

Opdrachtgever: **RWS - WVL**

Invloed onzekerheid op bepalen van waterstandsverlopen

Verandering percentielen van afvoer en meerpeil bij
meenemen statistische en modelonzekerheid waterstand



Opdrachtgever: **RWS - WVL**

Invloed onzekerheid op bepalen van waterstandsverlopen

Verandering percentielen van afvoer en meerpeil bij
meenemen statistische en modelonzekerheid waterstand



Auteurs

Guus Rongen
Chris Geerse

Inhoud

Lijst van tabellen	i
Lijst van figuren	iii
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Doel.....	5
2 Methode.....	7
2.1 Percentielen bij een waterstandsberekening.....	7
2.1.1 Relevantie percentielen voor waterstandsverlopen.....	7
2.1.2 Uitsplitsingen volgens Hydra-NL.....	8
2.2 Aanpak	9
2.2.1 Normen en modelonzekerheden	9
2.2.2 Hydra-NL en rekeninstellingen	10
2.2.3 Gebruikte databases.....	11
2.3 Effect onzekerheid waterstand op het toetspeil.....	11
2.3.1 Verband tussen decimeringswaarde en effect onzekerheid na uitintegreren	11
2.3.2 Vuistregel voor bepalen effect onzekerheid.....	14
2.3.3 Analytische afleiding van verband tussen Δh , h_{dec} en σ_{WS}	16
3 Resultaten	21
3.1 Bovenmaas.....	21
3.2 Rijntakken	23
3.3 Vecht-IJsseldelta	26
3.4 Rijn-Maasmonding	28
3.5 IJsselmeer.....	29
3.6 Markermeer	31
4 Discussie	33
4.1 Effect van onzekerheid op de uitsplitsingen.....	33
4.2 Effect van aantal discretisatiestappen voor onzekerheid	35
4.3 Opmerking over bepalen waterstandsverlopen voor de meren.....	37
5 Conclusies en aanbevelingen voor de waterstandsverlopen	39
5.1 Conclusies	39
5.2 Aanbevelingen	39
6 Referenties	41

Lijst van tabellen

Tabel 2-1	Uitsplitsingen naar de afvoer voor locatie 905.00_IJ (gedeeltelijke uitvoer Hydra-NL).....	9
Tabel 4-1	Effect aantal stappen voor de onzekerheid in de waterstand op het toetspeil (HRcomb_randlm_271, T = 3000 jaar).	36
Tabel 4-2	Effect aantal stappen voor de onzekerheid in de waterstand op het toetspeil (HRcomb_ijsselm_377, T = 300 jaar).	37

Lijst van figuren

Figuur 2-1:	Gekozen locatie met norm (ondergrens) en standaardafwijking van de waterstandsonzekerheid.	10
Figuur 2-2	Effect onzekerheid waterstand op de frequentielijn voor $h_{dec} = 0.6$ m en $\sigma_{ws} = 0.2$ m.....	12
Figuur 2-3	Effect onzekerheid waterstand op de frequentielijn voor $h_{dec} = 0.2$ m en $\sigma_{ws} = 0.2$ m.....	13
Figuur 2-4	Effect onzekerheid als functie van de decimeringswaarde (effect bij $T = 1000$ jaar).	13
Figuur 2-5	Effect onzekerheid als functie van de standaarddeviatie σ_{ws}	14
Figuur 2-6	Illustratie van de vuistregel voor de berekening van het effect van de onzekerheid (effect bepaald bij $T = 1000$ jaar).	15
Figuur 2-7	Illustratie van de vuistregel voor de berekening van het effect van de onzekerheid (effect bepaald bij $T = 100$ jaar).	15
Figuur 2-8	Illustratie van de vuistregel voor de berekening van het effect van de onzekerheid (effect bepaald bij $T = 10$ jaar).	16
Figuur 2-9:	Illustratie van de bepaling van Δh . Hierin duidt p een beschouwde overschrijdingskans aan die voldoende klein moet zijn. N.B. De kansen gelden voor de basisduur B.	18
Figuur 3-1:	Het effect van het toevoegen van statistische onzekerheid en modelonzekerheid, op het 90 ^{ste} percentiel van de afvoer langs de afvoergedomineerde Maas.	22
Figuur 3-2:	Uitsplitsingen van de afvoer en overschrijdingsfrequentielijnen voor 165.00_MA.....	22
Figuur 3-3:	Het effect van het toevoegen van statistische onzekerheid en modelonzekerheid, op het 90 ^{ste} percentiel van de afvoer langs de Rijntakken.	23
Figuur 3-4:	Uitsplitsingen van de afvoer en overschrijdingsfrequentielijnen voor 905.00_NR.....	24
Figuur 3-5:	Uitsplitsingen van de afvoer en overschrijdingsfrequentielijnen voor 965.00_IJ.....	24
Figuur 3-6:	Het effect van het toevoegen van statistische onzekerheid en modelonzekerheid, op het 90 ^{ste} percentiel van het IJsselmeerpeil in de Vecht-IJsseldelta.....	26
Figuur 3-7:	Het effect van het toevoegen van statistische onzekerheid en modelonzekerheid, op het 90 ^{ste} percentiel van de afvoer in de Vecht-IJsseldelta.....	26
Figuur 3-8:	Afvoersplitsingen en frequentielijnen voor aslocatie 995_IJ langs de IJssel.....	27
Figuur 3-9:	Afvoersplitsingen voor aslocatie 995_IJ langs de IJssel.....	27
Figuur 3-10:	Uitsplitsingen van de zeewaterstand voor aslocatie doki981 op de Dordtse Kil.....	28
Figuur 3-11:	Het effect van het toevoegen van statistische onzekerheid en modelonzekerheid op het 90 ^{ste} percentiel van de zeewaterstand in de Rijn-Maasmonding.....	28
Figuur 3-12:	Het effect van het toevoegen van statistische onzekerheid en modelonzekerheid op het 90 ^{ste} percentiel van de afvoer in de Rijn-Maasmonding.....	29
Figuur 3-13:	Afvoersplitsingen en frequentielijnen voor aslocatie hoi17 op de Hollandsche IJssel.	29
Figuur 3-14:	Het effect van het toevoegen van modelonzekerheid op het 90 ^{ste} percentiel van het meerpeil op het IJsselmeer.....	30
Figuur 3-15:	Meerpeiluitsplitsingen en frequentielijnen voor locatie HRcomb_ijsselmeer_1148 langs het IJsselmeer.	30
Figuur 3-16:	Het effect van het toevoegen van modelonzekerheid op het 90 ^{ste} percentiel van het meerpeil op het Markermeer.....	31
Figuur 3-17:	Meerpeiluitsplitsingen en frequentielijnen voor locatie Hh 135_ langs het Markermeer.	32
Figuur 4-1:	Cumulatieve kansbijdrage van de verschillende combinaties van onzekerheden voor een locatie langs de Limburgse Maas (45.00_MA).	34
Figuur 4-2:	Cumulatieve kansbijdrage van de verschillende combinaties van onzekerheden voor een locatie langs het IJsselmeer (HRcomb_randlm_377). De berekeningen zijn gedaan voor een terugkeertijd van 300 jaar.	34
Figuur 4-3:	Cumulatieve kansbijdrage van de verschillende combinaties van onzekerheden voor een locatie langs het IJsselmeer (HRcomb_randlm_609). De berekeningen zijn gedaan voor een terugkeertijd van 1000 jaar.....	35
Figuur 4-4	Ligging van locatie HRcomb_randlm_271.	35

Figuur 4-5:	Effect van het aantal stappen in de onzekerheidsberekening op de absolute kansbijdrage.	36
Figuur 4-6	Ligging van locatie HRcomb_ijsselm_377.	36
Figuur 4-7:	Effect van het aantal stappen in de onzekerheidsberekening op de absolute kansbijdrage voor locatie HRcomb_ijsselm_377.	37

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Voor het uitvoeren van bepaalde beoordelingssporen zijn waterstandsverlopen nodig. Deze verlopen zijn afhankelijk van de toetspeilen ("waterstanden bij de norm"). Op dit moment zijn de waterstandsverlopen *wat hun hoogte betreft* gebaseerd op de toetspeilen uit de Hydraulische Belastingen volgens de WBI2017; in deze toetspeilen zijn model- en statistische onzekerheden verdisconteerd. Bij het afleiden van de 'onderliggende' karakteristieke tijdsverlopen (die kunnen horen bij verschillende hoogtes van de waterstandsverlopen) werd echter géén rekening gehouden met modelonzekerheden en de statistische onzekerheden in de toetspeilen. Er is dus *geen heranalyse* gedaan om het effect op de karakteristieke tijdsverlopen te beschouwen van het meenemen van model- en statistische onzekerheden. Een vraag is daarom of de karakteristieke tijdsverlopen nog correct zijn nu die model- en statistische onzekerheden wel worden meegenomen.

In de verlopen worden zogenaamde 90^{ste} percentielen van meerpeilen en afvoeren gebruikt, respectievelijk aangeduid als $m_{90\%}$ en $q_{90\%}$. Als de waarden hiervoor door toevoegen van model- en statistische onzekerheden veranderen, zijn de op dit moment reeds afgeleide karakteristieke waterstandsverlopen niet langer geldig in combinatie met die onzekerheden. Er dient derhalve gecontroleerd te worden of de waarden $m_{90\%}$ en $q_{90\%}$ significant veranderen bij het rekenen met onzekerheden (model en statistisch).

Om zicht te krijgen op de verandering van die waarden dient een groot aantal locaties voor de zoete wateren te worden doorgerekend voor zowel de situatie zonder als die met onzekerheden (op voorhand is moeilijk in te schatten hoe onzekerheden doorwerken op $m_{90\%}$ en $q_{90\%}$, vandaar dat veel locaties moeten worden onderzocht). Op grond van deze resultaten kan dan worden beoordeeld of de waterstandsverlopen al of niet moeten worden aangepast.

1.2 Doel

Het onderzoeken in welke mate percentielen van meerpeilen en afvoeren veranderen, indien gerekend wordt met statistische onzekerheden en met modelonzekerheid in de waterstand. In het bijzonder gaat het dan om de verandering in de waarden van $m_{90\%}$ en $q_{90\%}$.

N.B. Als deze waarden veranderen door het meenemen van statistische onzekerheden en modelonzekerheid in de waterstand, dienen de waterstandsverlopen te worden herzien.

2 Methode

In deze studie wordt het effect van onzekerheden op het 90^{ste} percentiel van de afvoer en het meerpeil bepaald. Dit hoofdstuk beschrijft eerst de relevantie van deze percentielen voor de waterstandsverlopen. Daarna wordt de aanpak beschreven. Vervolgens wordt ingegaan op het verband tussen de decimeringswaarde van de frequentielijn van de waterstand en het effect van de onzekerheid in de waterstand op de ligging van de frequentielijn. Dat verband is nuttig voor de interpretatie van de resultaten in hoofdstuk 3 en 4.

2.1 Percentielen bij een waterstandsberekening

2.1.1 Relevantie percentielen voor waterstandsverlopen

De afgelopen jaren zijn door Deltares waterstandsverlopen afgeleid in het kader van WBI2017, die recent zijn opgenomen in de tool Waterstandsverlopen; zie o.m. [Geerse en Waterman, 2016] voor een beschrijving van de tool en voor een literatuuroverzicht van de gebruikte methodes en de feitelijke afleiding van de verlopen. In dit project zijn de volgende watersystemen van belang:¹

1. Bovenrivieren Rijn (ook aangeduid als Bovenrijn).
2. Bovenrivieren Maas (ook aangeduid als Bovenmaas).
3. Benedenrivieren.
4. Vecht- en IJsseldelta.
5. Meren (IJssel- en Markermeer).

Een waterstandsverloop – dat wordt gebruikt voor de toetsing waarbij langdurig aanhoudende waterstanden van belang zijn – kan worden gezien als een representatief tijdsverloop voor de waterstand, waarbij het maximum van het verloop gelijk is aan het toetspeil (te weten de waterstand bij de normfrequentie).

Voor de bovenrivieren, benedenrivieren en Vecht- en IJsseldelta wordt in de 'constructie' van de waterstandsverlopen gebruik gemaakt van het zogenaamde 90^{ste} percentiel $q_{90\%}$ van de afvoer. De waarde $q_{90\%}$ is per definitie de afvoer die met 90% kans wordt *onderschreden* ingeval het toetspeil wordt bereikt of overschreden. Oftewel: als het toetspeil wordt bereikt of overschreden, bestaat er slechts 10% kans op een hogere afvoer dan de waarde $q_{90\%}$.

Voor de meren wordt in de 'constructie' van de waterstandsverlopen gebruik gemaakt van het zogenaamde 90^{ste} percentiel $m_{90\%}$ van het meerpeil. Deze waarde heeft een soortgelijke betekenis als $q_{90\%}$. Zie voor achtergronden van de keuzes voor $q_{90\%}$ en $m_{90\%}$ in de constructie van de verlopen respectievelijk de rapporten [Calle, 2005] en [Geerse, 2007; Geerse, 2009].

Analoog aan het 90^{ste} percentiel van de afvoer en het meerpeil kunnen ook andere percentielen worden beschouwd. Zo duidt $m_{40\%}$ bijvoorbeeld op het 40^{ste} percentiel van het meerpeil: als het

¹ Voor de kust zijn ook verlopen afgeleid, maar in de constructie daarvan spelen de percentielen van afvoer, zeewaterstand en meerpeil geen rol. Vandaar dat de kust hier niet wordt beschouwd.

toetspeil wordt bereikt of overschreden, bestaat er 40% kans op een meerpeil dat de waarde $m_{40\%}$ *onderschrijdt*.

We merken we op dat de percentielen uit dit rapport altijd behoren bij een *waterstands*-berekening. Deze percentielen hangen af van (a) de betreffende locatie en (b) van de beschouwde terugkeertijd T.

