:

$$\begin{aligned}
 P(V > v) &= P(XY > v) \\
 &= \int dy f(y)P(XY > v \mid Y = y) \\
 &= \int dy f(y)P(X > v/y \mid Y = y) \\
 &= \int dy f(y)[1 - F_X(v/y)]
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

Als nu y wordt gediscetiseerd i.p.v. x, volgt als benadering van deze integraal, mits Δy voldoende klein is:

$$P(V > v) = \sum_{i=1}^n f(y_i) \Delta y [1 - F_X(v/y_i)] \tag{3.9}$$

Het (geringe) voordeel van deze integraal boven die uit (3.7) is dat nu de uitkomsten y van een bekende analytische verdeling worden gediscetiseerd, en niet die van de (meestal) getabelleerde verdeling van X.

3.4 Model 3 (additief met begrenzing)

3.4.1 Situatie met begrenzing in nul

Beschouw een basisstochast X met waarden $x \geq 0$ en $V = \max(0, X + Y)$. Deze definitie van V houdt in dat negatieve waarden $x+y$ worden vervangen door de waarde 0. In het vervolg geven we eerst de formules voor $P(V=0)$ en $P(V>v)$ voor $v>0$. Daarna wordt een meetkundige beschrijving gegeven.

Berekening $P(V=0)$

Er geldt, op grond van de definitie $V = \max(0, X+Y)$:

$$\begin{aligned}
 P(V = 0) &= P(X + Y \leq 0) \\
 &= \int dx f(x)P(x + Y \leq 0 \mid X = x) \\
 &= \int dx f(x)P(Y \leq -x \mid X = x)
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

Berekening $P(V>v)$, $v \geq 0$

Voor deze kans volgt, aangezien voor $v \geq 0$ de verzameling $\{\max(X+Y, 0) > v\}$ samenvalt met $\{X+Y > v\}$:

$$\begin{aligned}
P(V > v) &= P(\max(X + Y, 0) > v) \\
&= P(X + Y > v) \\
&= \int dx f(x) P(x + Y > v \mid X = x) \\
&= \int dx f(x) P(Y > v - x \mid X = x)
\end{aligned} \tag{3.11}$$

De formules voor de situatie met een begrenzing in 0 zijn dus betrekkelijk eenvoudig. Voor $v > 0$ wordt 'gewoon' de formule zonder begrenzing gevonden (zie formule (3.2) uit paragraaf 3.2). Alleen voor waarden $v \leq 0$ verschillen de formules van beide modellen. Merk verder op dat voor $v = 0$ uit (3.10) en (3.11) volgt:

$$P(V = 0) + P(V > v) = 1 \tag{3.12}$$

zoals het geval moet zijn aangezien negatieve waarden van V niet kunnen voorkomen.

Het is illustratief om de situatie met begrenzing, waarvoor $V = \max(0, X + Y)$, meetkundig te duiden, waarbij bekendheid met de (Dirac-)delta functie wordt verondersteld. Schrijf daartoe eerst de gezamenlijke kansdichtheid van x en y in de vorm:

$$f(x, y) = f(x)f(y \mid x) \tag{3.13}$$

Figuur 3-1 geeft als toelichting de conditionele verdeling $f(y \mid x)$ voor de waarden x en x_0 . Tevens is bij de waarde x_0 een waarde y_0 weergegeven, alsmede de som $x_0 + y_0$. Voor x is te zien dat voor meerdere y -waarden de som $x + y$ kleiner dan 0 wordt. In dat geval wordt $x + y$ vervangen door de waarde 0. De waarde 0 krijgt, gegeven $X = x$, dan een kans toegekend die gelijk is aan de grootte van het gearceerde oppervlak, dat in het vervolg wordt aangeduid als p_x . Dat oppervlak correspondeert met y -waarden waarvoor $x + y < 0$, wat betekent dat p_x wordt gegeven door:

$$p_x = P(Y < -x \mid x) \tag{3.14}$$

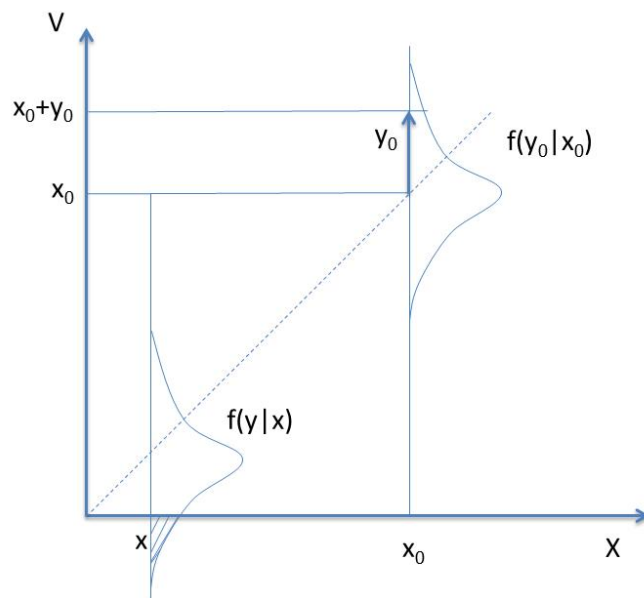
Wiskundig betekent dit dat de conditionele verdeling (voor alle x) wordt vervangen door de volgende grootheid (zie Figuur 3-2), waarin de (Dirac-)delta functie voorkomt:²

$$\tilde{f}(y \mid x) = \chi_{\{y > -x\}}(y)f(y \mid x) + p_x \delta(y + x) \tag{3.15}$$

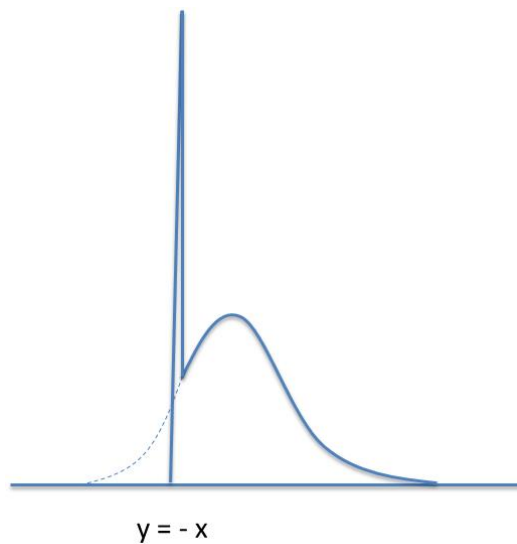
De karakteristieke functie χ wordt gegeven door:

$$\chi_{\{y > -x\}}(y) = \begin{cases} 1 & \text{als } y > -x \\ 0 & \text{als } y \leq -x \end{cases} \tag{3.16}$$

Hierin is de oorspronkelijke $f(y \mid x)$ dus wordt vervangen door een kansdichtheid met een δ -term ter plaatse van $y = -x$ (zie Figuur 3-2).



Figuur 3-1 Illustratie van de begrenzing door de waarde 0.



Figuur 3-2 Weergave kansdichtheid $\hat{f}(y|x)$ uit (3.15): ter plaatse van $y = -x$ bevindt zich een oneindig hoge 'spijker' met kansinhoud p_x (die gelijk is aan het gearceerde oppervlakje uit figuur 3-1).

De kansen $P(V=0)$ en $P(V>v)$ uit formules (3.10) en (3.11) zijn ook uit te rekenen in termen van $f(x)$ en $\hat{f}(y|x)$ uit formule (3.15), maar die berekening wordt hier achterwege gelaten.

3.4.2 Situatie met bovengrens voor X en V

In de berekeningen voor de marginale statistiek inclusief onzekerheden doet zich soms de situatie voor met een begrenzing door een bovengrens. Dat is het geval voor Dalfsen, waarvoor een bovengrens wordt gehanteerd van 800 m³/s [Chbab, 2015]. Die bovengrens wordt dan niet alleen gebruikt voor de afvoer zonder onzekerheid (hier aangeduid als X), maar ook voor de afvoer inclusief onzekerheid (hier aangeduid als V).

N.B. Het is ook mogelijk een bovengrens te hanteren voor alleen X terwijl die *niet* geldt voor V , maar die situatie wordt (op dit moment) in Hydra-NL/Ring niet beschouwd; vandaar dat die situatie achterwege wordt gelaten.

De setting is dus als volgt. Beschouw stochasten X en Y zoals in de voorgaande paragraaf en voor een positief getal κ , de stochasten $\bar{X} = \min(\kappa, X)$ en $V = \min(\kappa, \bar{X} + Y)$. De kansdichtheid van \bar{X} wordt dan, analoog aan formule (3.15), gegeven door:

$$\bar{f}(x) = \chi_{\{x < \kappa\}}(x)f(x) + P(X > \kappa)\delta(x - \kappa) \quad (3.17)$$

Beschouw nu een waarde $v \leq \kappa$. In dat geval volgt, zie voor de tweede stap ook de afleiding van (3.11):

$$\begin{aligned} P(V < v) &= P(\min(X + Y, \kappa) < v) \\ &= P(X + Y < v) \\ &= \int dx \hat{f}(x)P(x + Y < v | X = x) \\ &= \int_{-\infty}^{\kappa} dx f(x)P(Y < v - x | X = x) + P(X > \kappa)P(Y < v - \kappa | X = \kappa) \end{aligned} \quad (3.18)$$

Omdat V geen waarden groter dan κ kan aannemen, moet verder gelden:

$$P(V = \kappa) = 1 - P(V < \kappa) \quad (3.19)$$

3.5 Model 4 (multiplicatief met begrenzing in nul)

Beschouw nu de situatie waarin $V = \max(0, XY)$ en X een stochast is met een continue kansdichtheid waarvoor $X \geq 0$.³ We merken op dat dan de volgende relatie geldt:

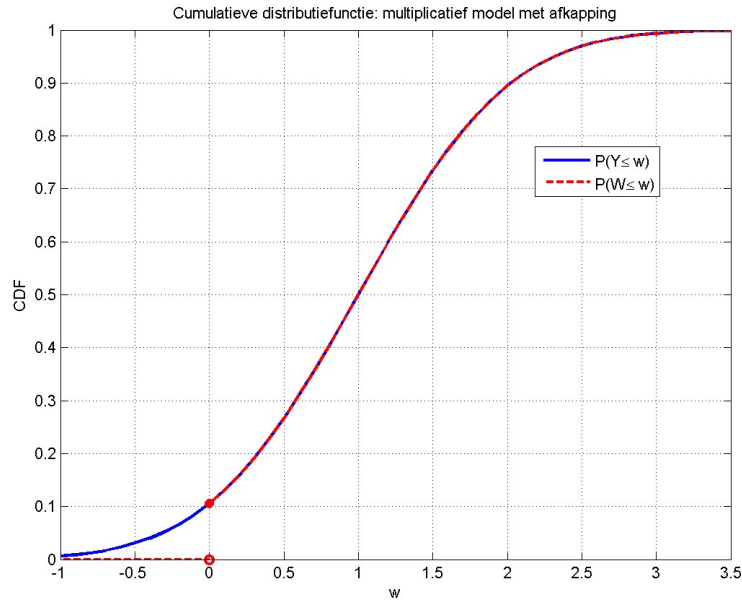
$$V = \max(0, XY) = X \max(0, Y) \quad (3.20)$$

We nemen nu aan dat $W = \max(0, Y)$ en dus $V = XW$. De cumulatieve kansverdeling van de stochast W wordt als volgt beschreven:

$$F_W(w) = P(W \leq w) = \begin{cases} 0 & \text{als } w < 0 \\ F_Y(w) = P(Y \leq w) & \text{als } w \geq 0 \end{cases} \quad (3.21)$$

Figuur 3-3 geeft als voorbeeld de cumulatieve kansverdelingen van de stochasten Y en W onder de aannames dat Y normaal is verdeeld met gemiddelde 1 en standaardafwijking 0.8.

³ In de situatie dat X negatieve waarden kan aannemen lijkt toepassing van het multiplicatieve model niet relevant, vandaar dat hier X groter of gelijk 0 wordt verondersteld. Het feit dat X een continue kansdichtheid heeft, houdt in dat de kans $P(X=0)$ gelijk is aan 0, wat strikt genomen hierna in de afleiding wordt gebruikt.



Figuur 3-3 Cumulatieve kansverdelingen van de stochasten Y en W voor de situatie dat Y normaal is verdeeld met gemiddelde 1 en standaardafwijking 0.8.

In dit geval kan voor $P(V > v)$, met $v > 0$, worden afgeleid:

$$\begin{aligned}
 P(V > v) &= P(XW > v) \\
 &= \int_0^{\infty} dx f(x) P(XW > v \mid X = x) \\
 &= \int_0^{\infty} dx f(x) P(W > v/x \mid X = x) \\
 &= \int_0^{\infty} dx f(x) [1 - F_{W|X=x}(v/x)]
 \end{aligned} \tag{3.22}$$

In termen van Y i.p.v. W volgt in dit geval, voor $v > 0$,

$$\begin{aligned}
 P(V > v) &= \int_0^{\infty} dx f(x) [1 - F_{Y|X=x}(v/x)] \\
 &= \int_0^{\infty} dx f(x) P(Y > v/x \mid X = x)
 \end{aligned} \tag{3.23}$$

Voor $P(V > 0)$ volgt, direct uit (3.20):

$$P(V > 0) = P(Y > 0) = \int_0^{\infty} dx f(x) P(Y > 0 \mid X = x) \tag{3.24}$$

waaruit blijkt dat formule (3.22) ook geldig is voor $v = 0$.

Tot slot geldt voor de kans $P(V=0)$, vanwege (3.19):

$$P(V=0) = P(Y < 0) = \int_0^{\infty} dx f(x) P(Y < 0 | X = x) \quad (3.25)$$

Merk op dat uit (3.24) en (3.25) volgt dat $P(V=0) + P(V>0) = 1$, zoals het geval moet zijn omdat V geen strikt negatieve waarden kan aannemen.

3.6 Uitleg lognormale verdeling

Voor de verdeling van Y wordt vaak een normale of een lognormale verdeling genomen. De normale verdeling is zeer bekend en eenvoudig toe te passen. In het vervolg wordt uitleg gegeven over de (iets minder bekende) lognormale verdeling. Daarbij wordt eerst de gebruikelijke lognormale verdeling (die positieve waarden aanneemt) behandeld, inclusief de gebruikelijke notatie daarvoor en vervolgens de verschoven lognormale verdeling.

N.B. De uitleg betreft feitelijk standaardzaken en wordt alleen gegeven als achtergrond bij het uitintegreren van basisstochasten. Tot slot wordt ter illustratie aangegeven hoe de lognormale verdeling wordt gebruikt om de frequentielijn voor het IJsselmeerpeil uit te integreren.