2.1.2 Uitsplitsingen volgens Hydra-NL

De genoemde percentielen volgen uit de zogenaamde uitsplitsingen, die onderdeel zijn van de uitvoer van Hydra-NL. De methode van uitsplitsingen staat beschreven in o.m. [Geerse, 2011]. Een voorbeeld van de uitvoer voor een afvoergedomineerde locatie langs de IJssel staat in Tabel 2-1. Merk op dat een beknopte tabel met percentielen wordt gegeven direct naar de overschrijdingsfrequentie, terwijl meer gedetailleerde gegevens staan in het daaropvolgende overzicht. In dit geval is $q_{90\%} = 16432 \text{ m}^3/\text{s}$.

Hydra-NL levert – afhankelijk van de stochasten die een rol spelen in het watersysteem – ook uitsplitsingen voor de meerpeilen, windsnelheden en voor de zeewaterstanden. Deze uitsplitsingen kunnen worden berekend met en zonder onzekerheid in de waterstand.

Locatie = 905.00_IJ (205362,449853)
 Berekeningstype = Waterstand
 Waterstand = 10.93 (m+NAP)
 Terugkeertijd = 3000 (jaar)
 Overschrijdingsfrequentie = 3.33E-04 (per jaar)

Percentielen van de afvoer (m³/s) over alle gegevensblokken

percentiel	waarde
5%	15528
10%	15543
25%	15596
50%	15726
75%	16020
90%	16432
95%	16760

Uitsplitsingen over de afvoeren over alle gegevensblokken

afvoer (m³/s)	bijdrage	cond. cumul.
750 - 8000	0.000%	0.000%
8000 - 8200	0.000%	0.000%
...		
15000 - 15200	0.000%	0.000%
15200 - 15400	0.000%	0.000%
15400 - 15600	26.046%	26.046%
15600 - 15800	32.036%	58.082%
15800 - 16000	15.679%	73.761%
16000 - 16200	9.965%	83.726%
16200 - 16400	5.592%	89.318%
16400 - 16600	3.670%	92.988%
16600 - 16800	2.407%	95.395%
16800 - 17000	1.490%	96.885%
17000 - 17200	1.020%	97.906%
17200 - 17400	0.687%	98.593%
17400 - 17600	0.441%	99.035%
17600 - 17800	0.304%	99.339%
17800 - 18000	0.211%	99.550%
18000 - 18200	0.139%	99.689%
18200 - 18400	0.095%	99.784%
18400 - 18600	0.067%	99.851%
18600 - 18800	0.046%	99.897%
18800 - 19000	0.031%	99.928%
19000 - 19200	0.022%	99.950%
19200 - 19400	0.015%	99.965%
19400 - 19600	0.011%	99.976%
19600 - 19800	0.007%	99.983%
19800 - 20000	0.005%	99.988%
20000 - 20200	0.004%	99.992%
20200 - 20400	0.003%	99.994%
20400 - 20600	0.002%	99.996%
20600 - 20800	0.001%	99.997%
20800 - 21000	0.001%	99.998%
21000 - 21200	0.001%	99.999%
21200 - 21400	0.000%	99.999%
21400 - 21600	0.000%	99.999%
21600 - 21800	0.000%	99.999%
21800 - 22000	0.000%	100.000%
...		
...		
...		
23800 - 24000	0.000%	100.000%
24000 - 25000	0.000%	100.000%
som	100.000%	

Tabel 2-1 Uitsplitsingen naar de afvoer voor locatie 905.00_IJ (gedeeltelijke uitvoer Hydra-NL).

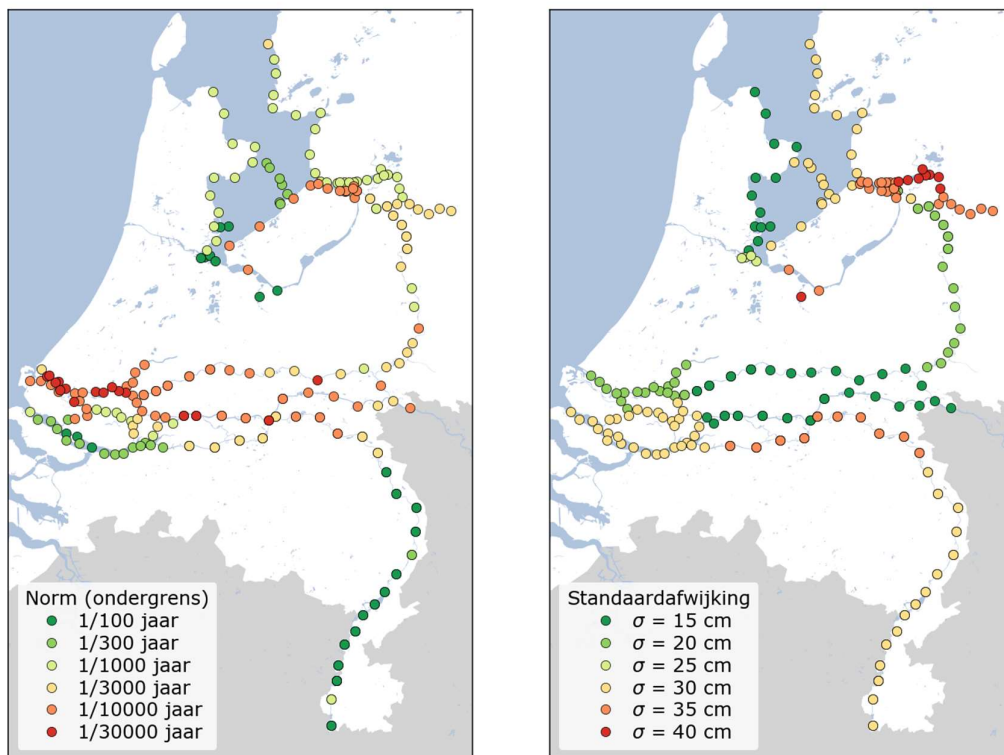
2.2 Aanpak

2.2.1 Normen en modelonzekerheden

Er zijn in totaal 250 aslocaties gekozen op de Maas, Rijntakken, Rijn-Maasmonding (RMM), Vecht- en IJsseldelta (VIJD), IJsselmeer en Markermeer. De centrale vraag in dit project is in welke mate het 90^{ste} percentiel van de afvoer of het meerpeil verschuift indien in de berekening de onzekerheid van de waterstand wordt meegenomen. Omdat deze percentielen afhangen van

de norm en de standaardafwijking van de waterstand, moet aan elke locatie een specifieke norm en standaardafwijking gekoppeld worden. N.B. De gebruikte normen zijn conform de vershilaanalyse [Botterhuis en Stijnen, 2016].

Voor de norm is het dichtstbijzijnde traject gekozen, waarbij rekening is gehouden met normverschillen aan weerszijde van de rivier *door het maximum van de norm-terugkeertijden te kiezen* (de strengste norm). Voor de standaardafwijking van de waterstandsonzekerheid is in principe de waarde gekozen zoals beschreven in [Duits, 2016], welke op hun beurt zijn overgenomen uit Hydra-Ring. In een aantal gevallen is van de aanbevolen waarde afgeweken. Voor Hydra-Ring bestaan voor bijvoorbeeld de Rijn-Maasmonding verschillen in standaardafwijking bij verschillende keringstoestanden; na middeling van deze waarden resulteert een getal dat na afronding groter wordt dan wellicht gewenst. In deze gevallen is een tussenwaarde gekozen, die dicht ligt bij de oorspronkelijke waarden en gelijk is voor beide keringssituaties. De gekozen locaties, de norm en de standaardafwijking ervan, zijn weergegeven in Figuur 2-1.



Figuur 2-1: Gekozen locatie met norm (ondergrens) en standaardafwijking van de waterstandsonzekerheid.

2.2.2 Hydra-NL en rekeninstellingen

Hydra-NL versie 1.3.0 is gebruikt voor de statistische berekeningen (4^e conceptversie). Deze versie van Hydra-NL kan rekenen met waterstandsonzekerheden als stochast. Er is gekozen om de modelonzekerheid van de waterstand in 15 stappen te discretiseren, het effect van deze keuze is verder uitgewerkt in paragraaf 4.2. De berekeningen zijn uitgevoerd met de zogenaamde testmodus, die meer uitvoer biedt dan de standaardmodus voor de reguliere gebruikers.

In Hydra-NL moeten discretisaties van stochasten worden gekozen. De gebruikte discretisaties wijken soms af van de standaardinstellingen; zo is bijvoorbeeld gekozen om het bereik aan doorgerekende meerpeilen iets te vergroten, om te vermijden dat voor zeer extreme terugkeertijden relevante kansbijdragen worden weggelaten. Voor de benedenrivieren is om praktische redenen met slechts één set discretisaties gerekend, hoewel de standaardinstellingen in een gebied iets kunnen verschillen (de nauwkeurigheid voor de doeleinden van dit project wordt voldoende geacht met deze versimpeling). De gebruikte instellingen zijn af te lezen in de uitvoer van de sommen; deze uitvoer wordt digitaal opgeleverd.

Een andere belangrijke instelling betreft het percentage afhankelijkheid van de 12-uursblokken voor de wind en de zeewaterstand. Daarvoor is 100% afhankelijkheid gekozen, omdat Hydra-Ring eveneens van die situatie uit gaat. Zie desgewenst voor achtergronden hiervan de systeemdocumentatie.

2.2.3 Gebruikte databases

De gebruikte databases zijn de HRD's afkomstig uit het WBI2017 (sqlite-databases). Dat betreft de opgeleverde versie per 1 september 2016 (per normtraject).

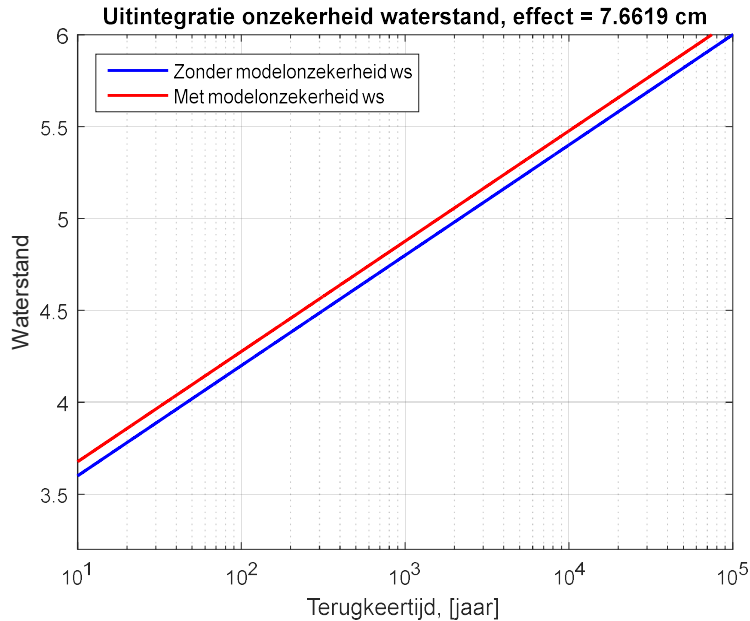
2.3 Effect onzekerheid waterstand op het toetspeil

Om resultaten uit de rest van het rapport beter te kunnen interpreteren, wordt in deze paragraaf ingegaan op het verband tussen de decimeringswaarde van de frequentielijn van de waterstand en het effect van de onzekerheid van de waterstand na uitintegreren.

Daarbij wordt alleen de situatie beschouwd dat sprake is van een logaritmisch verband tussen de terugkeertijd T en de bijbehorende waterstand: met T logaritmisch uitgezet is dan sprake van een rechte frequentielijn van de waterstand. In toepassingen komt het regelmatig voor dat in benadering aan deze situatie is voldaan. Een andere aanname is dat opeenvolgende 12-uursblokken volledig gecorreleerd zijn; aan die voorwaarde is in de berekeningen uit dit rapport voldaan.

2.3.1 Verband tussen decimeringswaarde en effect onzekerheid na uitintegreren

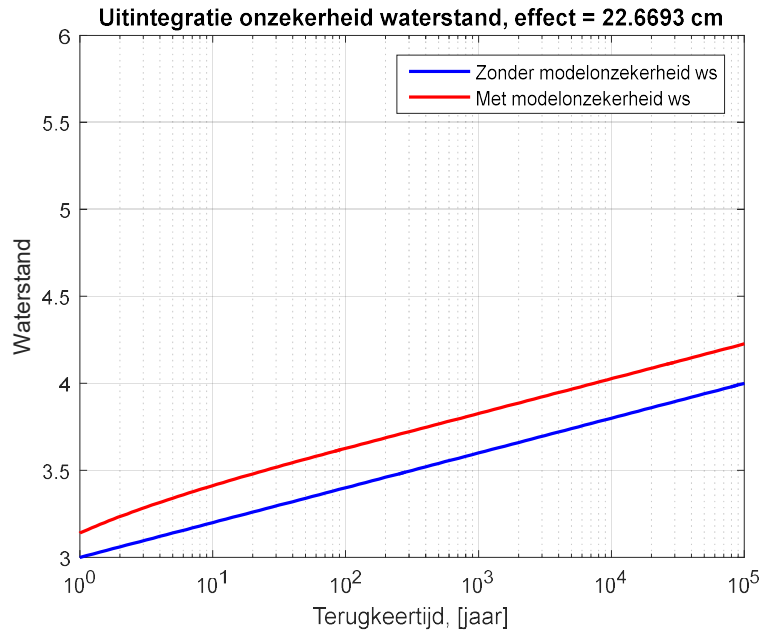
Neem aan dat sprake is van een logaritmisch verband tussen de terugkeertijd T en de bijbehorende waterstand. In dat geval is sprake van een goed gedefinieerde *decimeringswaarde* h_{dec} . Als de waterstand toeneemt met h_{dec} , neemt de bijbehorende terugkeertijd T toe met een factor 10.



Figuur 2-2 Effect onzekerheid waterstand op de frequentielijn voor $h_{dec} = 0.6$ m en $\sigma_{ws} = 0.2$ m.

Het blijkt dat de mate waarin de onzekerheid σ_{ws} van de waterstand doorwerkt op het toetspeil samenhangt met de grootte van de decimeringswaarde: bij een kleinere h_{dec} gaat de onzekerheid van de waterstand sterker doorwerken op het toetspeil. Figuur 2-2 laat een frequentielijn zonder onzekerheid zien met $h_{dec} = 0.6$ m. Tevens toont de figuur de frequentielijn inclusief onzekerheid in de waterstand, voor de situatie $\sigma_{ws} = 0.2$ m. Blijkbaar wordt dan een lijn verkregen die evenwijdig loopt aan degene zonder onzekerheid (in ieder geval zo op het oog bezien). Door het toevoegen van de onzekerheid – het zogenaamde uitintegreren – komt de frequentielijn 0.077 m hoger te liggen.

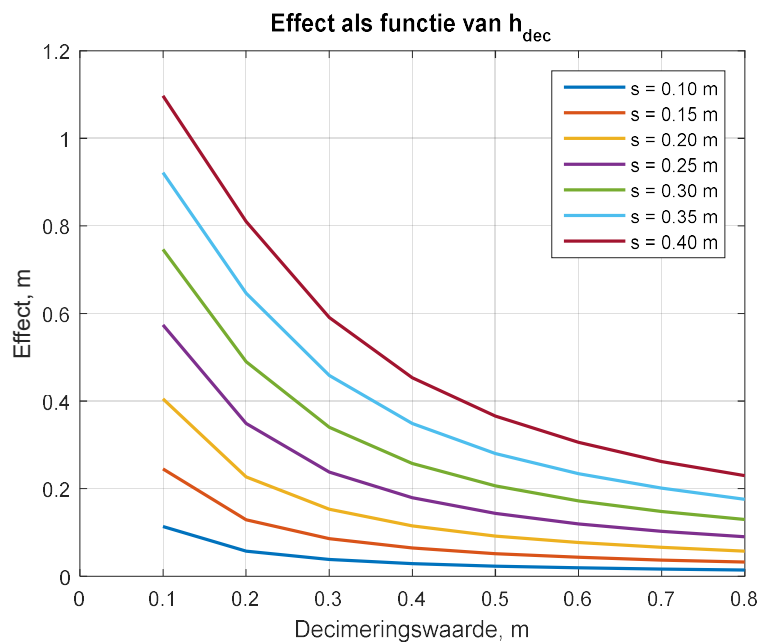
Bij een kleinere decimeringswaarde $h_{dec} = 0.2$ m blijkt dat effect veel groter te zijn, namelijk 0.227 m, zie Figuur 2-3. Merk op dat voor lage terugkeertijden de lijn met onzekerheid niet meer evenwijdig loopt met die zonder onzekerheid; blijkbaar geldt het evenwijdig lopen van beide lijnen slechts in benadering. Het verschil dat hier tussen de lijnen wordt bepaald, is 'afgelezen' bij $T = 1000$ jaar.



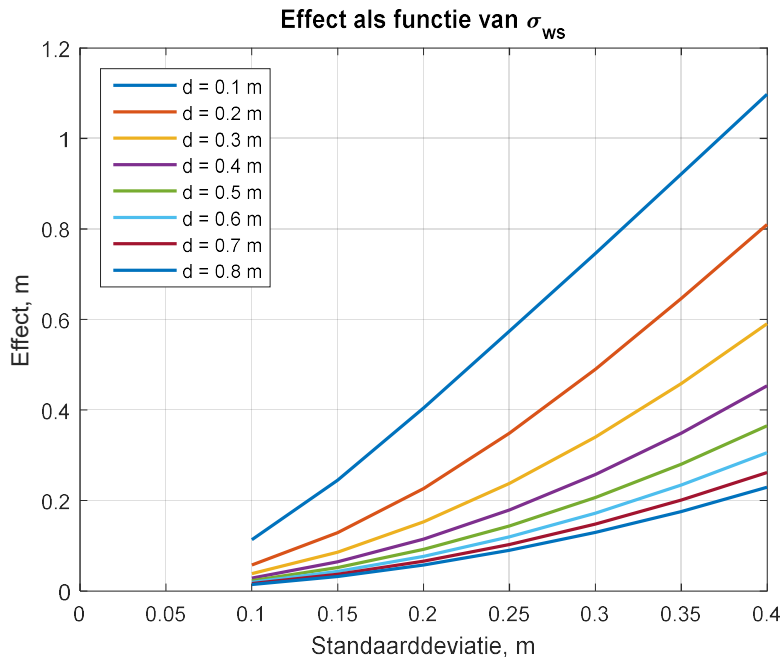
Figuur 2-3 Effect onzekerheid waterstand op de frequentielijn voor $h_{dec} = 0.2$ m en $\sigma_{ws} = 0.2$ m.

In Figuur 2-4 en Figuur 2-5 wordt grafisch in beeld gebracht hoe de decimeringswaarde h_{dec} (d in de figuur), de standaarddeviatie σ_{ws} (s in de figuur) en het effect met elkaar samenhangen. Het is duidelijk dat de decimeringwaarde grote invloed heeft op de grootte van het effect.

Terzijde wordt nog opgemerkt dat deze resultaten alleen gelden voor rechte frequentielijnen (indien logaritmisches op T uitgezet). Ook bij niet-rechte frequentielijnen zal blijken dat minder steile delen van de frequentielijn samengaan met een groter effect van de onzekerheid van de waterstand (zie de resultaten in hoofdstuk 3).



Figuur 2-4 Effect onzekerheid als functie van de decimeringwaarde (effect bij $T = 1000$ jaar).



Figuur 2-5 Effect onzekerheid als functie van de standaarddeviatie σ_{ws} .

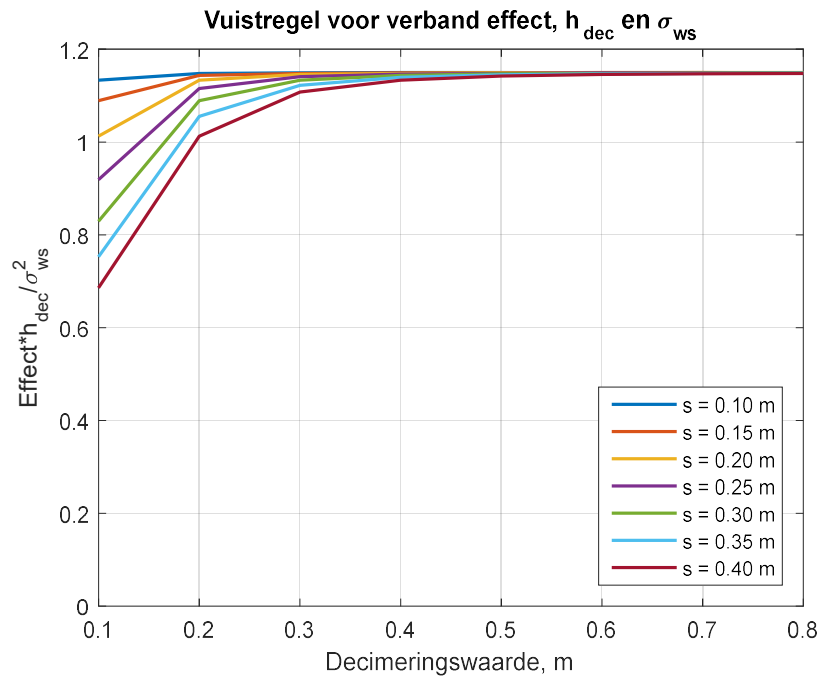
2.3.2 Vuistregel voor bepalen effect onzekerheid

Het blijkt dat er voor niet te kleine decimeringswaarden een simpele vuistregel is op te stellen voor het bepalen van het effect van de onzekerheid. We geven dat effect aan met Δh (in meters). Dan blijkt in goede benadering te gelden:

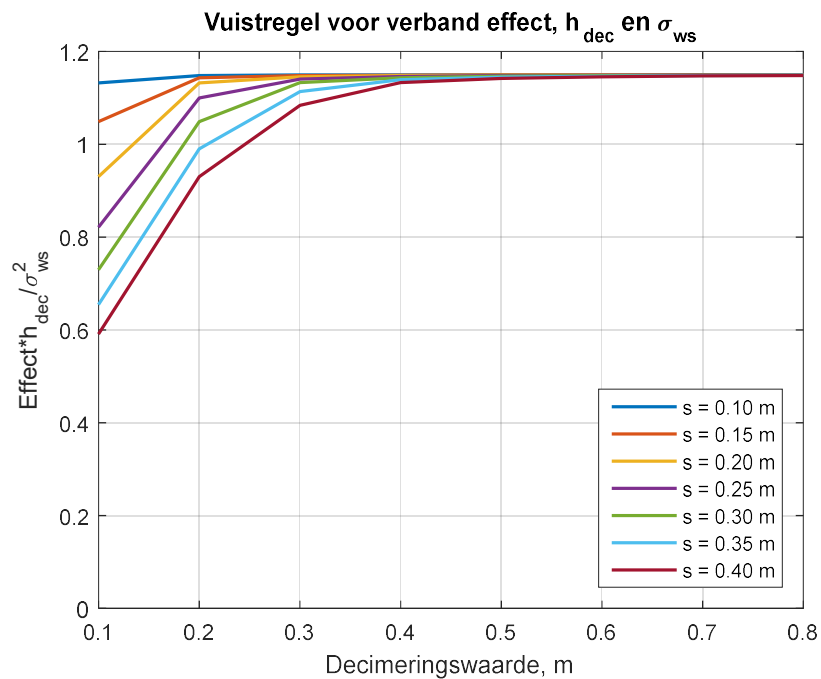
$$(2.1) \quad \Delta h = \frac{1.15}{h_{dec}} \sigma_{ws}^2, \quad \text{voor } h_{dec} \geq 0.3 \text{ m en } \sigma_{ws} \geq 0.1 \text{ m}$$

Dat is te zien door de grootte $\Delta h \cdot h_{dec} / \sigma_{ws}^2$ uit te zetten tegen h_{dec} (Figuur 2-6). Dat levert voor $h_{dec} > 0.3$ m een nagenoeg rechte lijn op ter hoogte van 1.15, waaruit de gevonden relatie blijkt. De verschillen zijn hier bepaald bij $T = 1000$ jaar, zodat deze vuistregel in principe geldt voor deze terugkeertijd. Het blijkt echter dat de vuistregel voor grotere T eveneens geldt (de kwaliteit van de benadering neemt zelfs toe bij groter wordende T). Ook blijkt de vuistregel nog goed te werken voor $T = 100$ jaar (Figuur 2-7). Voor $T = 10$ jaar wordt de benadering echter minder goed, zoals te zien is in Figuur 2-8. Resumerend kan worden gesteld dat de benadering (2.1) goed werkt voor $T \geq 100$ jaar. We brengen in herinnering dat deze benadering alleen van toepassing is voor situaties waarbij de frequentielijn in benadering een rechte lijn vormt indien logaritmisches uitgezet als functie van T .

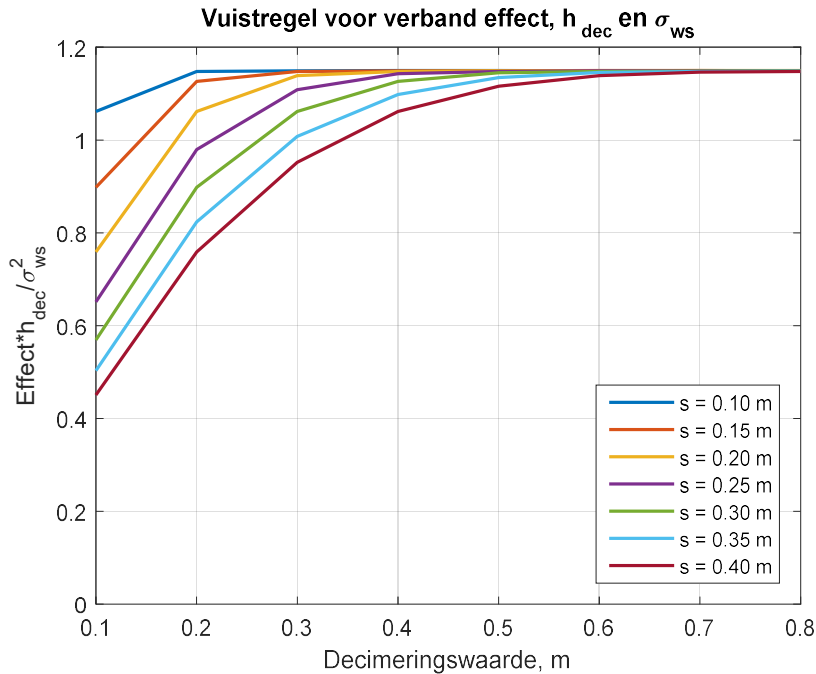
We merken op dat (2.1) ook analytisch kan worden afgeleid, waarbij de factor 1.15 uit de formule gelijk blijkt te zijn aan $\ln(10)/2 = 1.1513$. Die afleiding wordt gegeven in de volgende paragraaf, die uitsluitend bedoeld is voor de geïnteresseerde lezer. Kennis van deze afleiding is overbodig voor een goed begrip van de overige hoofdstukken uit dit rapport.



Figuur 2-6 Illustratie van de vuistregel voor de berekening van het effect van de onzekerheid (effect bepaald bij $T = 1000$ jaar).



Figuur 2-7 Illustratie van de vuistregel voor de berekening van het effect van de onzekerheid (effect bepaald bij $T = 100$ jaar).