3.6.1 Gebruikelijke lognormale verdeling

Een stochast W heeft de lognormale verdeling als $\ln(W)$ een normale verdeling volgt. Wat de notatie betreft het volgende. De schrijfwijze $W \sim \ln N(\mu, \sigma)$ houdt in dat W een lognormale verdeling volgt, waarbij voor de parameters μ en σ geldt:

$$\begin{aligned} \mu &= E(\ln(W)) \\ \sigma^2 &= Var(\ln(W)) \end{aligned} \quad (3.26)$$

waarbij "Var" in de laatste uitdrukking staat voor de variantie van de beschouwde verdeling. Merk op dat μ en σ dus slaan op de parameters van de met W geassocieerde *normale* verdeling en niet op die van W zelf. Voor de verwachtingswaarden μ_W en de variantie σ_W^2 van de verdeling van W geldt:

$$\begin{aligned} \mu_W &= E(W) = e^{\mu + \sigma^2/2} \\ \sigma_W^2 &= Var(W) = (e^{\sigma^2} - 1) e^{2\mu + \sigma^2} \end{aligned} \quad (3.27)$$

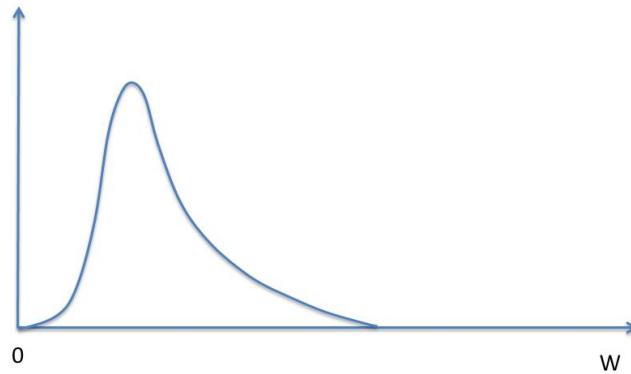
Als $W \sim \ln N(\mu, \sigma)$ geldt op grond van het voorgaande:

$$P(W < w) = \Phi\left(\frac{\ln(w) - \mu}{\sigma}\right) \quad (3.28)$$

waarbij Φ de (cumulatieve) verdelingsfunctie geeft van de standaardnormale verdeling. Door differentiatie van (3.28) naar w volgt dan voor de kansdichtheidsfunctie $f_W(w)$ van W :

$$f_W(w) = \frac{1}{w \sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{\ln(w) - \mu}{2\sigma^2}\right\}, w > 0 \quad (3.29)$$

De verdeling is rechtsscheef, zoals schematisch weergegeven in Figuur 3-4.



Figuur 3-4 Schematische weergave lognormale verdeling (zonder locatieparameter).

In toepassingen is het soms nodig om bij gegeven waarden μ_W en σ_W uit (3.27) de parameters μ en σ van de corresponderende normale verdeling te berekenen. Door het omschrijven van (3.27) volgt:

$$\begin{aligned}\mu &= \ln(\mu_W) - \frac{1}{2} \ln\left(1 + \frac{\sigma_W^2}{\mu_W^2}\right) \\ \sigma^2 &= \ln\left(1 + \frac{\sigma_W^2}{\mu_W^2}\right)\end{aligned}\tag{3.30}$$

3.6.2 Vershoven lognormale verdeling

In toepassingen wordt de lognormale verdeling vaak met een verschuivingsparameter toegepast. Stel dat de kansdichtheid W uit de voorgaande paragraaf wordt verschoven over een afstand ε naar rechts (Figuur 3-5), waarbij we schrijven:

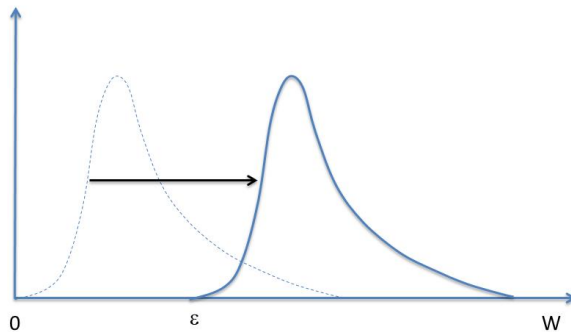
$$W' = W + \varepsilon\tag{3.31}$$

Dan is de kansdichtheid daarvan gelijk aan:

$$f_{W'}(w') = \frac{1}{(w' - \varepsilon) \sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{\ln(w' - \varepsilon) - \mu}{2\sigma^2}\right\}, \quad w' > \varepsilon\tag{3.32}$$

terwijl de generalisatie van (3.28) wordt gegeven door daarin w te vervangen door $w' - \varepsilon$. Het gemiddelde en de variantie van de verschoven verdeling worden dan:

$$\begin{aligned}E(W') &= E(W) + \varepsilon \\ Var(W') &= Var(W)\end{aligned}\tag{3.33}$$



Figuur 3-5 Schetsmatige weergave lognormale verdeling met locatieparameter ε .

3.6.3 Toepassing op het IJsselmeer

In [Chbab, 2015] wordt de frequentielijn voor het IJsselmeer beschreven, inclusief uitleg over de gebruikte onzekerheidsmodellering met een lognormale verdeling. De gegevens daarvoor staan in Tabel 3-1. In het volgende wordt, op basis van de beschrijving in [Chbab, 2015], toegelicht hoe deze gegevens worden gebruikt in de modellering van de onzekerheid.

Terugkeertijd	Meerpeil	Lognormale verdeling Y			Normale verdeling		Meerpeil
[jaar]	zonder onz.heid m+NAP	Gemiddelde m+NAP	Stand.dev. m+NAP	Epsilon m+NAP	Gemiddelde [-]	Sigma [-]	met onz.heid m+NAP
10	0.39	0	0.031	-0.79	-0.236	0.039	0.39
100	0.62	0	0.067	-1.02	0.018	0.066	0.63
1000	0.84	0	0.136	-1.24	0.209	0.110	0.89
10000	1.07	0	0.231	-1.47	0.373	0.156	1.20
100000	1.30	0	0.350	-1.70	0.510	0.204	1.59

Tabel 3-1 Gegevens IJsselmeer. Bron: Tabel 5.14 uit [Chbab, 2015].

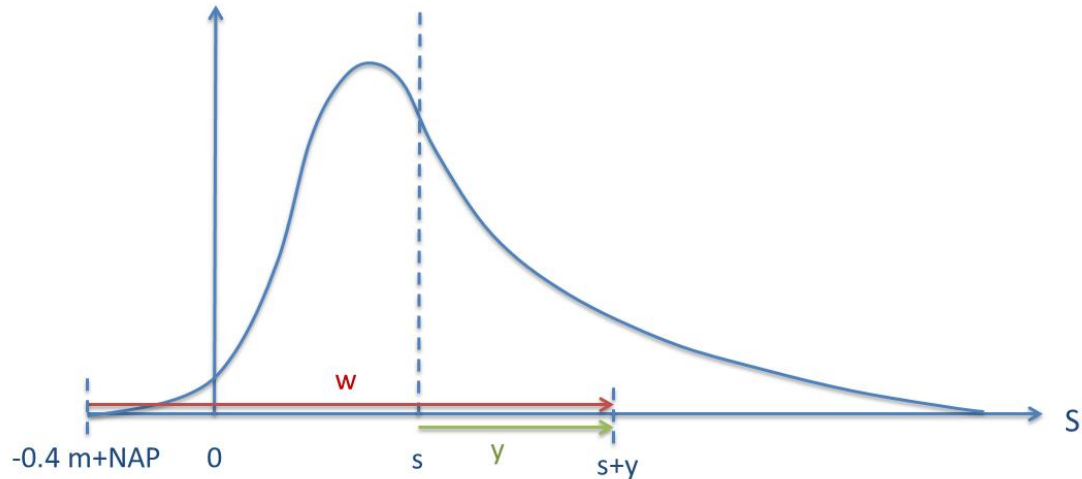
Het meerpeil betreft hier het *piekmeerpeil* (het maximum van een meerpeilgolf). In veel rapporten over het IJsselmeer wordt dit piekmeerpeil aangeduid door de stochast S. In het vervolg speelt S de rol van de beschouwde basisstochast X (dus we nemen $X = S$).

In [Chbab, 2015] wordt, om de onzekerheid van een beschouwd piekmeerpeil te modelleren, een lognormale verdeling voor de onzekerheid Y gebruikt, met de volgende uitgangspunten:

1. Gemiddeld is de onzekerheid rondom het beschouwde meerpeil gelijk aan nul.
2. Het beginpunt van de lognormale verdeling is (voor iedere beschouwde lognormale verdeling) altijd gelijk aan het streefpeil.

In de verdere uitleg wordt gebruik gemaakt van Figuur 3-6, waarin de symbolen de volgende betekenis hebben (zie ook Tabel 3-1 voor de aangehaalde voorbeelden):

- Een beschouwd piekmeerpeil s (bijvoorbeeld het meerpeil $s = 0.84$ m+NAP voor $T = 1000$ jaar, indien geen onzekerheid wordt beschouwd) vormt het gemiddelde van de in blauw aangegeven lognormale kansdichtheid.
- Het streefpeil van het IJsselmeer, namelijk -0.4 m+NAP, dat het 'beginpunt' vormt van de lognormale verdeling.
- De grootte van de onzekerheid y, die opgeteld bij s het meerpeil inclusief onzekerheid geeft, resulterend in $s+y$.
- De grootte w, die eveneens het meerpeil inclusief onzekerheid weergeeft, maar dan gerekend van het beginpunt van de lognormale verdeling.



Figuur 3-6 Toelichting op de modellering van de onzekerheid voor het IJsselmeer d.m.v. een lognormale verdeling.

Op grond van het voorgaande geldt voor het gemiddelde van de stochast Y :

$$\mu_Y = E(Y) = 0 \quad (3.34)$$

In [Chbab, 2015] wordt de volgende grootte geïntroduceerd:

$$\varepsilon_Y = -(s + 0.4) \quad (3.35)$$

zodat de stochast W kan worden geschreven als:

$$W = s + 0.4 + Y = Y - \varepsilon_Y \quad (3.36)$$

Omdat Y (bij aanname) een lognormale verdeling volgt, is dat ook het geval voor de verschoven stochast W . Het beginpunt van de verdeling van W ligt bij 0, zodat de formules uit paragraaf 3.6.1 van toepassing zijn. Vanwege (3.36) en (3.27) geldt dan voor het gemiddelde en de standaarddeviatie van W :

$$\begin{aligned} \mu_W &= -\varepsilon_Y \\ &= e^{\mu + \sigma^2 / 2} \\ \sigma_W^2 &= (e^{\sigma^2} - 1) e^{2\mu + \sigma^2} \end{aligned} \quad (3.37)$$

waarbij μ en σ hier het gemiddelde en de standaarddeviatie geven van de met W geassocieerde normale verdeling.

Uit uitdrukking (3.36) blijkt dat $Y = W + \varepsilon$, zodat de situatie van (3.31) geldt. Daaruit blijkt dat Y wordt verkregen uit W door deze over een afstand ε naar rechts te schuiven; omdat in de hier beschouwde toepassing $\varepsilon < 0$ is, betreft dat feitelijk een verschuiving *naar links* over de (positieve) afstand $|\varepsilon|$. Omdat een verschuiving van een verdeling de standaarddeviatie onveranderd laat, geldt $\sigma_Y = \sigma_W$.

De grootheden μ_Y , ε_Y zijn voor enkele meerpeilen vermeld in Tabel 3-1, samen met de standaarddeviatie σ_Y . Neem als voorbeeld het (piek)meerpeil $s = 0.84$ m+NAP voor $T = 1000$

jaar. Daarvoor geldt $\mu_Y = 0$, $\varepsilon_Y = -0.124$ en $\sigma_Y = 0.136$. Hieruit blijkt dat $-(s+0.4) = -0.124 = \varepsilon_Y$, zoals volgens (3.35) het geval moet zijn. Uit (3.37) en (3.30) volgt dan:

$$\begin{aligned}\mu &= \ln(-\varepsilon_Y) - \frac{1}{2} \ln\left(1 + \frac{\sigma_Y^2}{\varepsilon_Y^2}\right) \\ \sigma^2 &= \ln\left(1 + \frac{\sigma_Y^2}{\varepsilon_Y^2}\right)\end{aligned}\tag{3.38}$$

Toegepast op de waarden uit het voorbeeld levert dat $\mu = 0.110$ en $\sigma = 0.209$, wat in overeenstemming is met Tabel 3-1.

N.B. Deze tabel bevat ook de uitgeïntegreerde waarde voor $T = 1000$ jaar, die gelijk is aan 0.89 m+NAP. Dat meerpeil is in [Chbab, 2015] bepaald door gebruik te maken van het additieve onzekerheidsmodel zonder begrenzing. Dat model is in dit rapport beschreven in paragraaf 3.2. In paragraaf 4.6.2 van het voorliggende rapport worden (als controle) de resultaten uit [Chbab, 2015] gereproduceerd.

4 Nieuwe statistiek

In dit hoofdstuk wordt de invoer beschreven voor Hydra-NL. De gegevens zijn ontleend aan [Chbab, 2015] en aan digitale informatie die op 11 november 2015 beschikbaar was op de ftp-server van Deltares. Die digitale informatie betreft:

- Gegevens kansen/frequenties zonder onzekerheden.
- Gegevens voor de manier waarop onzekerheden moeten worden verwerkt (type kansverdeling en parameters daarvoor).

Het uitintegreren is gedaan zoals beschreven in hoofdstuk 3, terwijl Tabel 2-1 per stochast aangeeft welk type model is gebruikt.

In het vervolg komen vaak kansen voor die gerelateerd zijn aan de zogenaamde *basisduur* uit Hydra-NL (veelal 30 dagen), die gebruikt wordt in de tijdsmodellering van afvoer- en meerpeilgolven door middel van trapezia. Ten behoeve van figuren met statistische grootheden wordt een kans voor de basisduur vaak omgerekend naar een terugkeertijd; dergelijke terugkeertijden zijn voor lezers gewoonlijk eenvoudiger te interpreteren dan kansen voor de basisduur. De manier van omrekenen wordt in dit rapport niet behandeld. Voor details daarover wordt verwezen de systeemdokumentatie van Hydra-NL en achtergrondrapporten zoals [Geerse, 2010; 2011]. In de figuren is op de assen is wel steeds af te lezen of de gegevens kansen betreffen (voor de basisduur) of frequenties (voor een jaarperiode). Soortgelijke opmerkingen gelden voor de omrekening van 12-uurskansen naar terugkeertijden.

4.1 Olst

4.1.1 Overschrijdingskansen piekafvoer Olst zonder onzekerheden

Voor Olst zijn de overschrijdingskansen beschikbaar vanaf $T = 2$ jaar. In de basisduur $B = 30$ dagen correspondeert deze terugkeertijd met een overschrijdingskans $p = (1/2) \cdot (1/6) = 0.0833$. Omdat voor Hydra-NL de gegevens nodig zijn vanaf de minimumafvoer $k_{\min} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$, dienen de overschrijdingskansen te worden uitgebreid tot aan deze laagste afvoer.

Gewoonlijk wordt het deel van de invoer lager dan $T = 1$ jaar gelijk gehouden aan de bestaande invoer. Reden daarvoor is dat de gemiddelde afvoer dan (nagenoeg) gelijk blijft (bedenk dat het gemiddelde nauwelijks wordt bepaald door de kansen op de hogere afvoeren). In dit geval is het echter niet mogelijk om de invoer lager dan $T = 1$ gelijk te houden, omdat in de nieuwe gegevens de afvoer met $T = 2$ jaar ($787 \text{ m}^3/\text{s}$) al lager is dan de 'oude' afvoer voor $T = 1$ jaar (in de TMR2006 gelijk aan $800 \text{ m}^3/\text{s}$).

In de aanpassing van de invoer houden we nu het gedeelte van k_{\min} tot aan $600 \text{ m}^3/\text{s}$ gelijk aan de oude gegevens. Het resultaat is te zien in de blauwe lijn van Figuur 4-1.

N.B. Dat introduceert een knik in het gedeelte lager dan $787 \text{ m}^3/\text{s}$, die echter niet te vermijden valt. Ook verandert de gemiddelde afvoer nu iets: die wordt ongeveer $10 \text{ m}^3/\text{s}$ lager. Voor het WTI speelt de gemiddelde Olst-afvoer echter nauwelijks een rol, zodat die verandering niet echt bezwaarlijk is. Zie voor het nieuwe invoerbestand Tabel 4-1, waarbij hier de gegevens zijn omgerekend naar de basisduur, omdat in Hydra-NL voor deze basisduur invoer beschikbaar moet zijn.

```

* Overschrijdingskansen piekwaarde Olst (Hydra-NL). Zonder onzekerheden.
*
* Basisduur trapezia: B = 30 dagen.
*
* Piekwaarde    Overschrijdingskans
* [m³/s]        [-]
    200          1.000E+00
    600          0.303
    787          0.083333333
    1090         0.033333333
    1282         0.016666667
    1603         0.005555556
    1972         0.001666667
    2235         0.000555556
    2423         0.000166667
    2453         0.000133333
    2581         5.55556E-05
    2760         1.66667E-05
    2930         5.55556E-06
    3120         1.66667E-06

```

Tabel 4-1 Inhoud van bestand "Ovkans_Olst_piekafvoer_2017.txt". Zonder onzekerheid.