Figuur 2-8 Illustratie van de vuistregel voor de berekening van het effect van de onzekerheid (effect bepaald bij $T = 10$ jaar).

2.3.3 Analytische afleiding van verband tussen Δh , h_{dec} en σ_{ws}

In deze paragraaf wordt formule (2.1) analytisch afgeleid. De inhoud is bedoeld voor de geïnteresseerde lezer, die bekend is met wiskundige formules. In de afleiding wordt gebruik gemaakt van enkele bewijzen uit [Geerse, 2002].

De setting is als volgt. We gaan uit van een exponentiële verdeling voor de waterstand X , met decimeringswaarde h_{dec} :

$$\begin{aligned}
 P(X > x) &= 10^{-\frac{x-b}{h_{dec}}}, \quad x \geq b \\
 (2.2) \quad &= \exp\left\{-\ln(10) \frac{x-b}{h_{dec}}\right\} \\
 &= \exp\left\{-\frac{x-b}{d}\right\}
 \end{aligned}$$

waarin d gedefinieerd is als:

$$(2.3) \quad d = \frac{h_{dec}}{\ln(10)}$$

N.B. In Hydra-NL geldt de verdeling van X voor de basisduur B , die meestal gelijk is aan $B = 30$ dagen (alleen voor het Markermeer geldt $B = 60$ dagen). Om aan de frequentieverdeling voor het winterhalfjaar te komen moet $P(X > x)$ dan nog worden vermenigvuldigd met het aantal keer dat de basisduur in het winterhalfjaar voorkomt.

De onzekerheid (in de waterstand) wordt aangeduid door de stochast Y , waarvoor een normale verdeling wordt aangenomen met gemiddelde μ en standaarddeviatie $\sigma = \sigma_{ws}$. Merk op dat we hier om de notatie wat te bekorten het subscript 'ws' gewoonlijk weglaten.

De waterstand inclusief onzekerheid wordt aangeduid door de stochast:

$$(2.4) \quad V = X + Y$$

Als $f(x)$ de kansdichtheid aangeeft van X , volgt m.b.v. (2.2) en (2.3):

$$(2.5) \quad \begin{aligned} P(V > v) &= P(X + Y > v) \\ &= \int_b^{\infty} dx f(x) P(Y > v - x) \\ &= \frac{1}{d} \int_b^{\infty} dx \exp\left\{-\frac{x-b}{d}\right\} \bar{\Phi}\left(\frac{v-x-\mu}{\sigma}\right) \end{aligned}$$

waarin $\bar{\Phi}$ de overschrijdingskans aangeeft van de standaardnormale verdeling (dus $\bar{\Phi} = 1 - \Phi$). Door de substitutie $w = (x-b)/d$ gaat deze integraal over in:

$$(2.6) \quad P(V > v) = \int_b^{\infty} dx \exp(-w) \bar{\Phi}\left(\frac{v-wd-b-\mu}{\sigma}\right)$$

Om gebruik te maken van afleidingen uit [Geerse, 2002] bekijken we nu de overschrijdingskans

$$(2.7) \quad P(V > vd) = \int_b^{\infty} dw \exp(-w) \bar{\Phi}\left(\frac{vd-wd-b-\mu}{\sigma}\right)$$

en definiëren we de grootheden

$$(2.8) \quad \bar{\Lambda}(t) = \bar{\Phi}\left(\frac{td}{\sigma}\right)$$

en

$$(2.9) \quad \delta = \frac{b+\mu}{d}$$

In dat geval kan worden geschreven:

$$(2.10) \quad \begin{aligned} \bar{\Lambda}(v-w-\delta) &= \bar{\Phi}\left(\frac{vd-wd-\delta d}{\sigma}\right) \\ &= \bar{\Phi}\left(\frac{vd-wd-b-\mu}{\sigma}\right) \end{aligned}$$

Uit (2.7) volgt dan:

$$(2.11) \quad P(V > vd) = \int_b^{\infty} dw \exp(-w) \bar{\Lambda}(v-w-\delta)$$

Op het rechterlid zijn dan de afleidingen uit paragraaf 3.2 van [Geerse, 2002] van toepassing. Definieer daartoe eerst de grootheid:

$$(2.12) \quad \delta_0 = -\ln \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} dt e^t \varphi_{\sigma/d}(t) \right\}$$

waarin $\varphi_{\sigma/d}$ de kansdichtheid van de normale verdeling aangeeft met gemiddelde 0 en standaarddeviatie σ/d . In paragraaf 3.1 van [Geerse, 2002] is uitgerekend dat:

$$(2.13) \quad \delta_0 = -\frac{1}{2} \left(\frac{\sigma}{d} \right)^2$$

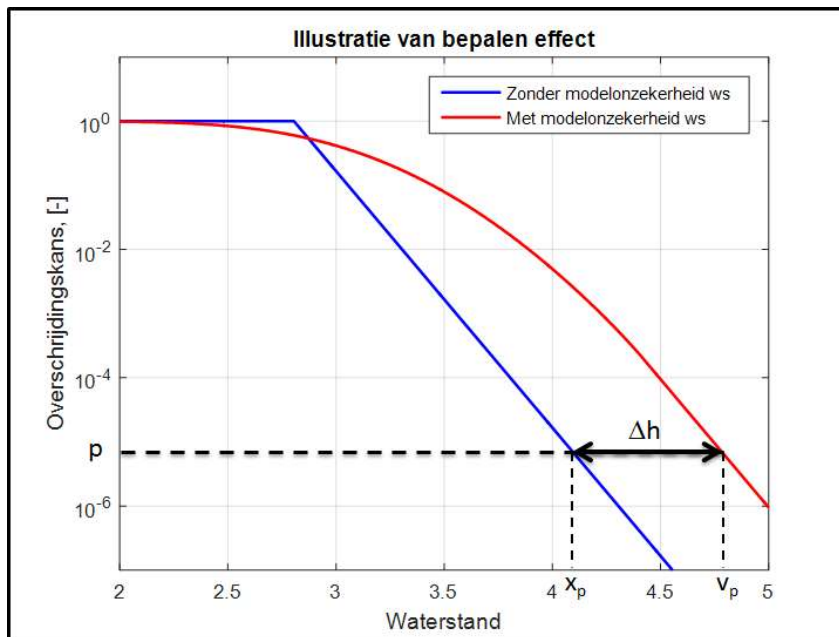
Volgens de afleidingen uit paragraaf 3.2 van [Geerse, 2002] geldt dan de volgende benadering:

$$(2.14) \quad P(V > vd) = \exp\{-v + \delta - \delta_0\}, \quad \text{voor } v \text{ voldoende groot}$$

N.B. De kwaliteit van de benadering in (2.14) is moeilijk aan te geven; zie daarover het eind van deze paragraaf. Voor de verdeling $P(V > v)$ volgt uit (2.14):

$$(2.15) \quad P(V > v) = \exp\{-v/d + \delta - \delta_0\}, \quad \text{voor } v \text{ voldoende groot}$$

Op grond van de verdelingen $P(X > x)$ en $P(V > v)$ uit (2.2) en (2.15) kan nu het effect Δh van de onzekerheid op de frequentielijn voor de waterstand worden bepaald, voor de situatie dat de benadering uit (2.15) gebruikt kan worden. De grootte $\Delta h = v_p - x_p$ is gedefinieerd als volgt, zie Figuur 2-9.



Figuur 2-9: Illustratie van de bepaling van Δh . Hierin duidt p een beschouwde overschrijdingskans aan die voldoende klein moet zijn. N.B. De kansen gelden voor de basisduur B .

Voor p voldoende klein (en dus v voldoende groot en daarmee voldoende hoge terugkeertijden) worden x_p en v_p dan bepaald door de voorwaarde:

$$(2.16) \quad p = P(X > x_p) = P(V > v_p)$$

Uit (2.2) en (2.15) volgt dan:

$$(2.17) \quad -v_p / d + \delta - \delta_0 = -\frac{x_p - b}{d}$$

Met (2.9) en (2.13) volgt hieruit:

$$(2.18) \quad \Delta h = v_p - x_p = \mu + \frac{1}{2} \frac{\sigma^2}{d}$$

Met (2.3) volgt dan:

$$(2.19) \quad \Delta h = \mu + \frac{1}{2} \ln(10) \frac{\sigma^2}{h_{dec}}, \quad \text{voor voldoende grote terugkeertijden } T$$

In de voorgaande paragraaf werd $\mu = 0$ m beschouwd (geen systematische fout in de modelonzekerheid voor de waterstand). Aangezien $(1/2) * \ln(10) = 1.1513$ volgt voor die situatie, als nu weer $\sigma = \sigma_{ws}$ wordt geschreven:

$$(2.20) \quad \Delta h = 1.1513 \frac{\sigma_{ws}^2}{h_{dec}}, \quad \text{voor voldoende grote terugkeertijden } T$$

Hiermee is de empirisch gevonden relatie uit formule (2.1) dus expliciet afgeleid.

De wiskundige afleiding geeft geen informatie over de kwaliteit van de benadering, maar die blijkt uit Figuur 2.-6 t/m 2-8 uit paragraaf 2.3.2. Voor praktische toepassingen betekent dit dat voldoende hoge terugkeertijden T worden beschouwd, zoals uitgelegd in paragraaf 2.3.2.

3 Resultaten

De Resultaten worden gepresenteerd per watersysteem. Hierin wordt onderscheidt gemaakt tussen:

- Bovenmaas
- Rijntakken
- Vecht- en IJsseldelta (VIJD)
- Rijn-Maasmonding (RMM)
- IJsselmeer
- Markermeer

Voor elk watersysteem wordt het effect op het relevante 90^{ste} percentiel door toevoeging van onzekerheid gepresenteerd; voor de bovenrivieren wordt het afvoerniveau besproken, voor de meren het meerpeilniveau, en voor de delta's beide (zeewaterstand i.p.v. meerpeilen in de RMM). Locaties met opvallende resultaten worden specifiek uitgelicht, terwijl de verklaringen voor dit specifieke gedrag in hoofdstuk 4 verder worden uitgewerkt. De relevantie voor de waterstandsverlopen van de veranderingen in de percentielen komt later aan de orde, in hoofdstuk 5.

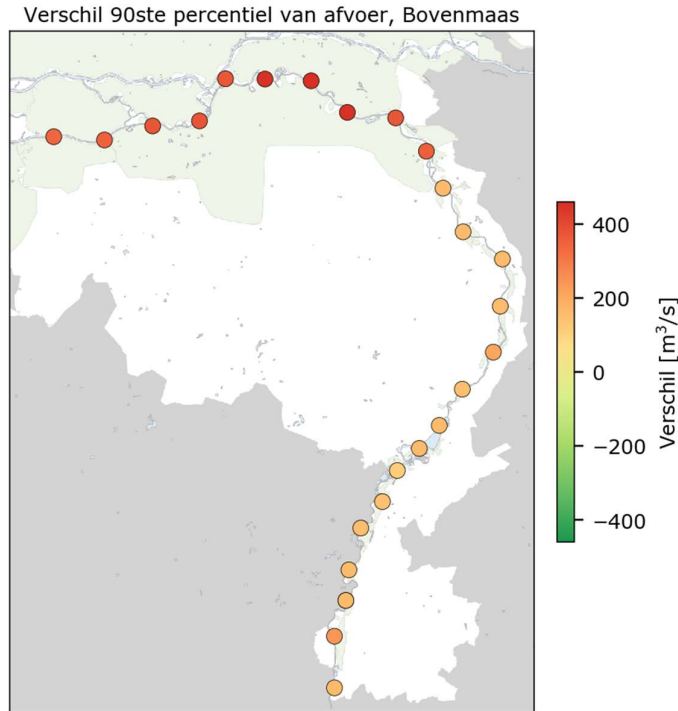
Afhankelijk van het gebied worden verschillende referentiesituaties beschouwd:

- Voor de meren is de referentie:
 - **met** statistische onzekerheid
 - **zonder** modelonzekerheid.
- Voor de andere systemen is de referentiesituatie:
 - **zonder** statistische onzekerheid
 - **zonder** modelonzekerheid.

Voor de meren zijn namelijk in [Geerse en Waterman, 2016] waterstandsverlopen beschouwd waarbij de statistische onzekerheid al is verwerkt, maar nog niet de modelonzekerheid. Het is daarom logisch in dat geval als referentie de situatie met statistische onzekerheid te nemen; men wil immers weten hoe t.o.v. die situatie $m_{90\%}$ verandert. Voor de andere systemen zijn in [Geerse en Waterman, 2016] de waterstandsverlopen beschouwd zonder enige onzekerheid; vandaar dat de referentie hier degene is zonder enige onzekerheid.

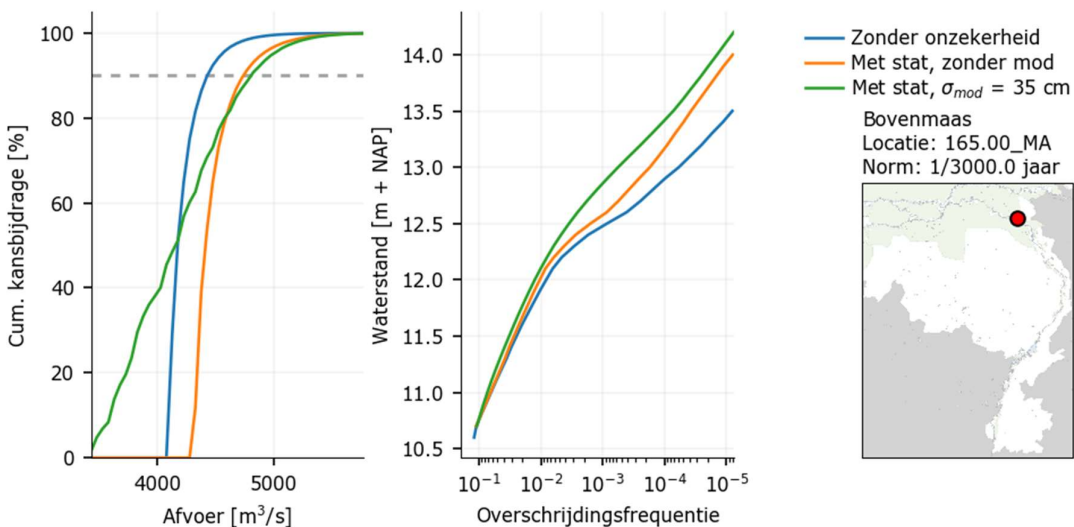
3.1 Bovenmaas

De Bovenmaas beslaat het deel van de Maas dat afvoergedomineerd is. De wind heeft hier geen invloed op het toetspeil (in de berekeningen met Hydra-NL/Ring wordt in ieder geval standaard de invloed van de wind verwaarloosd).



Figuur 3-1: Het effect van het toevoegen van statistische onzekerheid en modelonzekerheid, op het 90^{ste} percentiel van de afvoer langs de afvoergedomineerde Maas.

Langs de gehele Bovenmaas neemt het 90^{ste} percentiel van de afvoer toe. Dit effect is langs de Bedijkte Maas groter dan langs de Maasvallei (respectievelijk circa 400 en 200 m^3/s), wat de verklaren is uit het feit dat beide gebieden andere normen hebben. De verandering in de percentielen $q_{90\%}$ t.o.v. de referentiesituatie komt voort uit twee factoren: de toevoeging van statistische onzekerheid aan de afvoerstatistiek, en modelonzekerheid aan de waterstanden.



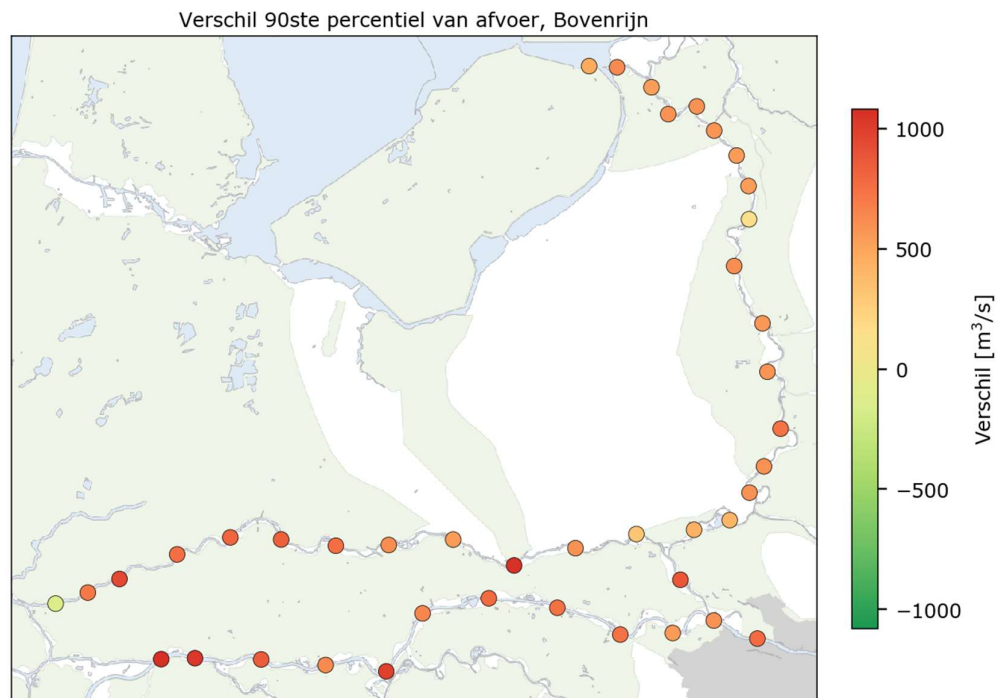
Figuur 3-2: Uitsplitsingen van de afvoer en overschrijdingsfrequentielijnen voor 165.00_MA

De invloed van deze factoren wordt toegelicht aan de hand van aslocatie 165.00_MA (rivierkilometer 165). Figuur 3-2 laat de uitsplitsingen voor locatie 165.00_MA zien. Het beeld

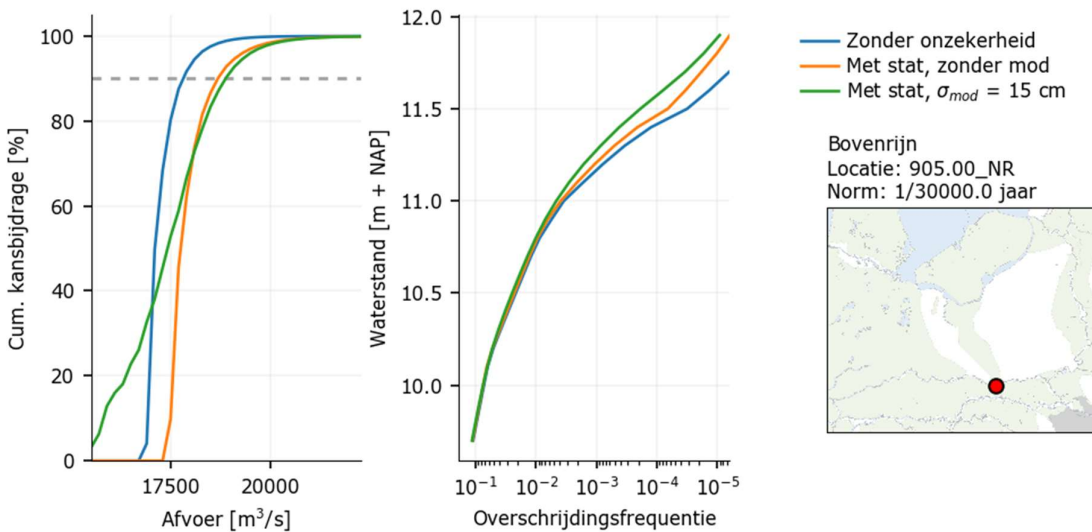
dat hier geschetst wordt is typisch voor de afvoergedomineerde Maas: het toevoegen van statistische onzekerheid geeft hogere afvoeren, en de toevoeging van modelonzekerheid spreidt de kansbijdrage over een breder afvoerbereik.

3.2 Rijntakken

Langs de Rijntakken is net ~~zo~~als langs de Maas de afvoer dominant. Het verwachte beeld is dus hetzelfde als voor de Maas. Figuur 3-3 laat de verschillen zien van de afvoerpercentielen t.o.v. de referentiesituatie. De toename is zoals verwacht vrijwel overal positief, maar de toename toont wel verschillen. Deze verschillen zijn afhankelijk van het verloop van de QH-relatie: een verandering in de QH-relatie levert blijkbaar verschillen (dergelijke verschillen zijn moeilijk te duiden). Ter illustratie zijn twee locaties beschouwd, namelijk 905.00_NR (Nederrijn, rkm 905) en 965.00_IJ (IJssel, rkm 965). De eerste locatie heeft een tamelijk nette frequentielijn (Figuur 3-4); toevoeging van beide typen onzekerheden laten een plausibel verloop zien.

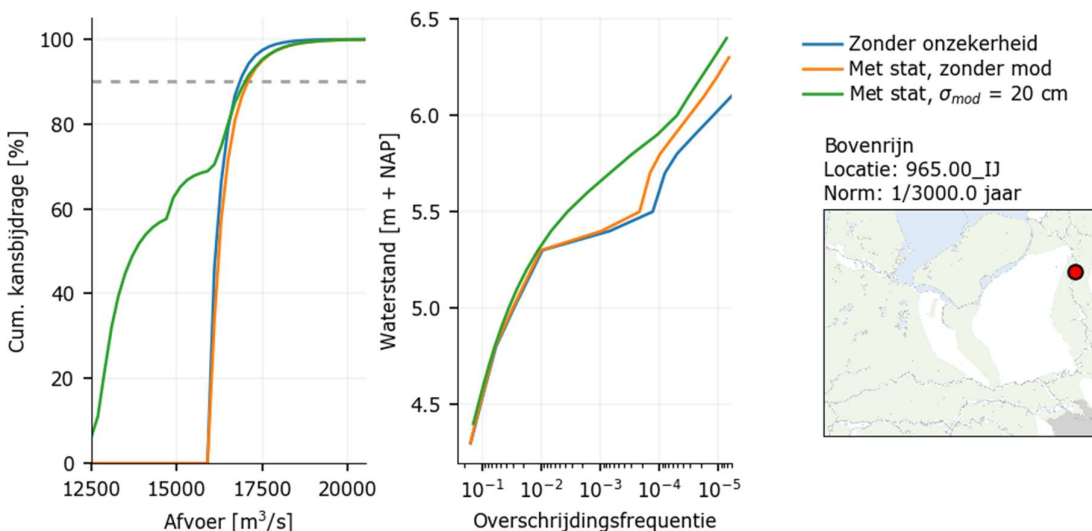


Figuur 3-3: Het effect van het toevoegen van statistische onzekerheid en modelonzekerheid, op het 90^{ste} percentiel van de afvoer langs de Rijntakken.



Figuur 3-4: Uitsplitsingen van de afvoer en overschrijdingsfrequentielijnen voor 905.00_NR

Aslocatie 965.00_IJ heeft in tegenstelling tot alle andere locaties langs de Rijntakken een lichte afname van het 90^{ste} afvoerpercentiel (groene lijn ligt links van oranje lijn bij 90% in Figuur 3-5). Figuur 3-5 laat zien dat de waterstanden tussen de 1/100 en 1/10.000 jaar een stuk hoger zijn inclusief modelonzekerheden. Dit is het gevolg van de vlakkere frequentielijnen in dit bereik (door de hoogwatergeul Veessen-Wapenveld); hoe kleiner de decimeringshoogte, hoe groter het effect van onzekerheden, zoals uitgelegd in paragraaf 2.3. Het verloop van de frequentielijnen heeft hier blijkbaar tot gevolg dat $q_{90\%}$ een (kleine) afname vertoont.



Figuur 3-5: Uitsplitsingen van de afvoer en overschrijdingsfrequentielijnen voor 965.00_IJ

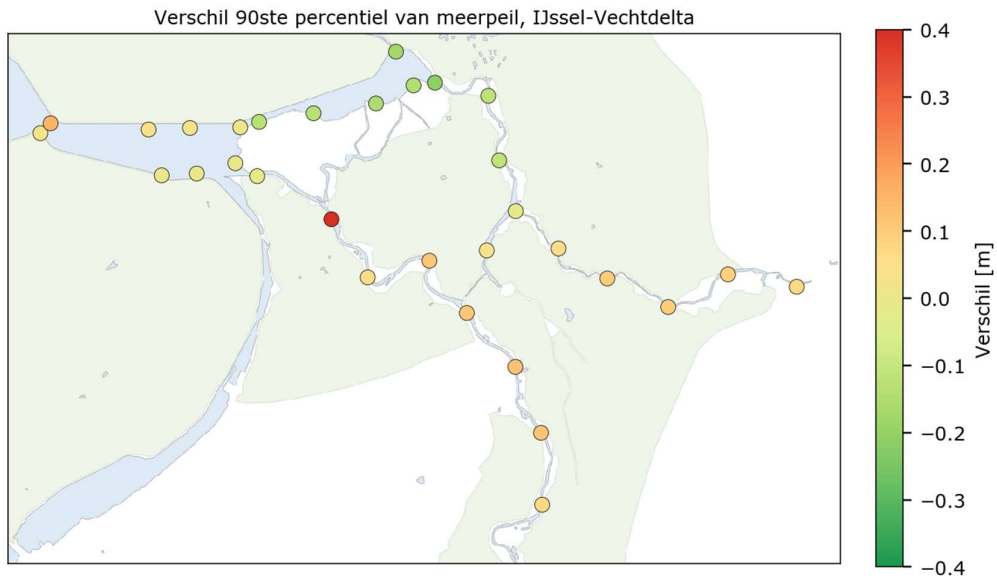
Ook opvallend bij locatie 965.00_IJ is de *vorm* van de uitsplitsingen met toegevoegde modelonzekerheid. Door de flinke stijging van de frequentielijn kunnen bij lagere afvoeren al maatgevende situaties ontstaan, wat tot gevolg heeft dat lagere afvoeren ook kansbijdragen hebben. Opvallende hierbij is dat er twee hobbels in de uitsplitsing zitten (afvoeren 14.500 en 16.000 m³/s). Dit komt door het instromen van de hoogwatergeul Veessen-Wapenveld, die in dit afvoerbereik zorgt voor minimale waterstandsverhogingen. Vanaf ongeveer 16.000 m³/s is de hoogwatergeul vol, waardoor de waterstand weer sneller gaat stijgen. Merk verder op dat het meenemen van onzekerheid het effect van de hoogwatergeul behoorlijk verkleint: de

scherpe knik in de frequentielijn bij $T = 100$ jaar wordt als het ware goeddeels geëlimineerd. Een vergelijkbaar resultaat is in eerdere studies (b.v. noodoverloopgebieden) ook al naar voren gekomen [Stijnen et al, 2002]. De vraag is wel of de problematiek voor de noodoverloopgebieden en die voor Veessen-Wapenveld helemaal vergelijkbaar is; een noodoverloopgebied raakt vol, terwijl dat voor een hoogwatergeul niet gebeurt (of in ieder geval niet op dezelfde manier). Het is aan te bevelen dit nader te onderzoeken.