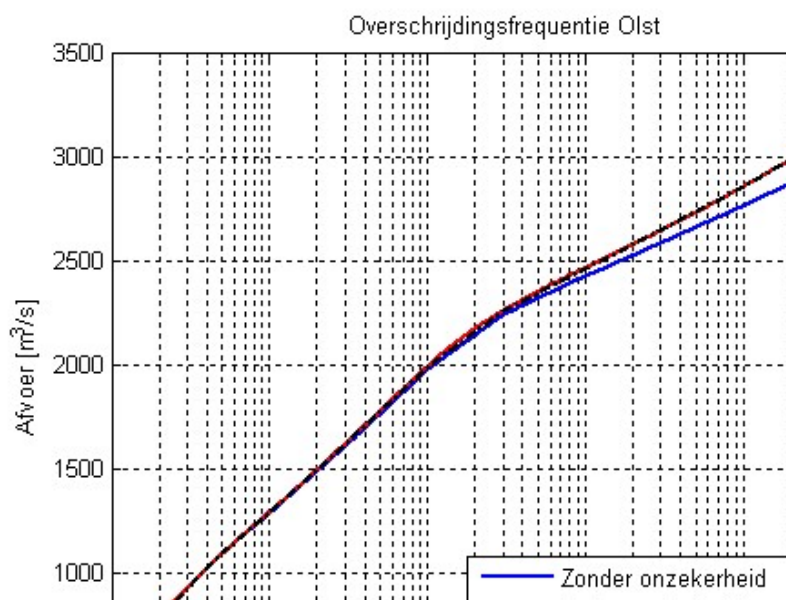
4.1.2 Overschrijdingskansen piekafvoer Olst met onzekerheden

Zoals uitgelegd in hoofdstuk 3 kan de kansverdeling voor Olst worden uitgeïntegreerd. Daarbij zijn de gegevens gebruikt volgens Tabel 4-2, die het gemiddelde en de standaarddeviatie geven van de normale verdeling die als modellering van de onzekerheid wordt gebruikt (voor afvoeren die niet in de tabel voorkomen vindt inter- en extrapolatie plaats). De gegevens zijn voor 787 m³/s en hoger afkomstig van de ftp-site van Deltares; daaraan is de extra afvoer 786.9 m³/s toegevoegd, met standaarddeviatie 46 m³/s. Deze toevoeging zorgt er voor dat voor alle afvoeren lager dan 787 m³/s een standaarddeviatie van 46 m³/s wordt aangehouden.⁴

Olst		
Onzekerheid: Normale verdeling		
Piekafvoer	Gemiddelde	Stand.dev
m³/s	m³/s	m³/s
786.9	0	46
787	0	46
1090	0	69
1282	0	83
1603	0	111
1972	0	142
2235	0	120
2423	0	138
2453	0	144
2581	0	171
2760	0	221
2930	0	275
3120	0	340

⁴ Een alternatieve keuze is de standaarddeviatie te laten afnemen bij lager worden afvoeren. Dergelijke keuzes (welke standaarddeviatie gebruik je in het lage bereik?) hebben slechts een geringe invloed op de resultaten voor het uitintegreren. In de invoerbestanden met uitgeïntegreerde resultaten is gewoonlijk het lagere deel van de invoer overgenomen uit het bestand zonder onzekerheden. De aanname is dan dat in het lagere deel van de overschrijdingsfrequentie of -kans geen onzekerheid aanwezig is. In de getoonde figuren is echter wel sprake van de *volledige* uitgeïntegreerde lijn. Dat betekent dat er een hele kleine discrepantie is tussen de getoonde figuren en de gemaakte invoerbestanden, die alleen het lage bereik van een stochast betreft.

Tabel 4-2 Gegevens voor verwerken onzekerheid Olst. Model: additief/normaal.



Figuur 4-1 Resultaten onzekerheid Olst.

Het uitintegreren levert het resultaat volgens Figuur 4-1 (rode lijn). Dat resultaat blijkt (op zeer kleine numerieke onnauwkeurigheden na) overeen te stemmen met dat volgens [Chbab, 2015] (zwarte gestreepte lijn). Het bestand met overschrijdingskansen inclusief onzekerheid is weergegeven in Tabel 4-3.

* Overschrijdingskansen piekwaarde Olst (Hydra-NL). Met statistische onzekerheid.	
*	
* Basisduur trapezia: B = 30 dagen.	
*	
* Piekwaarde Overschrijdingskans	
* [m³/s]	[-]
200	1.000E+00
600	3.030E-01
800	8.536E-02
1000	4.372E-02
1200	2.271E-02
1400	1.136E-02
1600	5.837E-03
1800	3.064E-03
2000	1.599E-03
2200	7.256E-04
2400	2.446E-04
2600	7.105E-05
2800	2.210E-05
3000	7.639E-06
3200	2.862E-06
3400	1.138E-06
3600	4.717E-07
3800	2.015E-07
4000	8.812E-08

Tabel 4-3 Inhoud van bestand "Ovkans_Olst_piekafvoer_2017_metOnzHeid.txt".

4.1.3 Topduur trapezia Olst

In Hydra-NL zijn ook topduren nodig van de trapezia die gebruikt worden om afvoergolven te schematiseren. In [Chbab, 2015] worden geen gegevens daarvoor aangereikt. Ze zijn daarom

gelijk gehouden aan de oude gegevens, die gebruikt zijn in de TMR2006 voor de IJsseldelta. Dat betreft gegevens afgeleid in [Geerse, 2006].

N.B. Het is bekend (expert judgement) dat voor faalmechanismes overloop en golfoverslag de resultaten van Hydra-NL niet heel gevoelig zijn voor de precieze keuzes van de topduren, hoewel een systematisch onderzoek naar de gevoeligheid daarvoor bij ons weten niet bestaat.

```
* Topduren van afvoergolven van de IJssel voor trapezium-
* vormige afvoergolven bij Olst.
*
* Basisduur B = 30 dagen
*
* Piekwaarde afvoergolf   topduur afvoergolf
*   bij Olst [m3/s]       [uur]
*           200           720
*           800           24
*          4000           24
```

Tabel 4-4 Inhoud van bestand "Topduur_Olst_2017.txt".

4.2 Dalfsen

4.2.1 Overschrijdingskans piekafvoer zonder onzekerheden

Voor Dalfsen zijn de overschrijdingskansen voor de afvoer gelijk gebleven aan die uit de HR2006, vandaar dat het invoerbestand hetzelfde is tot nu toe gebruikt in Hydra-NL (zie Tabel 4-5). Het resultaat is te zien in de blauwe lijn van Figuur 4-2.

```
* Overschrijdingskansen van piekafvoeren van de Vecht bij Dalfsen
*
* Basisduur trapezia: B = 30 dagen.
*
* Piekwaarde Vecht   overschrijdingskans
*   Afvoer [m3/s]    [-]
*       0            1.0
*      180            0.16666667
*      550            1.3333E-04
```

Tabel 4-5 Inhoud van bestand "Ovkans_Dalfsen_piekafvoer_2017.txt". Zonder onzekerheid. N.B. Zelfde als HR2006.

Opmerking over aftoppen bij 800 m³/s

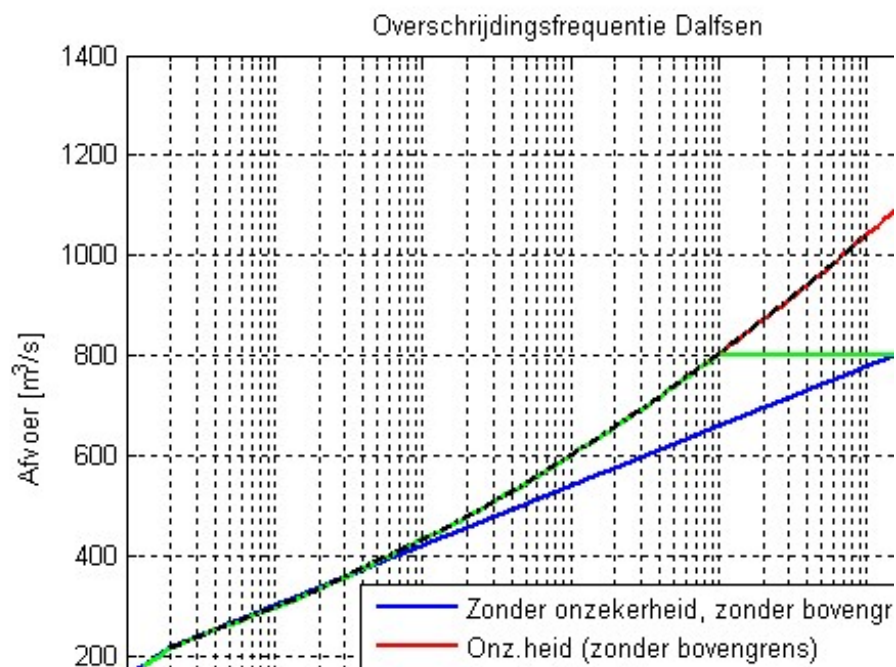
In de HR2006 werd geen bovengrens gesteld aan de overschrijdingskans. In [Chbab, 2015] wordt echter gesteld dat de afvoer in de WT12017 moet worden afgetopt bij 800 m³/s. In Hydra-NL moet daarom de optie voor het aftoppen worden gebruikt, die beschikbaar is in de zogenaamde "testversie". Aandachtspunt daarbij is dat de discretisatie van de hulpdijsen voldoende nauwkeurig moet gebeuren om betrouwbare MHW's en benodigde kruinhoogtes te bepalen.

4.2.2 Overschrijdingskans piekafvoer Dalfsen met onzekerheden

In [Chbab, 2015] wordt een lognormale verdeling gebruikt om de onzekerheid te beschrijven. De gegevens daarvoor staan in Tabel 4-6 (de waardes bij 200 m³/s zijn toegevoegd, om soortgelijke redenen als bij Olst). Het uitintegreren is gedaan zoals beschreven in paragraaf 3.4.2, met een bovengrens van 800 m³/s.

Dalfsen			
Onzekerheid: Lognormale verdeling			
Piekafvoer	Gemiddelde	Stand.dev	Epsilon
m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
200	0	5.77	-116
216	0	5.77	-116
263	0	10.30	-163
299	0	14.10	-199
335	0	35.80	-235
383	0	46.32	-283
419	0	63.58	-319
466	0	84.18	-366
502	0	97.68	-402
550	0	117.04	-450
574	0	127.76	-474
610	0	140.97	-510
658	0	159.43	-558
694	0	171.70	-594
741	0	193.47	-641
777	0	202.84	-677

Tabel 4-6 Gegevens voor verwerken onzekerheid Dalfsen. Model: additief/ normaal met bovengrens 800 m³/s.



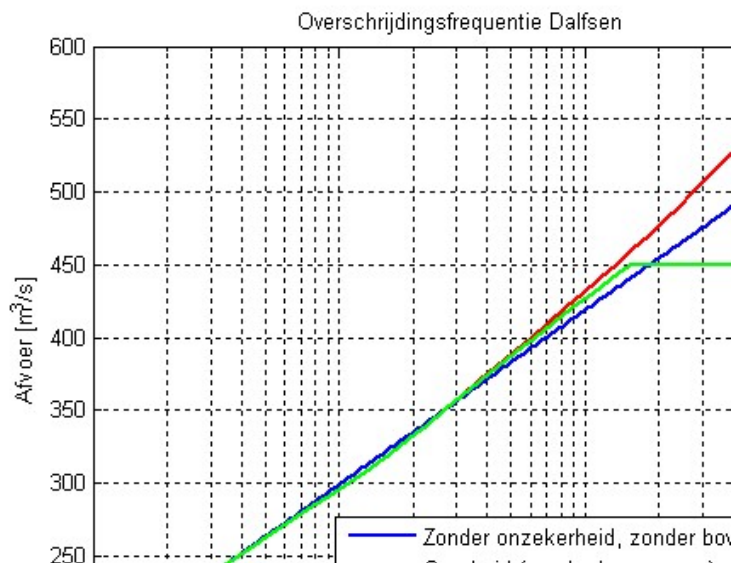
Figuur 4-2 Resultaten onzekerheid Dalfsen, met bovengrens 800 m³/s.

De resultaten voor het uitintegreren staan in Figuur 4-2. Daarbij zijn weergegeven:

- Blauwe lijn: overschrijdingskans zonder onzekerheid en zonder bovengrens.
- Rode lijn: overschrijdingskans inclusief onzekerheid zonder gebruik van een bovengrens.
- Groene lijn: overschrijdingskans inclusief onzekerheid, met gebruik van de bovengrens.
- Zwarte gestreepte lijn: overschrijdingskans inclusief onzekerheid zonder gebruik van een bovengrens, volgens [Chbab, 2015].

De lijn inclusief onzekerheid zonder bovengrens blijkt overeen te stemmen met die volgens [Chbab, 2015] (zie de rode en de gestreepte zwarte lijn).

Voor het bepalen van de groene lijn wordt de bovengrens in de integratie volgens formule (3.18) gebruikt voor de afvoer zonder onzekerheid (X) en in die met onzekerheid (V). Maar blijkbaar kan de groene lijn ook worden verkregen door de rode lijn te begrenzen bij de waarde 800 m³/s. Maar dat laatste gaat alleen op bij voldoende hoge bovengrenzen. Ter vergelijking zijn de gegevens uit de figuur ook bepaald voor een veel lagere (fictieve) bovengrens van 450 m³/s (Figuur 4-3). In dat geval volgt de groene lijn tot aan de bovengrens niet langer de rode.



Figuur 4-3 Resultaten onzekerheid Dalfsen, met fictieve bovengrens 450 m³/s.

Het bestand met overschrijdingskansen inclusief onzekerheid is weergegeven in Bijlage A. Bedenk dat bij het rekenen met dat invoerbestand in Hydra-NL de afvoer moet worden afgetopt bij 800 m³/s.

4.2.3 Topduur trapezia Dalfsen

Net als voor Olst zijn de topduren voor Dalfsen gelijk gehouden aan de oude gegevens, die gebruikt zijn in de HR2006 voor de Vechtdelta. Dat betreft gegevens afgeleid in [Geerse, 2006].

```
* Topduren van afvoergolven van de Vecht voor trapezium-
* vormige afvoergolven bij Dalfsen.
*
* Basisduur B = 30 dagen
*
* Piekwaarde afvoergolf   topduur afvoergolf
*   bij Dalfsen [m3/s]      [uur]
*       0                720
*      180                48
*     1000                48
```

Tabel 4-7 Inhoud van bestand "Topduur_Dalfsen_2017.txt".

4.3 Lobith

Deze paragraaf geeft de gegevens voor Lobith. De uitleg wordt beknopt gehouden, omdat de werkwijze sterk overeenkomstig die voor Olst is.

4.3.1 Overschrijdingskans piekafvoer Lobith zonder onzekerheden

Tabel 4-8 laat het bestand met overschrijdingskansen zonder onzekerheden zien. Vanaf 5940 m³/s stemt dat overeen met de gegevens uit [Chbab, 2015]. Het lagere deel van het bestand is aangevuld met gegevens afkomstig uit het invoerbestand voor de HR2006.

* Overschrijdingskansen piekwaarde Lobith (Hydra-NL). Zonder onzekerheden.

*

* Basisduur trapezia: B = 30 dagen.