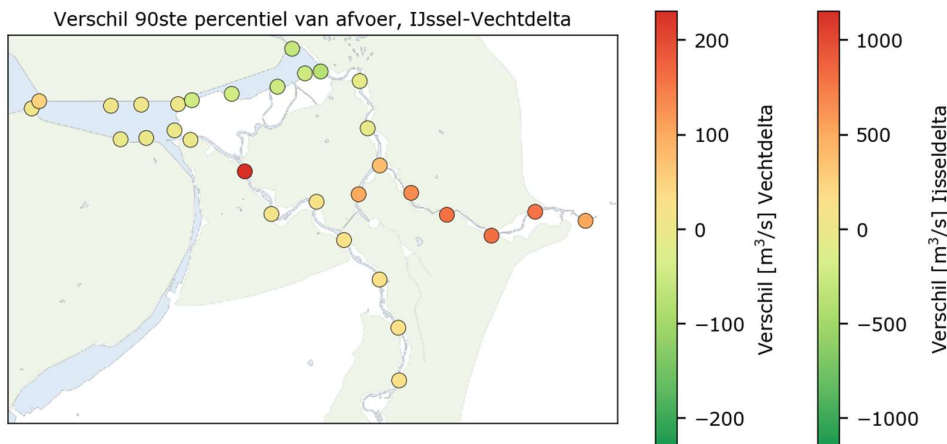
N.B. Tot de doorgerekende locaties voor de Bovenrijn horen ook locaties die feitelijk tot de Vecht-IJsseldelta behoren, of tot de benedenrivieren. Voor dergelijke locaties zijn de hier getoonde verschillen *onbetrouwbaar*. Zie paragraaf 3.3 en 3.4 voor de wel betrouwbare verschillen van dergelijke locaties.

3.3 Vecht-IJsseldelta

In de Vecht-IJsseldelta spelen verschillende belastingen die een grote rol hebben bij het bepalen van de waterstand. Dit kunnen afvoer, meerpeil, windsnelheid en –richting en de sluitingssituatie van de Ramspolkering zijn. Figuur 3-6 en Figuur 3-7 laten het effect van onzekerheden op de afvoer en het meerpeil zien. N.B. Voor de waterstandsverlopen is vooral $q_{90\%}$ van belang.



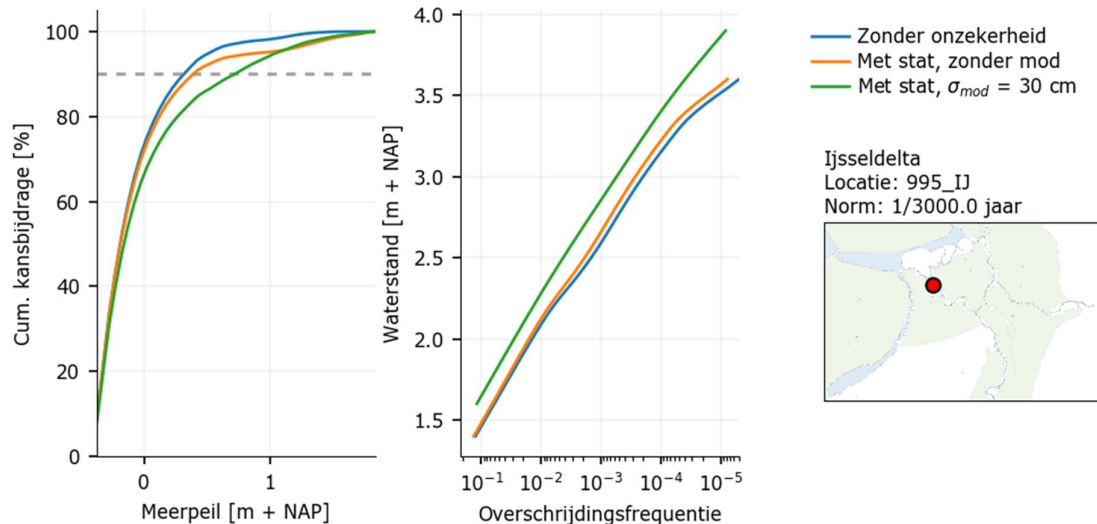
Figuur 3-6: Het effect van het toevoegen van statistische onzekerheid en modelonzekerheid, op het 90^{ste} percentiel van het IJsselmeerpeil in de Vecht-IJsseldelta



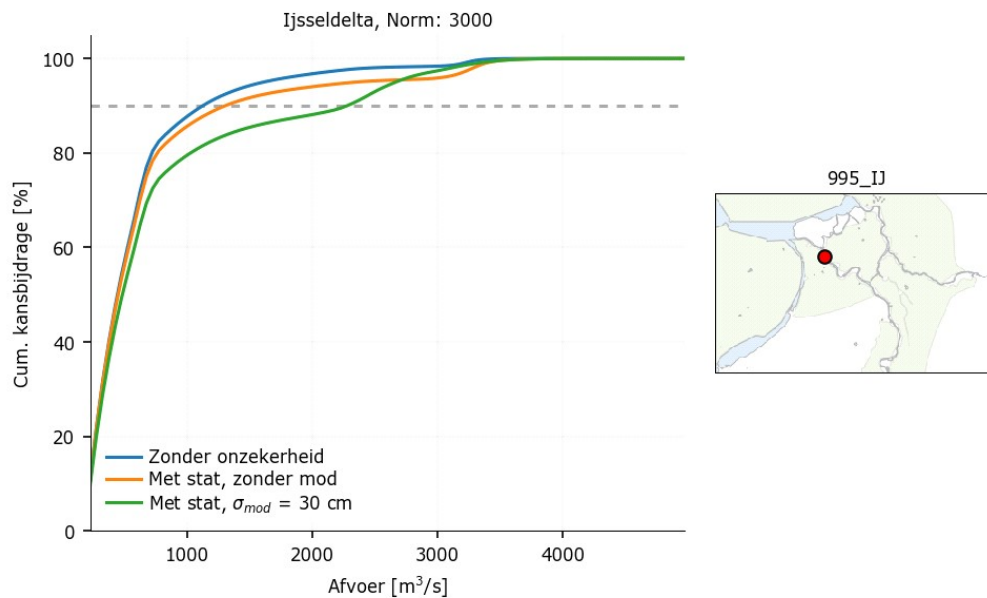
Figuur 3-7: Het effect van het toevoegen van statistische onzekerheid en modelonzekerheid, op het 90^{ste} percentiel van de afvoer in de Vecht-IJsseldelta

De grootste verschillen voor de percentielen zijn te vinden bij de overgangslocaties. Voor de IJssel springt aslocatie 995_IJ eruit. Van deze locatie zijn de details weergegeven in Figuur 3-8 en Figuur 3-9. De frequentielijnen laten zien dat de toevoeging van modelonzekerheid een aanzienlijk effect op de waterstanden heeft. Het gevolg hiervan is dat deze locatie met onzekerheid gevoeliger wordt voor de hoge afvoeren; de locatie wordt daardoor minder door de wind gedomineerd. Kennelijk kan het verhogen van de waterstanden ervoor zorgen dat ook

extreme afvoeren hier leiden tot maatgevende condities. De keuze voor het 90^{ste} percentiel leidt hier tot een grote verschuiving, het 50^{ste} percentiel zou een heel ander beeld geven. Het meerpeil geeft eenzelfde grote verschuiving op deze locatie, omdat het meerpeil sterk gecorreleerd is met de afvoer.



Figuur 3-8: Afvoeruitsplitsingen en frequentielijnen voor aslocatie 995_IJ langs de IJssel



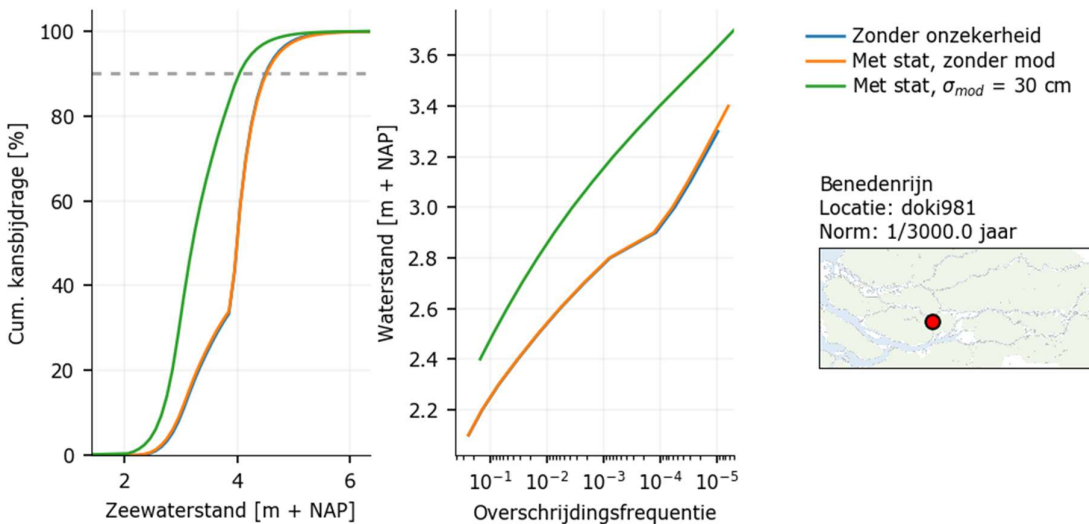
Figuur 3-9: Afvoeruitsplitsingen voor aslocatie 995_IJ langs de IJssel.

3.4 Rijn-Maasmonding

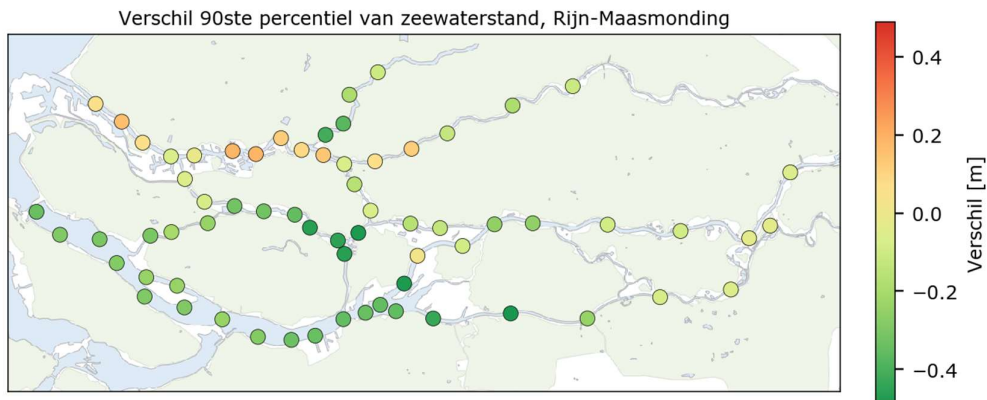
De Rijn-Maasmonding is net als de Vecht-IJsseldelta een gebied waar verschillende belastingen een belangrijke rol kunnen spelen in het bepalen van de waterstand. Zo dragen de Maasafvoer en Rijnaafvoer, de zeewaterstand, de situatie van de Europoortkering en de wind bij aan de waterstand. Voor de waterstandsverlopen is vooral de verandering van $q_{90\%}$ van belang.

Het 90^{ste} percentiel van de zeewaterstand toont geen sterke veranderingen ten opzichte van de situatie zonder onzekerheden, zoals bijvoorbeeld te zien in Figuur 3-10. Vrijwel alle effecten zijn te verklaren door de toevoeging van modelonzekerheid; de statistische onzekerheid doet vrijwel niets, zoals het geringe verschil tussen de blauwe en oranje lijn laat zien. Het grootste effect is meetbaar aan het uiteinde van de Bergsche Maas en de overgang van de Beneden Merwede naar de Oude Maas, waar dit veroorzaakt wordt door de relatief kleine decimeringshoogte.

Figuur 3-10 demonstreert dit; net in het normbereik is de decimeringshoogte klein.



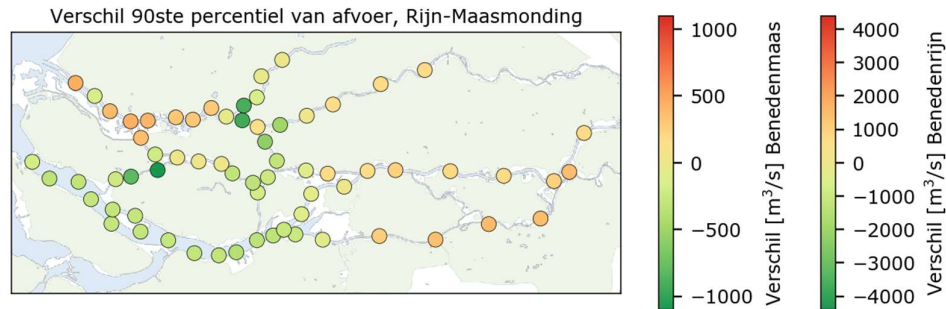
Figuur 3-10: Uitsplitsingen van de zeewaterstand voor aslocatie doki981 op de Dordtse Kil



Figuur 3-11: Het effect van het toevoegen van statistische onzekerheid en modelonzekerheid op het 90^{ste} percentiel van de zeewaterstand in de Rijn-Maasmonding

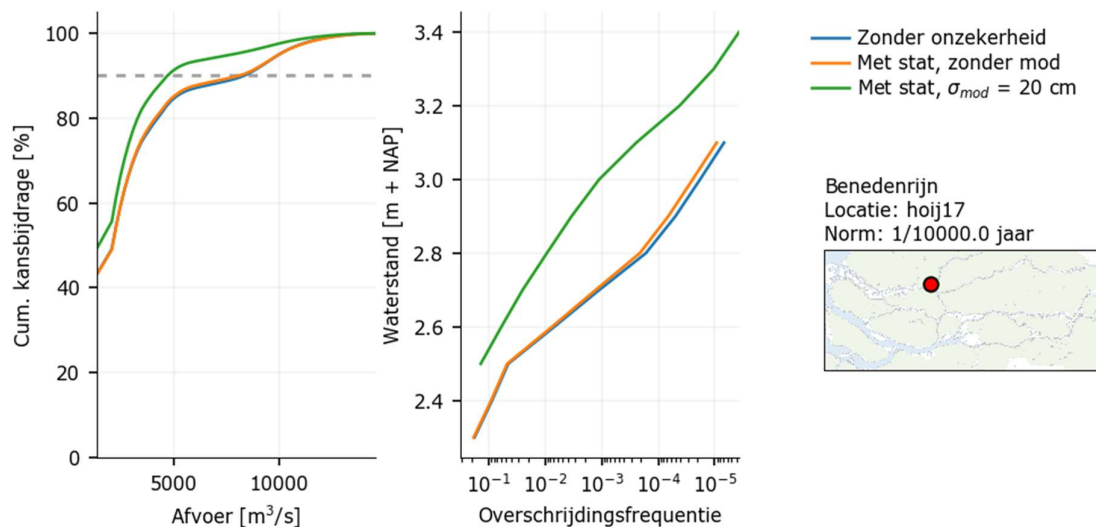
Toevoeging van onzekerheden aan de afvoer geven een veel gevarieerder beeld dan de zeewaterstand, zoals te zien is in Figuur 3-12. De verschillen blijken het grootst te zijn bij de

overgangslocaties, een effect dat ook in de Vecht-IJsseldelta zichtbaar is. De bovenstroomse locaties langs de Bergsche Maas, Waal en Lek geven een lichte toename in de afvoer, veroorzaakt door het toevoegen van statistische onzekerheid aan de statistiek. De benedenstroomse locaties worden daarentegen wat minder afvoergedomineerd, voornamelijk het gevolg van de toevoeging van modelonzekerheid.