*

* Piekwaarde Overschrijdingskans

* [m ³ /s]	[-]
750	1.00
1000	0.97
1500	0.8
3500	0.3
4500	0.22
5940	8.333E-02
7970	3.333E-02
9130	1.667E-02
10910	5.556E-03
12770	1.667E-03
14000	5.556E-04
14840	1.667E-04
14970	1.333E-04
15520	5.556E-05
16270	1.667E-05
16960	5.556E-06
17710	1.667E-06

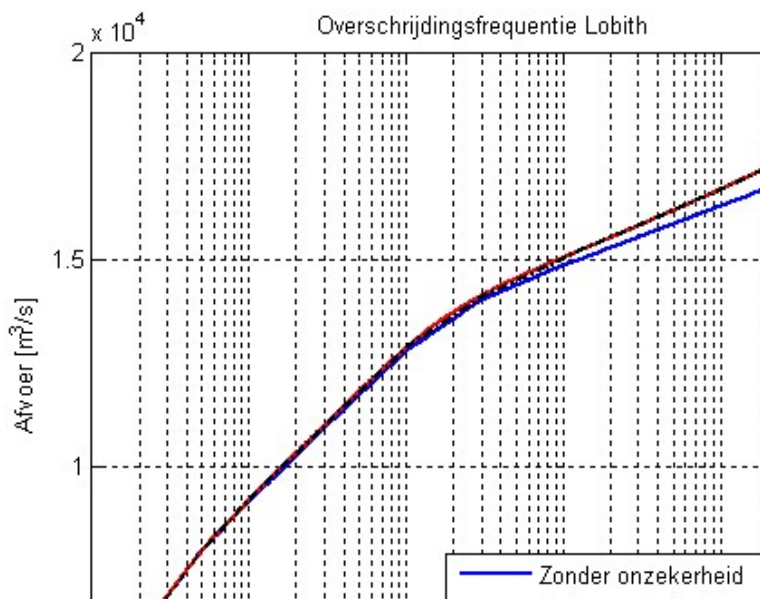
Tabel 4-8 Inhoud van bestand "Ovkans_Lobith_piekafvoer_2017.txt". Zonder onzekerheid.

4.3.2 Overschrijdingskans piekafvoer Lobith met onzekerheden

De gegevens voor het verwerken van de onzekerheid van Lobith zijn afkomstig uit [Chbab, 2015] en staan in Tabel 4-6. Het resultaat van het uitintegreren is te zien in Figuur 4-4 (rode lijn). Dat resultaat blijkt overeen te stemmen met dat volgens [Chbab, 2015] (zwarte gestreepte lijn). Zie voor het nieuwe invoerbestand Bijlage A.

Lobith		
Onzekerheid: Normale verdeling		
Piekafvoer	Gemiddelde	Stand.dev
m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
5939.9	0	340
5940	0	340
7970	0	440
9130	0	500
10910	0	600
12770	0	700
14000	0	560
14840	0	620
14970	0	640
15520	0	750
16270	0	930
16960	0	1120
17710	0	1350

Tabel 4-9 Gegevens voor verwerken onzekerheid Lobith. Model: additief/normaal.



Figuur 4-4 Resultaten onzekerheid Lobith.

4.3.3 Topduur trapezia Lobith

Net als voor Olst en Dalfsen zijn de topduren gelijk gehouden aan de oude gegevens, die gebruikt zijn in de HR2006 (Tabel 4-10).

```
* Topduren van afvoergolven voor Lobith voor trapeziumvormige afvoergolven. (Hydra-NL)
*
* Basisduur B = 30 dagen
*
* Piekwaarde Lobith          topduur afvoergolf
*      [m3/s]                [uur]
*      750                   720
*      6000                  12
*      30000                 12
```

Tabel 4-10 Inhoud van bestand "Topduur_Lobith_2017.txt".

4.4 Borgharen

4.4.1 Overschrijdingskansen piekafvoer Borgharen zonder onzekerheden

Tabel 4-8 laat het bestand met overschrijdingskansen zonder onzekerheden zien. Vanaf 1440 m³/s stemt dat overeen met de gegevens uit [Chbab, 2015]. Het lagere deel van het bestand is voor het bereik 0 tot 500 m³/s aangevuld met gegevens uit het invoerbestand voor de HR2006; de regel met 1000 m³/s is toegevoegd om een min of meer vloeiende overgang te maken tussen de oude en nieuwe gegevens.

```
* Overschrijdingskansen piekwaarde Borgharen (Hydra-NL). Zonder onzekerheden.
*
* Basisduur trapezia: B = 30 dagen.
*
* Piekwaarde  Overschrijdingskansen
*      [m3/s]      [-]
*      0           1.00
*      75          0.995
*      200         0.88
*      300         0.76
*      500         0.55
*      1000        0.264
*      1440        8.333E-02
*      1970        3.333E-02
*      2300        1.667E-02
*      2600        8.333E-03
*      2970        3.333E-03
*      3220        1.667E-03
*      3520        6.667E-04
*      3700        3.333E-04
*      3910        1.333E-04
*      4020        8.333E-05
*      4180        4.167E-05
*      4400        1.667E-05
*      4560        8.333E-06
*      4770        3.333E-06
*      4930        1.667E-06
```

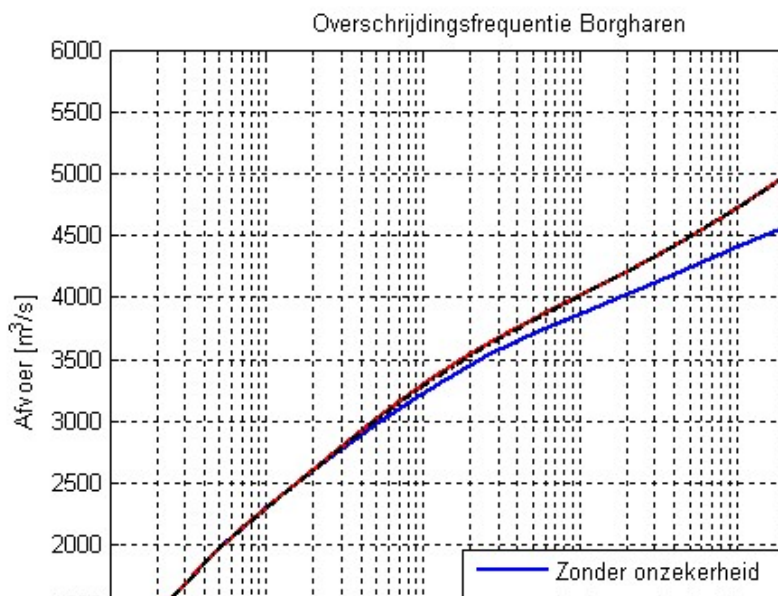
Tabel 4-11 Inhoud van bestand "Ovkans_Borgharen_piekafvoer_2017.txt". Zonder onzekerheid.

4.4.2 Overschrijdingskans piekafvoer Borgharen met onzekerheden

De gegevens voor het verwerken van de onzekerheid van Borgharen zijn afkomstig uit [Chbab, 2015] en staan in Tabel 4-12. Het resultaat van het uitintegreren is te zien in Figuur 4-5, wat hetzelfde oplevert als volgens [Chbab, 2015]. Zie voor het nieuwe invoerbestand Bijlage A.

Borgharen		
Onzekerheid: Normale verdeling		
Piekafvoer	Gemiddelde	Stand.dev
m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
1439.9	0	85
1440	0	85
1970	0	115
2300	0	145
2600	0	208
2970	0	270
3220	0	288
3520	0	285
3700	0	295
3910	0	350
4020	0	393
4180	0	468
4400	0	578
4560	0	665
4770	0	788
4930	0	878

Tabel 4-12 Gegevens voor verwerken onzekerheid Borgharen. Model: additief/normaal.



Figuur 4-5 Resultaten onzekerheid Borgharen.

4.4.3 Topduur trapezia Borgharen

Net als voor de eerder genoemde afvoeren zijn de topduren van de trapezia gelijk gehouden aan de oude gegevens, die eerder in Hydra-Zoet zijn gebruikt (Tabel 4-13). N.B. Deze gegevens

zijn destijds overgenomen van Lith; *de gegevens zijn niet gebaseerd op analyses voor Borgharen zelf.*

De werkelijke afvoergolven bij Borgharen zijn feitelijk smaller. Daarbij moet wel bedacht worden dat de afvoergolf op de Grensmaas verder benedenstrooms steeds breder wordt. Het is dus eigenlijk niet raadzaam om voor de hele Grensmaas met één breedte van de afvoergolf te werken. De keuze om de (breedte van de) afvoergolf voor Lith te nemen voor Borgharen is dus een conservatieve keuze. Overigens is bekend (expert-judgement) dat de uitkomsten van Hydra-NL voor benodigde kruinhoogtes niet sterk afhangen van de breedte van de afvoergolf; de MHW's zijn helemaal onafhankelijk van de beschouwde (breedte van) de afvoergolf.

```
* Topduren van afvoergolven voor Borgharen voor trapeziumvormige afvoergolven. (Hydra-NL)
*
* Basisduur B = 30 dagen
*
* Piekwaarde          topduur afvoergolf
*      [m3/s]          [uur]
*           0           720
*        1315.1         12
*        6000           12
```

Tabel 4-13 Inhoud van bestand "Topduur_Borgharen_2017.txt".

4.5 Lith

4.5.1 Overschrijdingskansen piekafvoer Lith zonder onzekerheden

Tabel 4-8 laat het bestand met overschrijdingskansen zonder onzekerheden zien. Vanaf 1409 = m³/s stemt dat overeen met de gegevens uit [Chbab, 2015]. Het lagere deel van het bestand is voor het bereik 0 tot 500 m³/s aangevuld met gegevens uit het invoerbestand voor de HR2006; de regel met 1000 m³/s is toegevoegd om een min of meer vloeiende overgang te maken tussen de oude en nieuwe gegevens.

```
* Overschrijdingskansen piekwaarde Lith (Hydra-NL). Zonder onzekerheden.
*
* Basisduur trapezia: B = 30 dagen.
*
* Piekwaarde  Overschrijdingskansen
*      [m3/s]      [-]
*           0           1.00
*          75           0.995
*         200           0.88
*         300           0.76
*         500           0.55
*        1000           0.264
*        1409          8.333E-02
*        1880          3.333E-02
*        2177          1.667E-02
*        2448          8.333E-03
*        2785          3.333E-03
*        3014          1.667E-03
*        3291          6.667E-04
*        3458          3.333E-04
*        3653          1.333E-04
*        3756          8.333E-05
*        3906          4.167E-05
*        4113          1.667E-05
*        4264          8.333E-06
*        4463          3.333E-06
*        4616          1.667E-06
```

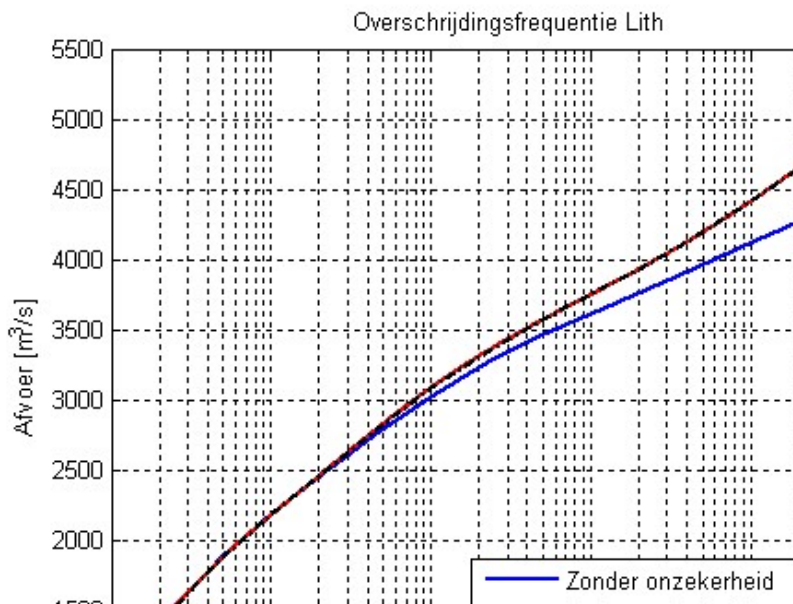
Tabel 4-14 Inhoud van bestand "Ovkans_Lith_piekafvoer_2017.txt". Zonder onzekerheid.

4.5.2 Overschrijdingskans piekafvoer Lith met onzekerheden

De gegevens voor het verwerken van de onzekerheid van Lith zijn afkomstig uit [Chbab, 2015] en staan in Tabel 4-6. Het resultaat van het uitintegreren is te zien in Figuur 4-4. Op het oog levert dat dezelfde resultaten als volgens [Chbab, 2015]. Zie voor het nieuwe invoerbestand Bijlage A.

Lith		
Onzekerheid: Normale verdeling		
Piekafvoer	Gemiddelde	Stand.dev
m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
1408.9	0	75
1409	0	75
1880	0	102
2177	0	130
2448	0	188
2785	0	247
3014	0	264
3291	0	263
3458	0	274
3653	0	326
3756	0	367
3906	0	438
4113	0	544
4264	0	629
4463	0	748
4616	0	837

Tabel 4-15 Gegevens voor verwerken onzekerheid Lith. Model: additief/normaal.



Figuur 4-6 Resultaten onzekerheid Lith.

4.5.3 Topduur trapezia Lith

Net als voor de eerder genoemde afvoeren zijn de topduren van de trapezia gelijk gehouden aan de oude gegevens, die gebruikt zijn in de HR2006 (Tabel 4-13).

```
* Topduren van afvoergolven voor Lith voor trapeziumvormige afvoergolven. (Hydra-NL)
*
* Basisduur B = 30 dagen
*
* Piekwaarde          topduur afvoergolf
*      [m3/s]          [uur]
*      0                720
*     1315.1            12
*     6000              12
```

Tabel 4-16 Inhoud van bestand "Topduur_Lith_2017.txt".

4.6 IJsselmeer

4.6.1 Overschrijdingskansen piekmeerpeil zonder onzekerheden

De overschrijdingskansen zonder onzekerheden zijn voor het IJsselmeer ongewijzigd overgenomen uit [Geerse, 2006], zie Tabel 4-17.⁵ Deze statistiek stemt (op uiterst kleine verschillen na) overeen met die uit [Chbab, 2015].

```
* Overschrijdingskansen piekwaarde IJsselmeer
*
* Basisduur B = 30 dagen.
*
* Piekwaarde IJsselmeerpeil      overschrijdingskansen
*      [m+NAP]                  [-]
*      -0.40                     1.000
*       0.05                     0.166667
*       0.40                     0.016667
*       1.07                     1.667E-05
```

Tabel 4-17 Inhoud van bestand "Ovkans_IJsselmeer_piekafvoer_2017.txt". Zonder onzekerheid.

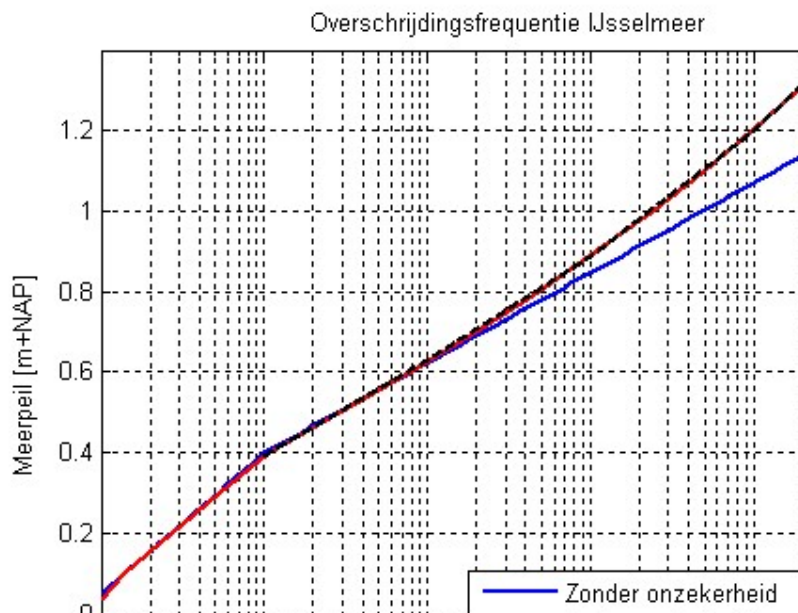
4.6.2 Overschrijdingskansen piekafmeerpeil met onzekerheden

De gegevens voor het verwerken van de onzekerheid zijn afkomstig uit [Chbab, 2015] en staan in Tabel 4-15. Het resultaat van het uitintegreren is te zien in Figuur 4-7 (rode lijn). Het resultaat stemt overeen met [Chbab, 2015], dat overigens alleen vanaf T = 10 jaar beschikbaar is (zwarte gestreepte lijn). Zie voor het nieuwe invoerbestand Bijlage B.