Figuur 3-12: Het effect van het toevoegen van statistische onzekerheid en modelonzekerheid op het 90^{ste} percentiel van de afvoer in de Rijn-Maasmonding

Locatie hoij17, rivierkilometer 17 op de Hollandsche IJssel, is uitgelicht vanwege de grote verschillen in het 90^{ste} percentiel van de afvoer. De uitsplitsingen zijn weergegeven in Figuur 3-13. Hieraan is te zien dat door de toevoeging van modelonzekerheden de locatie minder afvoergedomineerd wordt.

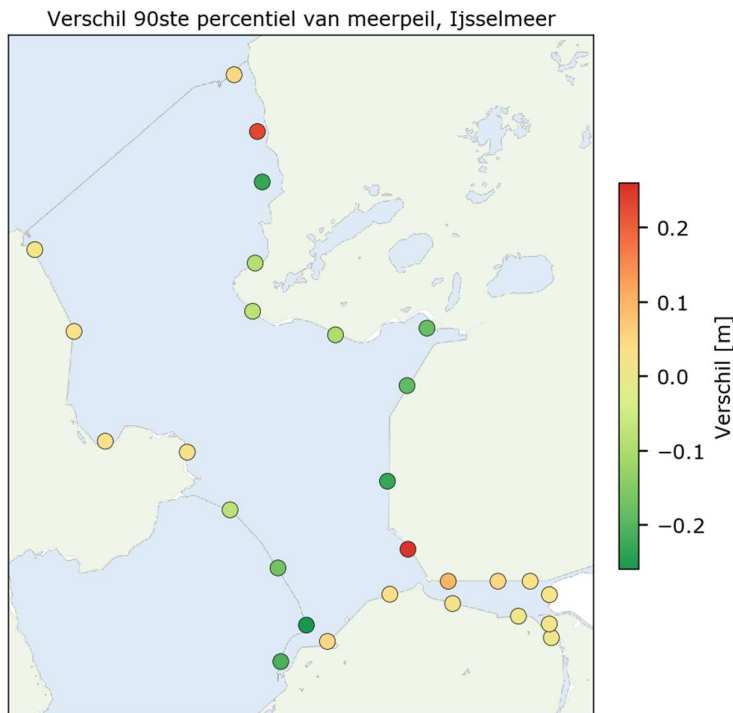


Figuur 3-13: Afvoeruitsplitsingen en frequentielijnen voor aslocatie hoij17 op de Hollandsche IJssel.

3.5 IJsselmeer

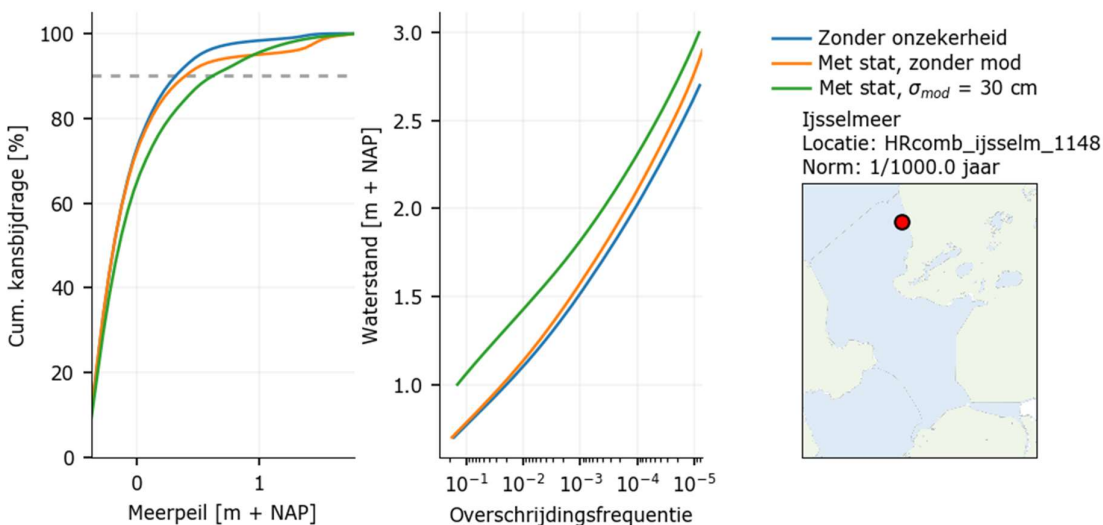
Voor de meren wordt het 90^{ste} percentiel van het meerpeil gebruikt voor de waterstandsverlopen. Een verschil met de rivierlocaties is dat hier de referentiesituatie inclusief statistische onzekerheden is. De verschillen worden dus puur veroorzaakt door de toevoeging van modelonzekerheden aan de waterstand.

Figuur 3-14 laat de verschuiving van het 90^{ste} percentiel langs het IJsselmeer zien. De grootste verschillen zijn wederom zichtbaar bij de overgangslocaties, voornamelijk HRcomb_ijsselmeer_1148 (Friesland) en HRbasis_ijslm_609 (Noord-Oostpolder).



Figuur 3-14: Het effect van het toevoegen van modelonzekerheid op het 90^{ste} percentiel van het meerpeil op het IJsselmeer

Voor HRcomb_ijsselmeer_1148 zijn de uitsplitsingen en frequentielijnen afgebeeld in Figuur 3-15.



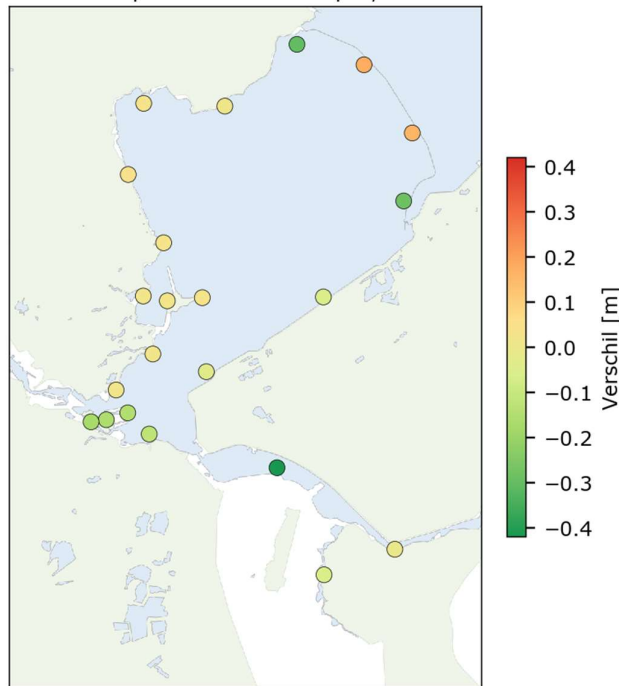
Figuur 3-15: Meerpeiluitsplitsingen en frequentielijnen voor locatie HRcomb_ijsselmeer_1148 langs het IJsselmeer.

Door de toevoeging van waterstandsmodelonzekerheid op deze locatie wordt de wind minder dominant. Extreme meerpeilen kunnen nu met een verhoging door de modelonzekerheid ook tot maatgevende condities leiden. Dit geeft de afvlakking en verschuiving van de knik rond een meerpeil van 0.8 m + NAP in de uitsplitsingen inclusief modelonzekerheden. Zonder modelonzekerheden is deze knik te zien bij 1.5 m + NAP. De frequentielijnen voor deze locatie demonstreren mooi dat het effect van modelonzekerheden groter is als de decimeringshoogte klein is. Het verschil is het grootst bij grote frequenties en neemt af bij hogere frequenties door de oplopende steilheid.

3.6 Markermeer

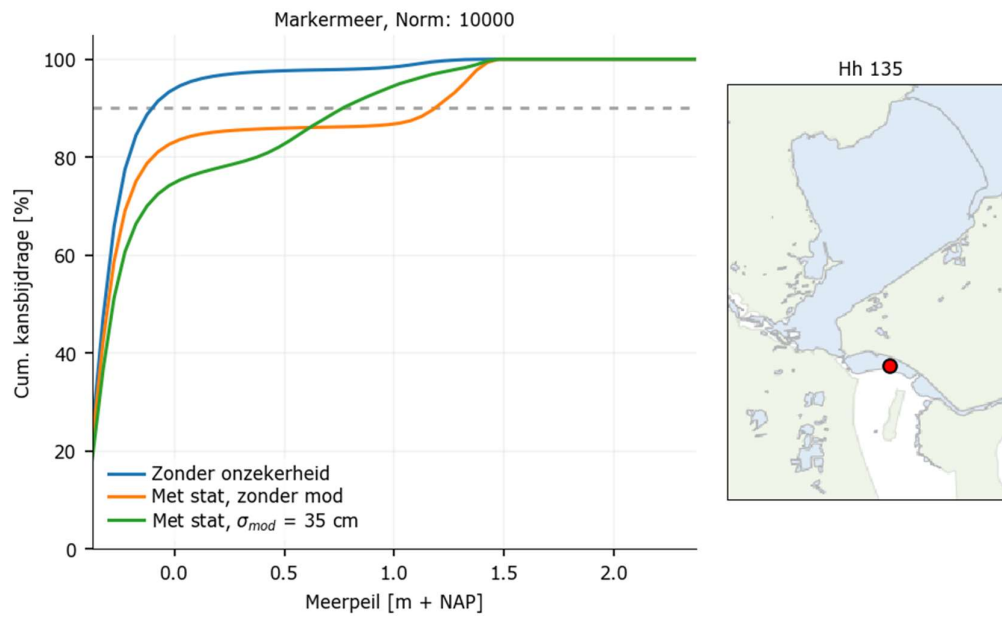
Het beeld voor het Markermeer is vergelijkbaar met het beeld voor het IJsselmeer. De verschillen zijn voornamelijk zichtbaar bij overgangslocaties waar ze op kunnen lopen tot ruim 0.4 m. Figuur 3-16 laat de verschillen in het 90^{ste} percentiel van het meerpeil zien.

Vershil 90ste percentiel van meerpeil, Markermeer



Figuur 3-16: Het effect van het toevoegen van modelonzekerheid op het 90^{ste} percentiel van het meerpeil op het Markermeer

De grootste effecten zijn zichtbaar langs de Houtribdijk en in het Gooimeer. Dit zijn locaties waarbij inclusief onzekerheid zowel de wind als het meerpeil bedreigend kunnen zijn (oftewel zogenaamde overgangslocaties).



Figuur 3-17: Meerpeiluitsplitsingen en frequentielijnen voor locatie Hh 135_ langs het Markermeer.

4 Discussie

4.1 Effect van onzekerheid op de uitsplitsingen

Momenteel zijn twee soorten onzekerheden die in Hydra-NL aan een berekening kunnen worden toegevoegd. De eerste is statistische onzekerheid, die zich uit in meer extreme afvoer-, meerpeil-, zeewaterstand en windstatistiek. De tweede is modelonzekerheid, die als een extra stochast aan de berekening wordt toegevoegd. Beide mogelijkheden hebben een ander effect op de uitsplitsingen en het 90^{ste} percentiel:

1. Toevoegen van alleen onzekerheid in statistiek

Het toevoegen van onzekerheid in de statistiek geeft hogere waterstanden of afvoeren bij dezelfde terugkeertijden. Dit heeft tot gevolg dat eenzelfde faalkanseis een hoger toetspeil geeft. De 90^{ste} percentielen zullen dus bij een hogere waterstand gaan horen. Voor afvoergedomineerde locaties levert dat gewoonlijk een hoger afvoerpercentiel $q_{90\%}$. Bij locaties waar meerdere bedreigingen een rol spelen (de delta's en de meren) is vaak niet op voorhand te zeggen hoe de 90^{ste} percentielen van de stochasten veranderen.