⁵ Deze kansen verschillen wel van de overschrijdingskansen die in Hydra-M worden gebruikt. In deze paragraaf wordt verder geen aandacht besteed aan IJsselmeerstatistiek die in het verleden is gebruikt om de statistiek uit Hydra-M te reproduceren.

IJsselmeer			
Onzekerheid: Lognormale verdeling			
Piekafvoer	Gemiddelde	Stand.dev	Epsilon
m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
0.29	0	0.0305	-0.79
0.39	0	0.0305	-0.79
0.62	0	0.0670	-1.02
0.84	0	0.1363	-1.24
1.07	0	0.2313	-1.47
1.30	0	0.3497	-1.70

Tabel 4-18 Gegevens voor verwerken onzekerheid IJsselmeer. Model: additief/lognormaal.



Figuur 4-7 Resultaten onzekerheid IJsselmeer.

4.6.3 Topduur trapezia IJsselmeer

Net als voor de eerder genoemde afvoeren zijn de topduren van de trapezia gelijk gehouden aan de oude gegevens, die gebruikt zijn in de HR2006 voor de Vechtdelta (Tabel 4-13), welke zijn afgeleid in [Geerse, 2006].

```
* Topduren van meerpeilgolven van het IJsselmeerpeil
* voor trapeziumvormige meerpeilgolven.
*
* Basisduur B = 30 dagen
*
* Piekwaarde IJsselmeer          topduur meerpeilgolf
* [m+NAP]                        [uur]
*   -0.4                        720
*   0.05                        96
*   1.8                         96
```

Tabel 4-19 Inhoud van bestand "Topduur_IJsselmeer_2017.txt".

4.7 Markermeer

4.7.1 Overschrijdingskans piekmeerpeil zonder onzekerheden

De overschrijdingskansen zonder onzekerheden zijn voor het Markermeer ongewijzigd overgenomen uit [Geerse, 2006], zie Tabel 4-17.⁶ Deze statistiek stemt vanaf ongeveer 0 m+NAP overeen met die uit die uit [Chbab, 2015]. In de statistiek die op de ftp-site van Deltares staat (gedownload op 11 november 2015) ontbreekt echter het deel onder 0 m+NAP; dat deel is in Tabel 4-20 wel aanwezig. N.B. De basisduur voor het Markermeer wijkt af van die voor het IJsselmeer: die is voor het Markermeer B = 60 dagen.

```
* Overschrijdingskansen piekwaarde Markermeer
*
* Basisduur trapezia: B = 60 dagen.
*
* Piekwaarde Markermeer      overschrijdingskans
*      [m+NAP]                [-]
*      -0.40                  1.0
*      -0.22                  0.3333
*      1.00                   1.014e-006
```

Tabel 4-20 Inhoud van bestand "Ovkans_Markermeer_piekafvoer_2017.txt". Zonder onzekerheid.

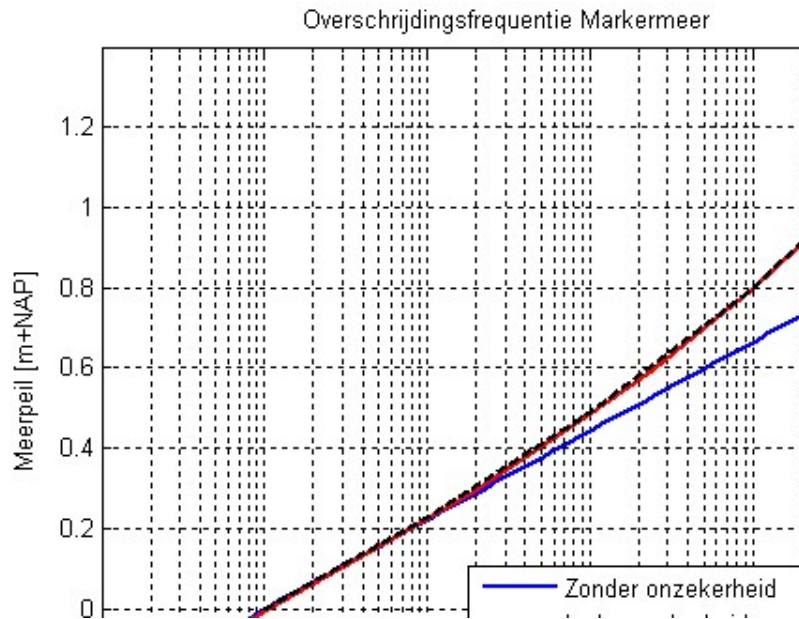
4.7.2 Overschrijdingskans piekafmeerpeil met onzekerheden

De gegevens voor het verwerken van de onzekerheid zijn afkomstig uit [Chbab, 2015] en staan in Tabel 4-21. Het resultaat van het uitintegreren is te zien in Figuur 4-7 (rode lijn). Het resultaat stemt overeen met [Chbab, 2015], dat overigens alleen vanaf T = 10 jaar beschikbaar is (zwarte gestreepte lijn). Zie voor het nieuwe invoerbestand Bijlage B.

Markermeer			
Onzekerheid: Lognormale verdeling			
Piekafvoer	Gemiddelde	Stand.dev	Epsilon
m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
-0.10	0	0.0235	-0.40
0.00	0	0.0235	-0.40
0.22	0	0.0690	-0.62
0.44	0	0.1361	-0.84
0.66	0	0.2261	-1.06
0.89	0	0.3476	-1.29

Tabel 4-21 Gegevens voor verwerken onzekerheid Markermeer. Model: additief/lognormaal.

⁶ Deze kansen verschillen wel van de overschrijdingskansen die in Hydra-M worden gebruikt. In deze paragraaf wordt verder geen aandacht besteed aan IJsselmeerstatistiek die in het verleden is gebruikt om de statistiek uit Hydra-M te reproduceren.



Figuur 4-8 Resultaten onzekerheid Markermeer.

4.7.3 Topduur trapezia Markermeer

Het bestand voor de topduur voor het Markermeer is weergegeven in Tabel 4-22. Deze gegevens zijn afgeleid in het memo [Geerse, 2008].

```
* Topduren van meerpeilgolven voor het Markermeer
* voor trapeziumvormige meerpeilgolven.
*
* Basisduur trapezia: B = 60 dagen.
*
* Piekwaarde Markermeer          topduur meerpeilgolf
*      [m+NAP]                    [uur]
*      -0.40                      1440
*      -0.22                      96
*      1.80                      96
```

Tabel 4-22 Inhoud van bestand "Topduur_Markermeer_2017.txt".

4.8 Schiphol (16 richtingen)

In deze paragraaf wordt de windstatistiek voor Schiphol besproken. Het betreft de versie met 16 richtingen (er bestaat ook een versie met 12 richtingen, die hier niet wordt behandeld). Het betreft statistiek voor 12-uursperioden, die geldt conditioneel op de beschouwde windrichting. De 16 richtingen worden in Hydra-NL genummerd als $r = 1$ t/m 16 ($r = 1$ is NNO).

4.8.1 Richtingskansen Schiphol

De richtingskansen voor station Schiphol zijn afkomstig uit [Chbab, 2015], zie Tabel 4-23. Deze kansen zijn gewijzigd t.o.v. de HR2006.

* Richtingskansen windsnelheid Schiphol.

*	
22.5	0.025466057
45	0.037003166
67.5	0.060780865
90	0.05269082
112.5	0.045304256
135	0.051705944
157.5	0.066690116
180	0.091593387
202.5	0.123320436
225	0.112768203
247.5	0.100105522
270	0.075202251
292.5	0.050087935
315	0.03960605
337.5	0.036932817
360	0.030742174

Tabel 4-23 Inhoud van bestand "Richtingskansen_Schiphol_2017.txt".

4.8.2 Omrekening van 22.5° naar 30° (zonder onzekerheden)

De omrekening van 30°-sectoren naar 22.5°-sectoren is uitgevoerd op de manier beschreven in het memo [Wojciechowska, 2016], waarbij voor de hogere windsnelheden gebruik wordt gemaakt van de aanpak beschreven in [Geerse en Verkaik, 2010] en voor de lagere van gegevens van Deltares. N.B. Deze omrekening wijkt af van die uit [Chbab, 2015]. Zie voor de motivatie daarvoor paragraaf 1.3.

Globaal komt de aanpak uit [Wojciechowska, 2016] neer op het volgende. Uitgangspunt vormt de statistiek in termen van 30°-sectoren uit [Caires, 2009], die geldt voor overschrijdingsfrequenties van extreme windsnelheden (vanaf ongeveer $T = 1$ jaar). Deze statistiek moet, om bruikbaar te zijn voor de zoete wateren uit Hydra-NL, nog enkele bewerkingen ondergaan:

1. De overschrijdingsfrequenties (voor de hoge windsnelheden) moeten worden omgerekend van 30°-sectoren naar 22.5°-sectoren, waarbij frequenties van stormen naar rato van de breedte van windsectoren worden verdeeld.
2. Vervolgens moeten de overschrijdingsfrequenties worden omgezet in een overschrijdingskans voor het 12-uursmaximum, conditioneel op de beschouwde richting.
3. Daarna moet die statistiek nog worden uitgebreid naar de lagere windsnelheden, wat in principe gebeurt door het turven van overschrijdingen van 12-uursmaxima. Voor deze lagere windsnelheden zijn echter de verdelingen beschreven in [Chbab, 2015] overgenomen, zodat het turven van windsnelheden niet opnieuw uitgevoerd hoefde te worden.

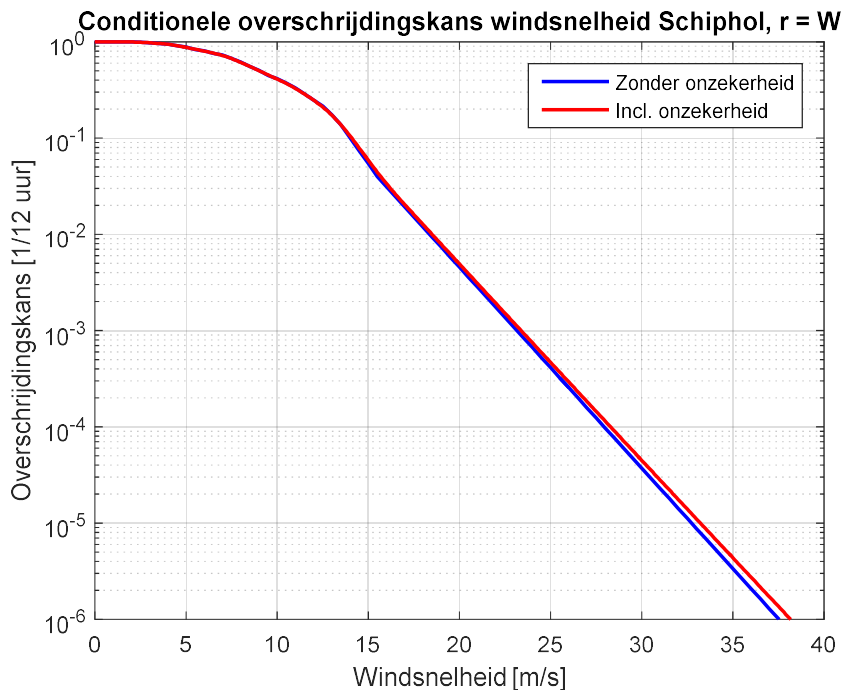
Voor details wordt verwezen naar het memo [Wojciechowska, 2016].

4.8.3 Overschrijdingskans windsnelheid zonder onzekerheid

Het bepalen van de overschrijdingskansen voor de windsnelheid zonder onzekerheden is beschreven in [Wojciechowska, 2016]. Voor de stappen 2 en 3 uit de voorgaande paragraaf zijn daarbij de nieuwe richtingskanen gebruikt (in stap 1 zijn geen richtingskansen vereist). Gezien de omvang van de tabel met overschrijdingskansen wordt die hier niet weergegeven. Het bestand met conditionele overschrijdingskansen (voor de richtingen NNO, NO, ..., N) heeft als naam "Ovkanswind_Schiphol_2017.txt". Zie als voorbeeld voor de richting W de blauwe lijn in Figuur 4-9 uit de volgende paragraaf. De rode lijn die de statistiek inclusief onzekerheid geeft, wordt nu besproken.

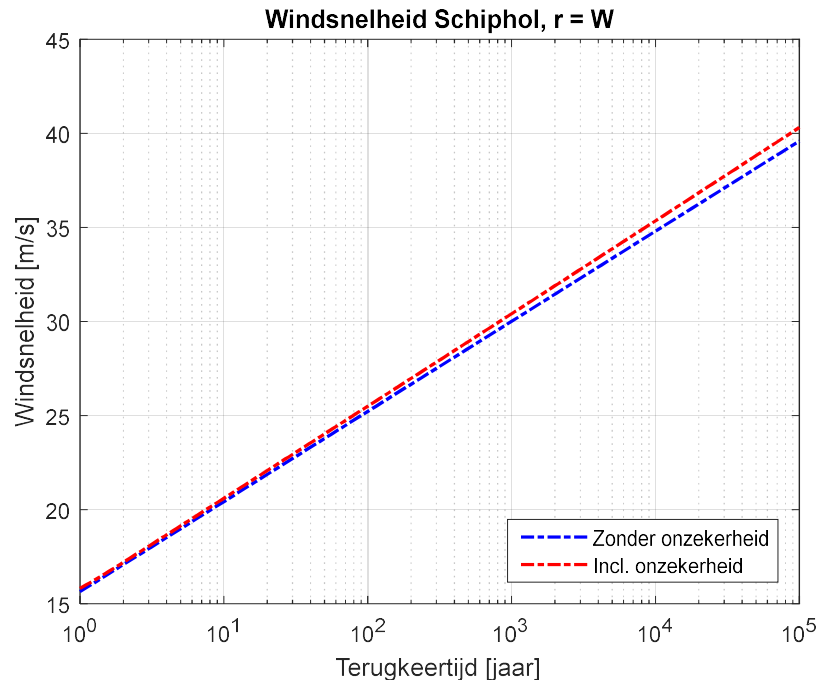
4.8.4 Overschrijdingskans windsnelheid met onzekerheid

Onzekerheden in de wind worden volgens [Chbab, 2015] gemodelleerd met het multiplicatieve model, waarbij voor Schiphol de gebruikte normale verdeling een gemiddelde $\mu = 1$ heeft en een vaste $\sigma = 0.047$. Als voorbeeld worden hier de resultaten gegeven voor de sector $r = 270^\circ$, ontleend aan [Wojciechowska, 2016]. De uitgeïntegreerde windsnelheid ligt blijkbaar niet heel ver boven de lijn zonder onzekerheden. Gezien de omvang van de tabel wordt die hier niet weergegeven. Het bestand, waarin de conditionele overschrijdingskansen voor alle richtingen zijn opgenomen, heeft als naam "Ovkanswind_Schiphol_2017_metOnzHeid.txt".



Figuur 4-9 Resultaten windstatistiek Schiphol $r = 270^\circ$ (W).

Het resultaat voor richting 270° kan echter ook worden omgezet naar terugkeertijden, zoals beschreven in [Wojciechowska, 2016]. In dat geval resulteert Figuur 4-10.



Figuur 4-10 Resultaten windstatistiek Schiphol $r = 270^\circ$ in termen van terugkeertijden.

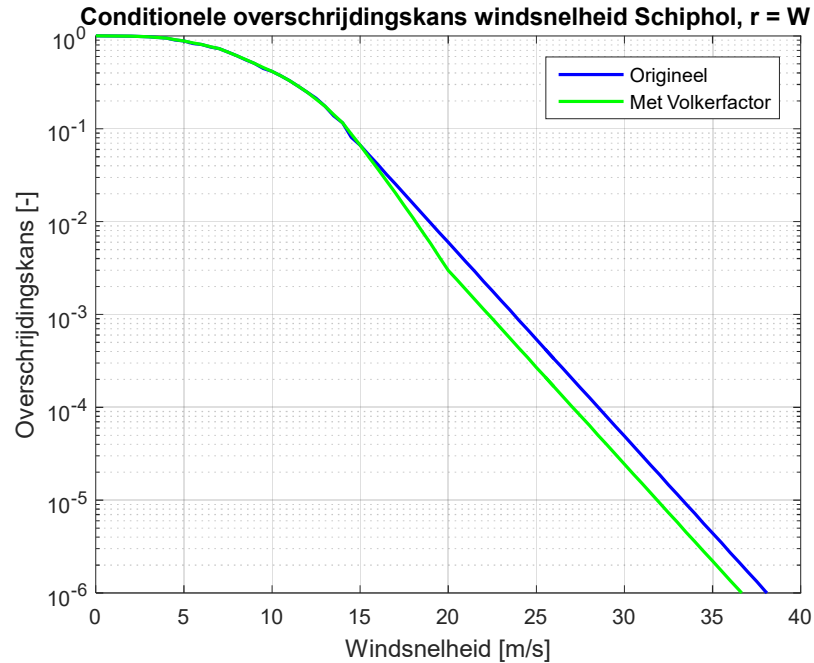
4.9 Schiphol met Volkerfactor

4.9.1 Overschrijdingskans windsnelheid met Volkerfactor (zonder onzekerheid)

Voor Schiphol moet voor berekeningen voor de benedenrivieren, ook aangeduid als Rijn-Maasmonding (RMM), een versie van de statistiek beschikbaar zijn waarin de zogenaamde Volkerfactor is opgenomen. Deze factor verdisconteert op pragmatische wijze dat stormvloeden en hoge windsnelheden in de tijd niet hoeven samen te vallen. In deze aanpak worden de overschrijdingskansen voor de hogere windsnelheden (die $T = 1$ jaar ruim overschrijden) verlaagd met een factor 0.5. Om een vloeiende aansluiting op de lagere (niet aangepaste) windsnelheden te krijgen wordt een overgangstraject gebruikt, dat ligt rondom de windsnelheid voor $T = 1$ jaar. Zie voor meer achtergronden en details voor het verwerken van deze factor [Geerse et al, 2002].⁷ **N.B.** Als ruwe vuistregel kan worden gesteld dat voor windsnelheden hoger dan $T = 10$ jaar de 'volledige' Volkerfactor van 0.5 wordt gebruikt.

Voor de richting W (270°) is het resultaat te zien in Figuur 4-11, afkomstig uit [Wojciechowska, 2016]. De resultaten zijn weggeschreven in "Ovkanwind_Schiphol_Volkerfactor_2017.txt".

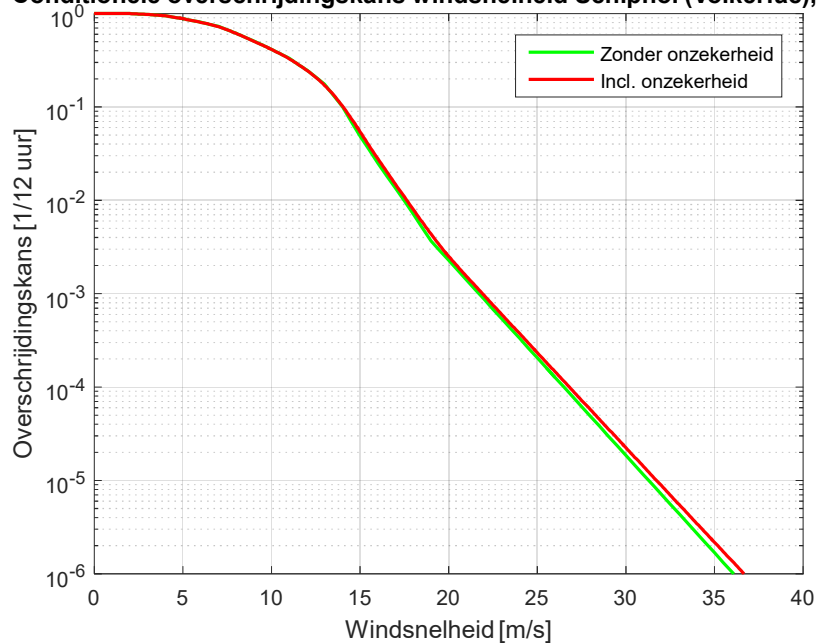
⁷ In het bepalen van het overgangstraject is het recept uit paragraaf 8.1 uit [Geerse et al, 2002] gebruikt. Daarbij is de windsnelheid met $T = 1$ jaar bepaald, aangeduid als $u_{T=1,r}$ (deze waarde verschilt per richting). Daarna is de zogenaamde overgangswindsnelheid $u_{\text{overgang},r}$ bepaald, door $u_{T=1,r}$ naar boven af te ronden. Vervolgens zijn conform formule (8-1) uit [Geerse et al, 2002] factoren 0.9, 0.8, 0.7, 0.6 toegepast op de vier windsnelheden in het traject [$u_{\text{overgang},r} - 1$, $u_{\text{overgang},r} + 2$]. De overschrijdingskansen van nog hogere windsnelheden zijn vermenigvuldigd met 0.5.



Figuur 4-11 Effect van de Volkerfactor voor richting W (270°).

4.9.2 Overschrijdingskans windsnelheid met Volkerfactor en met onzekerheid

Net als voor de situatie zonder Volkerfactor kan de onzekerheid worden uitgeïntegreerd. Daarvoor wordt net als zonder deze factor een normale verdeling gebruikt met een gemiddelde $\mu = 1$ heeft en een vaste $\sigma = 0.047$ (multiplicatief model). Voor de richting W (270°) is het resultaat te zien in Figuur 4-12. De resultaten zijn weggeschreven in het bestand "Ovkanswind_Schiphol_Volkerfactor_2017_metOnzHeid.txt".

Conditionele overschrijdingskans windsnelheid Schiphol (Volkerfac), $r = W$ 

Figuur 4-12 Overschrijdingskans inclusief Volkerfactor, met en zonder onzekerheid voor richting W (270°).

4.10 Deelen (16 richtingen)

In deze paragraaf wordt de windstatistiek voor Deelen besproken, die voor de bovenrivieren wordt gebruikt. De afleiding hiervan is overeenkomstig die voor Schiphol, zoals besproken in de voorgaande paragraaf. Het betreft hier de versie met 16 richtingen. N.B. Voor Deelen is geen statistiek inclusief Volkerfactor nodig. Die factor heeft immers te maken met de zeewaterstand, terwijl de zee geen invloed heeft in de bovenrivieren.

4.10.1 Richtingskansen Deelen

De richtingskansen voor station Deelen zijn afkomstig uit [Chbab, 2015], zie Tabel 4-24. Deze kansen zijn gewijzigd t.o.v. de HR2006.

* Richtingskansen windsnelheid Deelen.

*

22.5	0.029622854
45	0.039755137
67.5	0.058682803
90	0.061215874
112.5	0.052842668
135	0.064945117
157.5	0.061778778
180	0.077047565
202.5	0.123135379
225	0.136152547
247.5	0.113073459
270	0.059667886
292.5	0.041373487
315	0.032437377
337.5	0.026878694
360	0.021390374

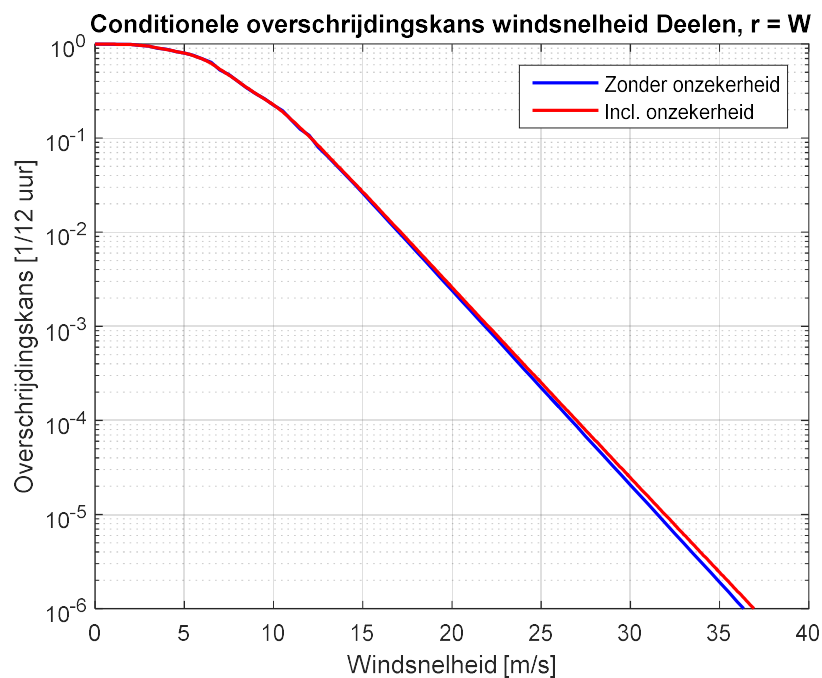
Tabel 4-24 Inhoud van bestand "Richtingskansen_Deelen_2017.txt".

4.10.2 Overschrijdingskans windsnelheid zonder onzekerheid

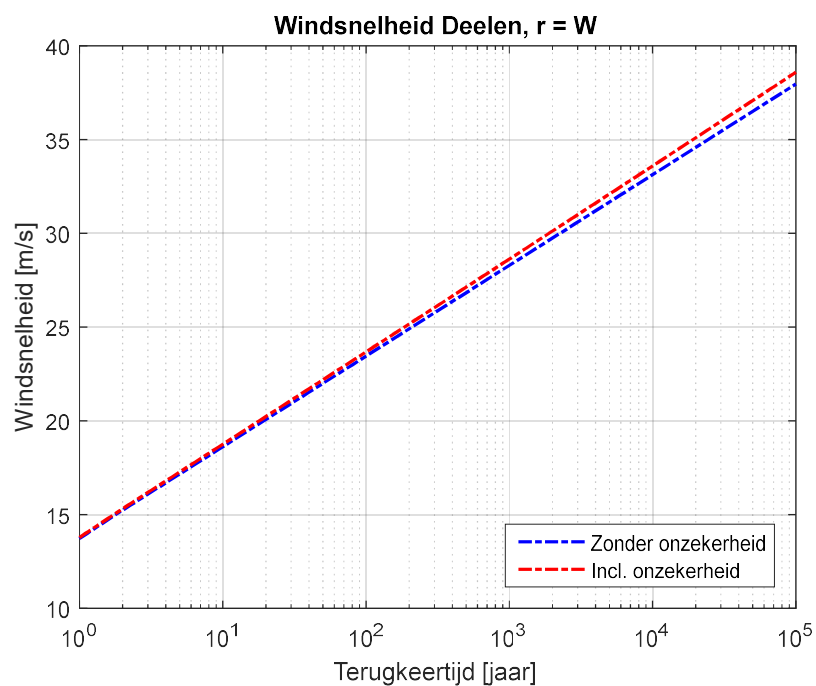
De overschrijdingskansen voor de windsnelheid zijn bepaald in [Wojciechowska, 2016]. Gezien de omvang van de tabel wordt die hier niet weergegeven. Het bestand heeft als naam "Ovkanswind_Deelen_2017.txt".

4.10.3 Overschrijdingskans windsnelheid met onzekerheid

Onzekerheden in de wind worden net als Schiphol gemodelleerd met het multiplicatieve model, waarbij volgens [Chbab, 2015] voor Deelen de gebruikte normale verdeling een gemiddelde $\mu = 1$ heeft en een vaste $\sigma = 0.046$. Als voorbeeld worden de resultaten gegeven voor de sectoren 90° en 270°. De uitgeïntegreerde windsnelheid ligt blijkbaar niet heel ver boven de lijn zonder onzekerheden. Gezien de omvang van de tabel wordt die hier niet weergegeven. Het bestand heeft als naam "Ovkanswind_Deelen_2017_metOnzHeid.txt".



Figuur 4-13 Resultaten windstatistiek Deelen, richting 270°.



Figuur 4-14 Resultaten windstatistiek Deelen in termen van de terugkeertijd, richting 270°.

4.11 Zeewaterstand Maasmond

4.11.1 12-uurskansen Maasmond, zichtjaar 1985, zonder onzekerheid

In Hydra-NL worden voor de benedenrivieren overschrijdingskansen van de zeewaterstand te Maasmond gebruikt, die gelden conditioneel op de windrichting r . Daarbij worden beschouwd de richtingen $r = \text{ZW, WNW, ..., N}$. Deze kansen worden vaak aangeduid als $P(M_{12} > m | R=r)$. Dergelijke kansen kunnen intern in Hydra-NL worden uitgerekend, op basis van de volgende invoergegevens:

- Weibullverdelingen voor de zeewaterstand voor 12-uursperioden, voor zichtjaar 1985, die gegeven zijn voor de volgende richtingssectoren (met uitzondering van de eerste sector betreft dat 10°-sectoren):
 - 15° - 215°
 - 215° - 225°
 - 225° - 235°
 - 235° - 245°
 - 245° - 255°
 - 255° - 265°
 - 265° - 275°
 - 275° - 285°
 - 285° - 295°
 - 295° - 305°
 - 305° - 315°
 - 315° - 325°
 - 325° - 335°
 - 335° - 345°
 - 345° - 355°
 - 355° - 365°
 - 365° - 375°
- De richtingskansen $P(r)$ voor de richtingssectoren ZW, WZW, ..., N, waarbij de kansen in dit geval worden ontleend aan Tabel 4-23 (kansen voor Schiphol).

Globaal gaat de berekening als volgt. De smalle 10°-sectoren (en de ene brede 'oostelijke' sector) worden door een wegingsproces gecombineerd tot sectoren met breedtes 22.5°. Dat levert dan per sector de kans $P(M_{12} > m | R=r)$. Voor details wordt verwezen naar de systeemdokumentatie van Hydra-NL. De resultaten staan in Tabel 4-25 en Tabel 4-26. Het bestand is digitaal beschikbaar als "CondPovMaasmond_12u_zichtjaar1985_2017.txt".

Deze kansen gelden voor zichtjaar 1985. In toepassingen dient de juiste zeespiegelstijging sinds dit zichtjaar apart in rekening te worden gebracht (wat in Hydra-NL en Hydra-Ring eenvoudig valt te doen).

Richting	ZW 225	WZW 247.5	W 270	WNW 292.5	NW 315	NNW 337.5	N 360
m+NAP	0.1128	0.1001	0.0752	0.0501	0.0396	0.0369	0.0307
0.80	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
0.90	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
1.00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
1.10	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	9.938E-01
1.20	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	5.998E-01
1.30	6.424E-01	8.811E-01	1.000E+00	1.000E+00	7.721E-01	6.528E-01	3.644E-01
1.40	2.761E-01	4.532E-01	8.010E-01	9.153E-01	5.198E-01	4.264E-01	2.228E-01
1.50	1.189E-01	2.344E-01	4.768E-01	5.797E-01	3.524E-01	2.805E-01	1.370E-01
1.60	5.129E-02	1.219E-01	2.856E-01	3.693E-01	2.405E-01	1.856E-01	8.471E-02
1.70	2.217E-02	6.375E-02	1.721E-01	2.366E-01	1.650E-01	1.236E-01	5.266E-02
1.80	9.605E-03	3.350E-02	1.043E-01	1.524E-01	1.139E-01	8.270E-02	3.291E-02
1.90	4.170E-03	1.770E-02	6.358E-02	9.862E-02	7.902E-02	5.564E-02	2.067E-02
2.00	1.815E-03	9.397E-03	3.895E-02	6.412E-02	5.508E-02	3.761E-02	1.304E-02
2.10	7.922E-04	5.014E-03	2.399E-02	4.187E-02	3.857E-02	2.554E-02	8.264E-03
2.20	3.468E-04	2.688E-03	1.484E-02	2.746E-02	2.712E-02	1.742E-02	5.261E-03
2.30	1.523E-04	1.448E-03	9.224E-03	1.807E-02	1.915E-02	1.192E-02	3.363E-03
2.40	6.711E-05	7.833E-04	5.759E-03	1.194E-02	1.357E-02	8.197E-03	2.158E-03
2.50	2.969E-05	4.257E-04	3.610E-03	7.921E-03	9.657E-03	5.655E-03	1.391E-03
2.60	1.319E-05	2.323E-04	2.272E-03	5.271E-03	6.894E-03	3.916E-03	8.996E-04
2.70	5.889E-06	1.273E-04	1.436E-03	3.519E-03	4.938E-03	2.720E-03	5.840E-04
2.80	2.641E-06	7.005E-05	9.107E-04	2.357E-03	3.548E-03	1.896E-03	3.804E-04
2.90	1.191E-06	3.869E-05	5.796E-04	1.584E-03	2.557E-03	1.325E-03	2.486E-04
3.00	5.398E-07	2.145E-05	3.701E-04	1.067E-03	1.848E-03	9.294E-04	1.630E-04
3.10	2.461E-07	1.194E-05	2.371E-04	7.211E-04	1.340E-03	6.536E-04	1.073E-04
3.20	1.129E-07	6.665E-06	1.524E-04	4.886E-04	9.735E-04	4.609E-04	7.077E-05
3.30	5.207E-08	3.734E-06	9.824E-05	3.320E-04	7.093E-04	3.259E-04	4.683E-05
3.40	2.417E-08	2.099E-06	6.351E-05	2.261E-04	5.181E-04	2.310E-04	3.108E-05
3.50	1.129E-08	1.183E-06	4.117E-05	1.544E-04	3.794E-04	1.641E-04	2.068E-05
3.60	5.302E-09	6.690E-07	2.676E-05	1.057E-04	2.784E-04	1.169E-04	1.380E-05
3.70	2.505E-09	3.794E-07	1.744E-05	7.253E-05	2.048E-04	8.349E-05	9.227E-06
3.80	1.190E-09	2.157E-07	1.139E-05	4.988E-05	1.509E-04	5.974E-05	6.187E-06
3.90	5.688E-10	1.230E-07	7.459E-06	3.438E-05	1.115E-04	4.284E-05	4.158E-06
4.00	2.731E-10	7.029E-08	4.896E-06	2.375E-05	8.252E-05	3.079E-05	2.801E-06
4.10	1.318E-10	4.027E-08	3.220E-06	1.644E-05	6.119E-05	2.217E-05	1.891E-06
4.20	6.389E-11	2.313E-08	2.123E-06	1.140E-05	4.547E-05	1.600E-05	1.279E-06
4.30	3.110E-11	1.331E-08	1.402E-06	7.927E-06	3.384E-05	1.157E-05	8.673E-07
4.40	1.520E-11	7.679E-09	9.282E-07	5.521E-06	2.524E-05	8.379E-06	5.892E-07
4.50	7.451E-12	4.438E-09	6.156E-07	3.852E-06	1.885E-05	6.080E-06	4.010E-07
4.60	3.666E-12	2.571E-09	4.091E-07	2.693E-06	1.411E-05	4.420E-06	2.735E-07
4.70	1.809E-12	1.492E-09	2.723E-07	1.886E-06	1.057E-05	3.219E-06	1.868E-07
4.80	8.946E-13	8.673E-10	1.816E-07	1.323E-06	7.938E-06	2.348E-06	1.278E-07
4.90	4.436E-13	5.051E-10	1.213E-07	9.301E-07	5.968E-06	1.716E-06	8.764E-08
5.00	2.205E-13	2.947E-10	8.120E-08	6.549E-07	4.494E-06	1.255E-06	6.018E-08

Tabel 4-25 Conditionele overschrijdingskansen voor Maasmond 1985, voor 12-uursperioden (eerste deel).

Richting	ZW 225	WZW 247.5	W 270	WNW 292.5	NW 315	NNW 337.5	N 360
m+NAP	0.1128	0.1001	0.0752	0.0501	0.0396	0.0369	0.0307
5.10	1.098E-13	1.722E-10	5.443E-08	4.618E-07	3.389E-06	9.202E-07	4.139E-08
5.20	5.473E-14	1.008E-10	3.655E-08	3.262E-07	2.560E-06	6.755E-07	2.851E-08
5.30	2.731E-14	5.910E-11	2.458E-08	2.308E-07	1.936E-06	4.966E-07	1.967E-08
5.40	1.366E-14	3.470E-11	1.655E-08	1.636E-07	1.466E-06	3.656E-07	1.359E-08
5.50	6.883E-15	2.040E-11	1.117E-08	1.161E-07	1.112E-06	2.696E-07	9.400E-09
5.60	3.442E-15	1.201E-11	7.544E-09	8.253E-08	8.445E-07	1.990E-07	6.513E-09
5.70	1.776E-15	7.081E-12	5.104E-09	5.875E-08	6.421E-07	1.472E-07	4.518E-09
5.80	8.882E-16	4.180E-12	3.458E-09	4.188E-08	4.889E-07	1.089E-07	3.139E-09
5.90	4.441E-16	2.471E-12	2.346E-09	2.990E-08	3.727E-07	8.076E-08	2.183E-09
6.00	2.220E-16	1.462E-12	1.594E-09	2.138E-08	2.844E-07	5.994E-08	1.520E-09
6.10	1.110E-16	8.664E-13	1.084E-09	1.531E-08	2.173E-07	4.455E-08	1.060E-09
6.20	1.110E-16	5.139E-13	7.386E-10	1.097E-08	1.662E-07	3.314E-08	7.400E-10
6.30	0.000E+00	3.052E-13	5.037E-10	7.876E-09	1.273E-07	2.469E-08	5.172E-10
6.40	0.000E+00	1.814E-13	3.440E-10	5.661E-09	9.762E-08	1.841E-08	3.619E-10
6.50	0.000E+00	1.079E-13	2.352E-10	4.074E-09	7.492E-08	1.375E-08	2.535E-10
6.60	0.000E+00	6.428E-14	1.610E-10	2.936E-09	5.757E-08	1.028E-08	1.777E-10
6.70	0.000E+00	3.830E-14	1.104E-10	2.118E-09	4.428E-08	7.692E-09	1.248E-10
6.80	0.000E+00	2.287E-14	7.573E-11	1.530E-09	3.410E-08	5.762E-09	8.767E-11
6.90	0.000E+00	1.366E-14	5.202E-11	1.107E-09	2.628E-08	4.322E-09	6.166E-11
7.00	0.000E+00	8.216E-15	3.578E-11	8.012E-10	2.027E-08	3.244E-09	4.341E-11
7.10	0.000E+00	4.885E-15	2.463E-11	5.808E-10	1.566E-08	2.438E-09	3.059E-11
7.20	0.000E+00	2.887E-15	1.698E-11	4.215E-10	1.210E-08	1.834E-09	2.158E-11
7.30	0.000E+00	1.776E-15	1.171E-11	3.062E-10	9.365E-09	1.381E-09	1.524E-11
7.40	0.000E+00	9.992E-16	8.092E-12	2.227E-10	7.253E-09	1.041E-09	1.077E-11
7.50	0.000E+00	6.661E-16	5.595E-12	1.621E-10	5.622E-09	7.854E-10	7.615E-12
7.60	0.000E+00	3.331E-16	3.872E-12	1.182E-10	4.362E-09	5.931E-10	5.390E-12
7.70	0.000E+00	2.220E-16	2.683E-12	8.622E-11	3.387E-09	4.483E-10	3.819E-12
7.80	0.000E+00	1.110E-16	1.860E-12	6.297E-11	2.633E-09	3.392E-10	2.708E-12
7.90	0.000E+00	1.110E-16	1.291E-12	4.604E-11	2.048E-09	2.569E-10	1.922E-12
8.00	0.000E+00	0.000E+00	8.973E-13	3.369E-11	1.594E-09	1.947E-10	1.365E-12

Tabel 4-26 Conditionele overschrijdingskansen voor Maasmond 1985, voor 12-uursperioden (vervolg).

4.11.2 Omgaan met onzekerheid in 12-uurskansen Maasmond, zichtjaar 1985

In [Chbab, 2015] worden gegevens getoond voor het verwerken van de onzekerheid, zie Tabel 4-27. De onzekerheidsmodellering kan op twee manieren worden toegepast: dat kan op de zojuist genoemde 10^o-Weibulls, maar ook op de zojuist met Hydra-NL bepaalde 12-uurskansen.

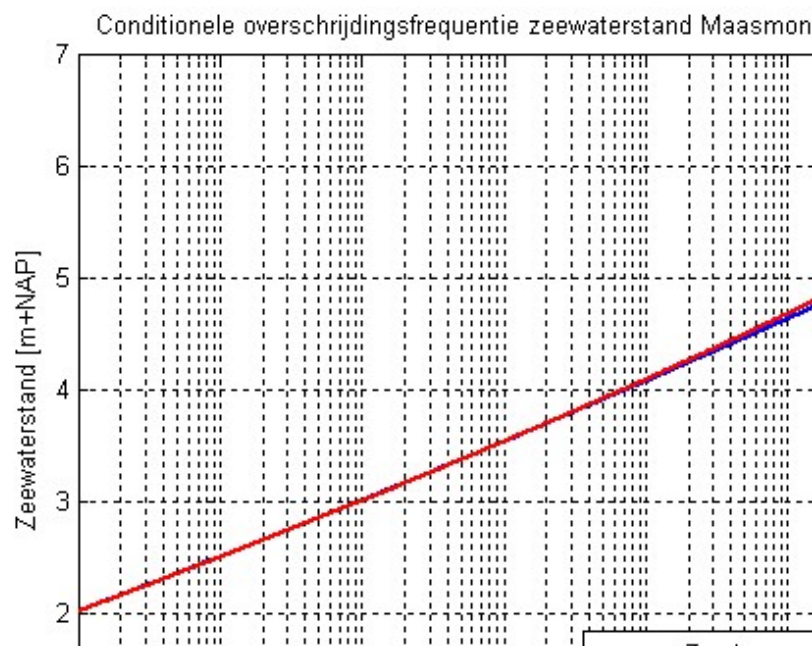
Het meest plausibel lijkt het de onzekerheid 'toe te voegen' aan de Weibulls. Dat resulteert echter niet in verdelingen die opnieuw van de Weibull-vorm zijn (een Weibull inclusief onzekerheid heeft geen analytische vorm, en dus zeker geen Weibull-vorm). Oftewel, het is niet mogelijk de onzekerheid toe te voegen aan de 10^o-Weibulls. Vandaar dat wordt gekozen voor het toevoegen van de onzekerheid aan de 12-uurskansen die intern in Hydra-NL worden bepaald.

Maasmond		
Onzekerheid: Normale verdeling		
Zeewaterstand	Gemiddelde	Stand.dev
m+NAP	m+NAP	m
2.815	0	0.020
2.915	0	0.020
3.549	0	0.065
4.237	0	0.143
4.975	0	0.258
5.764	0	0.418

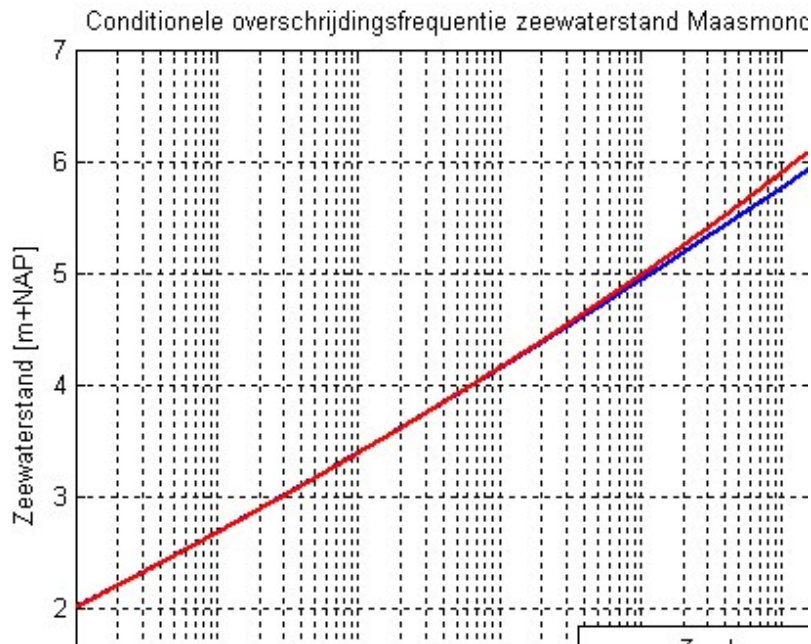
Tabel 4-27 Gegevens voor verwerken onzekerheid zeewaterstand Maasmond. Model: additief/normaal.

Dat laatste houdt wel in dat de code van Hydra-NL moet worden aangepast. De gegevens uit Tabel 4-27 moeten door Hydra-NL worden ingelezen, waarna de onzekerheid moet worden toegevoegd aan de intern door Hydra-NL berekende 12-uurskansen. Dat levert dan 12-uurskansen inclusief onzekerheid, waarmee de verdere (interne) berekeningen door Hydra-NL worden gemaakt.

Dit aanpassen van Hydra-NL valt buiten de scope van dit project. Het is wel mogelijk om aan te geven hoe de onzekerheid doorwerkt op de 12-uurskansen uit Tabel 4-25 en Tabel 4-26. Zie voor de richtingen W en NW Figuur 4-15 en Figuur 4-16. De vergelijking met [Chbab, 2015] is voor deze richtingen niet te maken, omdat daarin alleen gegevens voor de omni-directionele situatie worden gegeven.

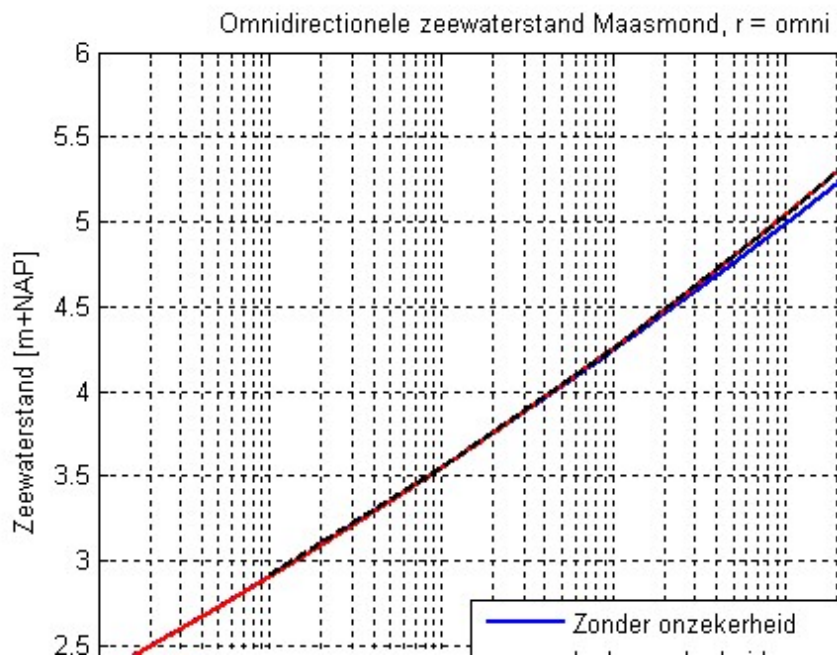


Figuur 4-15 Resultaten onzekerheid Maasmond 1985, richting W (270°).



Figuur 4-16 Resultaten onzekerheid Maasmond 1985, richting NW (315°).

In [Chbab, 2015] wordt de omnidirectionele verdeling voor Hoek van Holland gegeven. Door deze 0.02 m omlaag te schuiven wordt de verdeling voor Maasmond verkregen. Voor deze situatie kunnen we de resultaten wél vergelijken met die uit [Chbab, 2015]. Figuur 4-17 laat zien dat onze resultaten overeenstemmen met die uit [Chbab, 2015].



Figuur 4-17 Resultaten onzekerheid Maasmond 1985, omnidirectionele verdeling.

5 Conclusies en nieuwe invoerbestanden

5.1 Conclusies

Eén van de doelen van dit project is om te onderzoeken hoe statistische onzekerheden voor de basisstochasten uit Hydra-NL moeten worden uitgeïntegreerd. Dat heeft geresulteerd in de formules uit hoofdstuk 3, waarmee het uitintegreren numeriek kan worden uitgevoerd. In hoofdstuk 4 is de beschreven werkwijze toegepast op de basisstochasten, resulterend in de uitgeïntegreerde frequentie- en kansverdelingen daarvan, met gegevens voor de onzekerheidsmodelleringen afkomstig uit [Chbab, 2015] en deels van de ftp-site van Deltares.

De conclusie is dat voor de afvoeren, meerpeilen en de omni-directionele zeewaterstand bij Maasmond de uitgeïntegreerde verdelingen volledig overeenstemmen met die uit [Chbab, 2015].

N.B. Dit rapport geeft de stand van zaken weer van februari 2016. T.o.v. een eerdere versie van dit rapport is de windstatistiek voor Schiphol en Deelen in termen van 22.5°-sectoren aangepast. Zie paragraaf 1.3 voor de motivatie daarvoor.

5.2 Nieuwe invoerbestanden

Een ander doel van het project is om invoerbestanden voor Hydra-NL te bepalen, zowel met als zonder onzekerheid. Deze bestanden zijn bedoeld voor de WTI2017 en worden digitaal beschikbaar gesteld.

Tabel 5-1 t/m Tabel 5-3 geeft een overzicht van de gemaakte invoerbestanden voor Hydra-NL, waarbij de naamgeving voor zich spreekt (waarbij wordt aangenomen dat de lezer op de hoogte is van de soort invoer die voor Hydra-NL vereist is).

Ovkans_Borgharen_piekafvoer_2017.txt
 Ovkans_Borgharen_piekafvoer_2017_metOnzHeid.txt
 Ovkans_Dalfsen_piekafvoer_2017.txt
 Ovkans_Dalfsen_piekafvoer_2017_metOnzHeid.txt
 Ovkans_Lith_piekafvoer_2017.txt
 Ovkans_Lith_piekafvoer_2017_metOnzHeid.txt
 Ovkans_Lobith_piekafvoer_2017.txt
 Ovkans_Lobith_piekafvoer_2017_metOnzHeid.txt
 Ovkans_Olst_piekafvoer_2017.txt
 Ovkans_Olst_piekafvoer_2017_metOnzHeid.txt
 Topduur_Borgharen_2017.txt
 Topduur_Dalfsen_2017.txt

Tabel 5-1 Lijst met nieuwe invoerbestanden voor afvoeren.

Ovkans_IJsselmeer_piekmeerpeil_2017.txt
 Ovkans_IJsselmeer_piekmeerpeil_2017_metOr
 Ovkans_Markermeer_piekmeerpeil_2017.txt
 Ovkans_Markermeer_piekmeerpeil_2017_metC
 Topduur_IJsselmeer_2017.txt

Tabel 5-2 *Lijst met nieuwe invoerbestanden voor meerpeilen.*

Ovkanswind_Deelen_2017.txt
 Ovkanswind_Deelen_2017_metOnzHeid.txt
 Ovkanswind_Schiphol_2017.txt
 Ovkanswind_Schiphol_2017_metOnzHeid.txt
 Ovkanswind_Schiphol_Volkerfactor_2017.txt
 Ovkanswind_Schiphol_Volkerfactor_2017_metOr
 Ovkanswind_Schiphol_Volkerfactor_2017_metC

Tabel 5-3 *Lijst met nieuwe invoerbestanden voor wind.*

Terzijde nog het volgende. In paragraaf 4.11.1 wordt een bestand met conditionele overschrijdingskansen van de zeewaterstand voor Maasmond besproken (zie Tabel 4-25 en Tabel 4-26). Dat bestand is digitaal beschikbaar, omdat het mogelijk kan dienen als invoerbestand voor Hydra-Ring (getiteld "CondPovMaasmond_12u_zichtjaar1985_2017.txt"). Het bestand is echter geen invoer voor Hydra-NL.

6 Referenties

[Den Bieman, 2015]

Controle bereik productieberekeningen WTI2017. Deltares memorandum. Joost den Bieman, 2 april 2015.

[Caires, 2009]

Extreme wind statistics for the inference of the hydraulic boundary conditions for the Dutch primary water defences. SBW-Belastingen: Phase 2 of subproject 'Wind modelling'. Deltares report, 1200264-005.

[Chbab, 2015]

Basisstochasten WTI-2017. Statistiek en statistische onzekerheid. Houcine Cbab. Kenmerk 1209433-012-HYE-0007, 2 december 2015, voorlopig. N.B. Status van dit rapport is volgens begeleidende mail 'concept'.

[Deltares, 2015]

Hydra-Ring 1.2. Probabilistics toolbox for the WTI2017. Validation document. Version: 1.2.5479, 28 October 2015.

[Geerse et al, 2002]

Wind-waterstandstatistiek Hoek van Holland. 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, 2006]

Hydraulische Randvoorwaarden 2006 Vecht- en IJsseldelta - Statistiek IJsselmeerpeil, afvoeren en stormverlopen voor Hydra-VIJ. C.P.M. Geerse. RIZA-werkdocument 2006.036x. Rijkswaterstaat-RIZA. Lelystad, januari 2006.

[Geerse, 2008]

Hydra-VIJ invoer Markermeer (herziene en uitgebreide versie van 9 oktober). C.P.M. Geerse. Memo PR1371.30. HKV Lijn in Water, Lelystad, 28 augustus 2008.

[Geerse en Verkaik, 2010]

Effect nieuwe windstatistiek op toetspeilen en benodigde kruinhoogten. C.P.M. Geerse en J.W. Verkaik. HKV Lijn in Water, februari 2010.

[Geerse, 2010]

Overzichtsdocument probabilistische modellen zoete wateren. Hydra-VIJ, Hydra-B en Hydra-Zoet. C.P.M. Geerse (HKV), met medewerking van Herbert Berger en Robert Slomp (Waterdienst). HKV Lijn in Water, Lelystad, juli 2010. In opdracht van de Waterdienst.

[Geerse, 2011]

Hydra-Zoet for the fresh water systems in the Netherlands. Probabilistic model for the assessment of dike heights. C.P.M. Geerse (HKV), met medewerking van Robert Slomp (Waterdienst) en J.P. de Waal (Deltares). HKV Lijn in Water, december 2011. In opdracht van de Waterdienst.

[Geerse, 2015]

Werkwijze uitintegreren onzekerheden basisstochasten voor Hydra-NL . Afvoeren, meerpeilen, zeewaterstanden en windsnelheden. C.P.M. Geerse. PR3216.10. HKV Lijn in Water, december 2015. In opdracht van RWS - WVL.

[Roskam et al, 2000]

Richtingsafhankelijke extreme-waarden voor HW-standen, golfhoogten en golfperioden.
A.P. Roskam, J. Hoekema en J.J. Seiffert. Rapport RIKZ/2000.040. RIKZ Den Haag,
december 2000.

[Wojciechowska, 2016]

Afleiden nieuwe windstatistiek. Memo. K. Wojciechowska. PR3216.10. HKV Lijn in Water,
februari 2016.

Bijlage A: Overschrijdingskansen afvoeren met onzekerheid

Olst

* Overschrijdingskansen piekwaarde Olst (Hydra-NL). Met statistische onzekerheid.

*

* Basisduur trapezia: B = 30 dagen.

*

* Piekwaarde Overschrijdingskans

* [m3/s]	[-]
200	1.000E+00
600	3.030E-01
800	8.536E-02
1000	4.372E-02
1200	2.271E-02
1400	1.136E-02
1600	5.837E-03
1800	3.064E-03
2000	1.599E-03
2200	7.256E-04
2400	2.446E-04
2600	7.105E-05
2800	2.210E-05
3000	7.639E-06
3200	2.862E-06
3400	1.138E-06
3600	4.717E-07
3800	2.015E-07
4000	8.812E-08

Inhoud van bestand "Ovkans_Olst_piekafvoer_2017_metOnzHeid.txt".

Dalfsen

* Overschrijdingskansen piekwaarde Dalfsen (Hydra-NL). Met statistische onzekerheid.

*

* Basisduur trapezia: B = 30 dagen.

*

* Piekwaarde Overschrijdingskans

[m ³ /s]	[-]
0	1.0
180	1.667E-01
350	6.257E-03
360	5.323E-03
380	3.842E-03
400	2.767E-03
420	2.001E-03
440	1.459E-03
460	1.077E-03
480	8.041E-04
500	6.070E-04
520	4.623E-04
540	3.547E-04
560	2.739E-04
580	2.126E-04
600	1.659E-04
620	1.300E-04
640	1.023E-04
660	8.088E-05
680	6.416E-05
700	5.110E-05
720	4.084E-05
740	3.276E-05
760	2.636E-05
780	2.128E-05
800	1.724E-05
820	1.400E-05
840	1.141E-05
860	9.317E-06
880	7.630E-06
900	6.265E-06
920	5.157E-06
940	4.254E-06
960	3.517E-06
980	2.914E-06
1000	2.420E-06

Inhoud van bestand "Ovkans_Dalfsen_piekafvoer_2017_metOnzHeid.txt". N.B. Met onzekerheid, waarin de aftopping bij 800 m³/s niet is verwerkt.

Lobith

* Overschrijdingskansen piekwaarde Lobith (Hydra-NL). Met statistische onzekerheid.

*

* Basisduur trapezia: B = 30 dagen.

*

* Piekwaarde Overschrijdingskans

* [m3/s]	[-]
750	1.0
1000	0.97
1500	0.8
3500	0.3
4500	0.22
5940	8.333E-02
6500	6.470E-02
7000	5.187E-02
7500	4.132E-02
8000	3.240E-02
8500	2.467E-02
9000	1.842E-02
9500	1.365E-02
10000	1.008E-02
10500	7.431E-03
11000	5.465E-03
11500	4.002E-03
12000	2.918E-03
12500	2.112E-03
13000	1.496E-03
13500	1.008E-03
14000	6.219E-04
14500	3.438E-04
15000	1.739E-04
15500	8.491E-05
16000	4.178E-05
16500	2.111E-05
17000	1.095E-05
17500	5.804E-06
18000	3.137E-06
18500	1.725E-06
19000	9.629E-07
19500	5.446E-07
20000	3.115E-07
20500	1.799E-07
21000	1.048E-07
21500	6.147E-08
22000	3.631E-08
22500	2.159E-08
23000	1.292E-08
23500	7.769E-09
24000	4.698E-09
24500	2.855E-09
25000	1.743E-09

Inhoud van bestand "Ovkans_Lobith_piekafvoer_2017_metOnzHeid.txt".

Borgharen

* Overschrijdingskansen piekwaarde Borgharen (Hydra-NL). Met statistische onzekerheid.

*

* Basisduur trapezia: B = 30 dagen.

*

* Piekwaarde Overschrijdingskans

* [m3/s]	[-]
0	1.00
75	0.995
200	0.88
300	0.76
500	0.55
1000	0.264
1440	8.333E-02
1600	6.322E-02
1800	4.486E-02
2000	3.111E-02
2200	2.059E-02
2400	1.322E-02
2600	8.468E-03
2800	5.419E-03
3000	3.426E-03
3200	2.114E-03
3400	1.247E-03
3600	6.887E-04
3800	3.539E-04
4000	1.732E-04
4200	8.474E-05
4400	4.327E-05
4600	2.336E-05
4800	1.321E-05
5000	7.731E-06
5200	4.635E-06
5400	2.830E-06
5600	1.754E-06
5800	1.101E-06
6000	6.988E-07

Inhoud van bestand "Ovkans_Borgharen_piekafvoer_2017_metOnzHeid.txt".

Lith

* Overschrijdingskansen piekwaarde Lith (Hydra-NL). Met statistische onzekerheid.

*

* Basisduur trapezia: B = 30 dagen.

*

* Piekwaarde Overschrijdingskansen

* [m3/s]	[-]
0	1.00
75	0.995
200	0.88
300	0.76
500	0.55
1000	0.264
1400	7.918E-02
1600	5.759E-02
1800	3.893E-02
2000	2.524E-02
2200	1.560E-02
2400	9.515E-03
2600	5.827E-03
2800	3.532E-03
3000	2.087E-03
3200	1.171E-03
3400	6.080E-04
3600	2.921E-04
3800	1.349E-04
4000	6.374E-05
4200	3.202E-05
4400	1.711E-05
4600	9.573E-06
4800	5.533E-06
5000	3.276E-06
5200	1.976E-06
5400	1.211E-06
5600	7.522E-07
5800	4.728E-07
6000	3.003E-07

Inhoud van bestand "Ovkans_Lith_piekafvoer_2017_metOnzHeid.txt".

Bijlage B: Overschrijdingskansen meerpeilen met onzekerheid

IJsselmeer

* Overschrijdingskansen piekwaarde IJsselmeer. Met onzekerheid.

*

* Basisduur B = 30 dagen.

*

* Piekwaarde IJsselmeerpeil overschrijdingskans

* [m+NAP]	[-]
-0.40	1.000
0.05	0.166667
0.40	0.016667
0.50	5.886E-03
0.60	2.195E-03
0.70	8.379E-04
0.80	3.464E-04
0.90	1.520E-04
1.00	6.982E-05
1.10	3.366E-05
1.20	1.698E-05
1.30	8.909E-06
1.40	4.838E-06
1.50	2.711E-06
1.60	1.563E-06
1.70	9.244E-07
1.80	5.597E-07
1.90	3.459E-07
2.00	2.176E-07
2.10	1.392E-07
2.20	9.030E-08
2.30	5.936E-08
2.40	3.950E-08

Inhoud van bestand "Ovkans_IJsselmeer_piekmeerpeil_2017_metOnzHeid.txt".

Markermeer

* Overschrijdingskansen piekwaarde Markermeer. Met onzekerheid.

*

* Basisduur B = 60 dagen.

*

* Piekwaarde overschrijdingskansen

* [m+NAP]

 [-]

-0.40 1.000

-0.22 0.333300

0.10 1.140E-02

0.20 4.265E-03

0.30 1.652E-03

0.40 6.828E-04

0.50 2.980E-04

0.60 1.364E-04

0.70 6.563E-05

0.80 3.314E-05

0.90 1.746E-05

1.00 9.562E-06

1.10 5.418E-06

1.20 3.165E-06

1.30 1.901E-06

1.40 1.171E-06

1.50 7.366E-07

1.60 4.725E-07

1.70 3.083E-07

1.80 2.043E-07

1.90 1.372E-07

2.00 9.337E-08

Inhoud van bestand "Ovkans_Markermeer_piekmeerpeil_2017_metOnzHeid.txt".