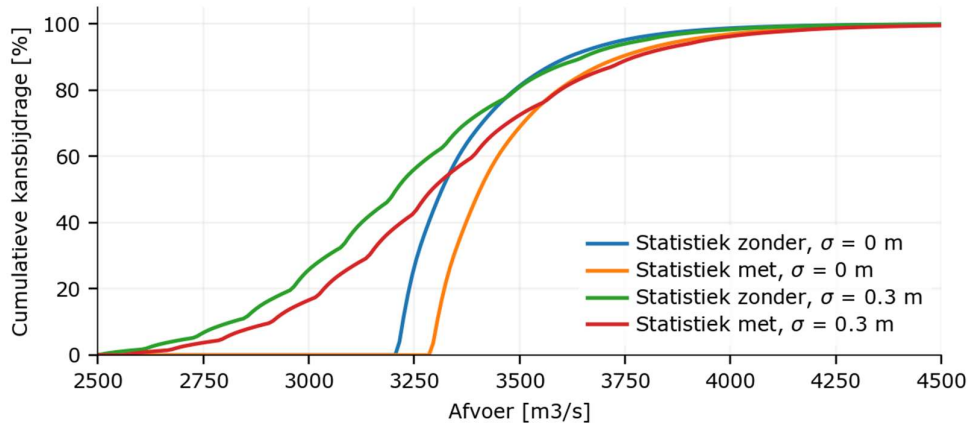
2. Toevoegen van alleen onzekerheid in waterstand

Het toevoegen van onzekerheid in de waterstand geeft meer spreiding in de absolute kansbijdrage. De percentielen voor afvoeren, meerpeilen en zeewaterstanden gaan in de regel dan een groter bereik beslaan; maar tevens kan het gedrag van een locatie veranderen (een locatie kan overgaan van meerpeilgedomineerd naar windgedomineerd b.v.), waardoor niet op voorhand is te zeggen hoe de 90^{ste} percentielen veranderen door de onzekerheid in de waterstand. Een locatie kan bijvoorbeeld meer of minder afvoerdominant worden.

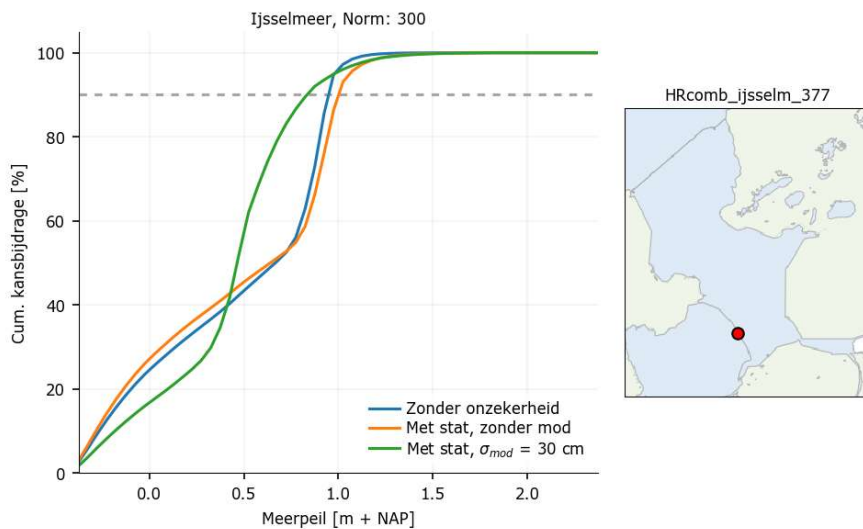
3. Toevoegen van beide soorten onzekerheden

Wanneer beide soorten onzekerheden worden toegevoegd, zal de som van bovenstaande twee effecten optreden. Het effect op het 90^{ste} percentiel van afvoer en meerpeil komt daardoor vaak neer op een verhoging, maar niet altijd.

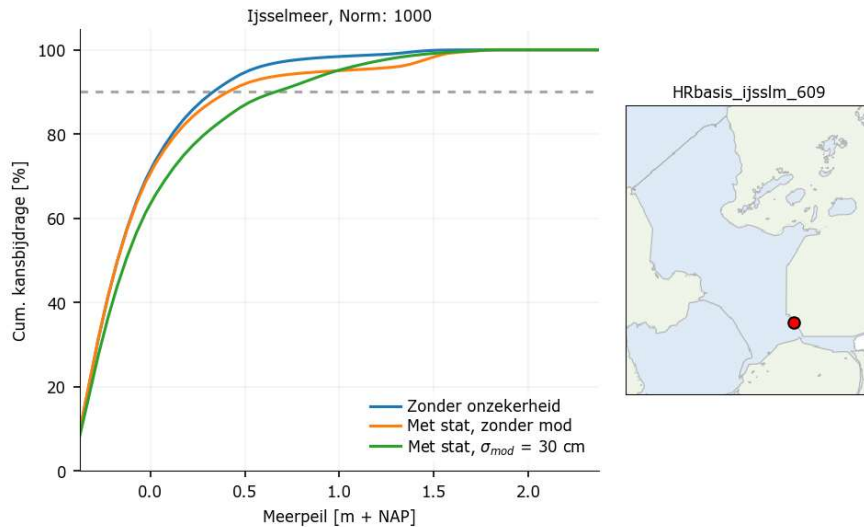
Figuur 4-1 laat zien dat langs de Limburgse Maas (45.00_MA) het toevoegen van beide onzekerheden een verhoging van $q_{90\%}$ geeft. Langs de Maas speelt echter alleen de afvoer een rol. Voor andere gebieden is dit niet het geval. Zo kan langs het IJsselmeer de toevoeging van onzekerheid een veel groter, en tevens contra-intuïtief, effect op het 90^{ste} percentiel hebben. Figuur 4-2 en Figuur 4-3 laten zien dat $m_{90\%}$ zowel naar boven als naar beneden kan gaan bij toevoegen van onzekerheden.



Figuur 4-1: Cumulatieve kansbijdrage van de verschillende combinaties van onzekerheden voor een locatie langs de Limburgse Maas (45.00_MA).



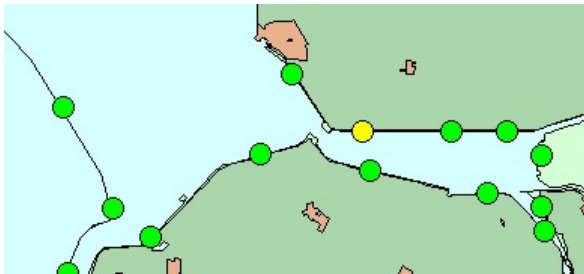
Figuur 4-2: Cumulatieve kansbijdrage van de verschillende combinaties van onzekerheden voor een locatie langs het IJsselmeer (HRcomb_randlm_377). De berekeningen zijn gedaan voor een terugkeertijd van 300 jaar.



Figuur 4-3: Cumulatieve kansbijdrage van de verschillende combinaties van onzekerheden voor een locatie langs het IJsselmeer (HRbasis_ijsslm_609). De berekeningen zijn gedaan voor een terugkeertijd van 1000 jaar.

4.2 Effect van aantal discretisatiestappen voor onzekerheid

Binnen Hydra-NL kan het aantal discretisatiestappen voor de waterstandsonzekerheid worden aangepast. Het effect hiervan is dat de normale verdeling van de waterstand beter wordt benaderd. Het verwachte resultaat is dus bij toenemend aantal stappen een betere benadering van de waterstand, convergerend naar een bepaalde waarde. Als gevoeligheidsanalyse zijn twee locaties doorgerekend.



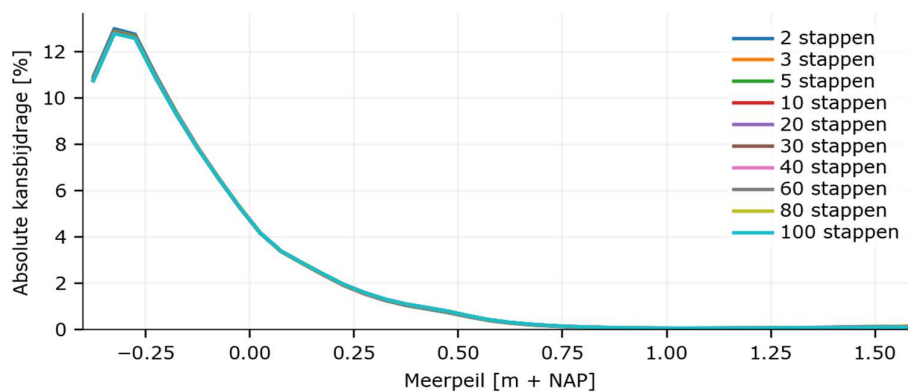
Figuur 4-4 Ligging van locatie HRcomb_randlm_271.

Als eerste zijn voor locatie HRcomb_randlm_271 (zie Figuur 4-4) berekeningen uitgevoerd, voor een verschillend aantal stappen in de discretisering van de waterstandsonzekerheid (in deze gevoeligheidsanalyse geldt $T = 3000$ jaar en $\sigma = 30$ cm). Het effect op de berekende waterstand blijkt hier vrij klein (Tabel 4-1).

Aantal stappen	Toetspeil, m+NAP
2	2.33
3	2.36
5	2.35
10	2.33
20	2.33
40	2.33
60	2.33
80	2.33
100	2.33

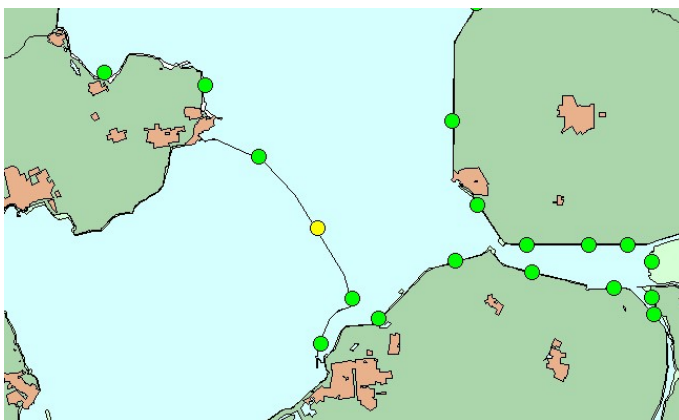
Tabel 4-1 Effect aantal stappen voor de onzekerheid in de waterstand op het toetspeil (HRcomb_randlm_271, $T = 3000$ jaar).

Ook het effect op de percentielen blijkt klein te zijn, zoals de grafiek in Figuur 4-5 laat zien.



Figuur 4-5: Effect van het aantal stappen in de onzekerheidsberekening op de absolute kansbijdrage.

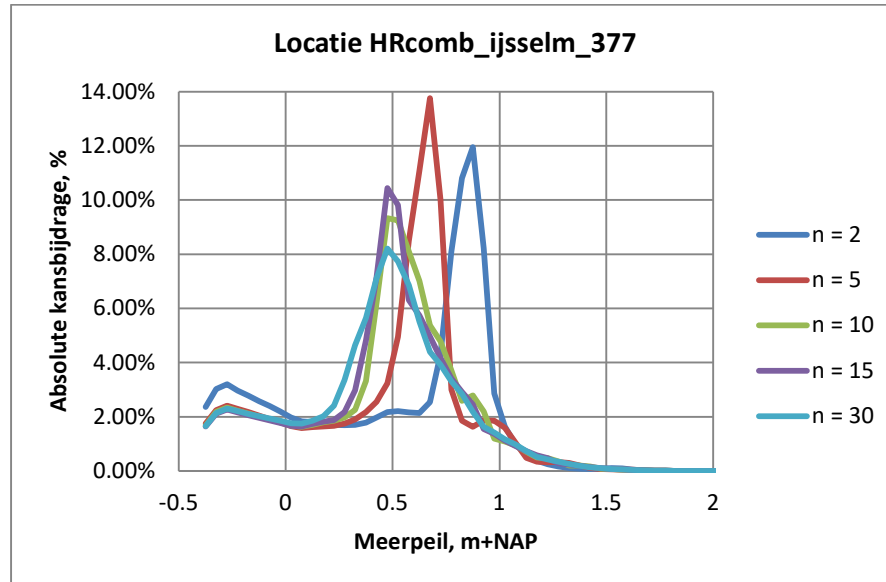
De gevoeligheid voor het aantal stappen blijkt echter sterk locatie-afhankelijk, zoals blijkt uit de resultaten voor locatie HRcomb_ijsselm_377 (zie Figuur 4-6, Tabel 4-2 en Figuur 4-5).



Figuur 4-6 Ligging van locatie HRcomb_ijsselm_377.

Aantal stappen	Toetspeil, m+NAP
2	1.22
5	1.32
10	1.32
15	1.32
30	1.32

Tabel 4-2 Effect aantal stappen voor de onzekerheid in de waterstand op het toetspeil (HRcomb_ijsselm_377, $T = 300$ jaar).



Figuur 4-7: Effect van het aantal stappen in de onzekerheidsberekening op de absolute kansbijdrage voor locatie HRcomb_ijsselm_377.

Op grond van de hier gevonden resultaten wordt voor $n = 15$ stappen gekozen. Voor deze stapgrootte resulteren de juiste toetspeilen (een verfijning van de stapgrootte laat de waarden daarvoor onveranderd). Ook ondergaan de suitsplitsingen dan relatief kleine veranderingen. N.B. De default stapgrootte uit Hydra-NL is $n = 7$ stappen. We kiezen in dit geval dus voor een fijnere discretisatie dan de default waarde.

4.3 Opmerking over bepalen waterstandsverlopen voor de meren

De feitelijke bepaling van de waterstandsverlopen is door Deltares gedaan, op grond van methodes die grotendeels door Rijkswaterstaat RIZA en HKV zijn opgesteld. Een overzicht van de relevante literatuur kan worden gevonden in [Geerse en Waterman, 2016]. De manier waarop voor de meren waterstandsverlopen zijn bepaald, is beschreven in [Calle, 2005] en [Chbab, 2012]. In de bepaling daarvan zijn alleen nodig (a) een duur van het windopzetverloop en (b) de waarde $m_{90\%}$. Behalve deze grootheden zijn *geen verdere analyses nodig*. Dat houdt in dat bij een verandering van $m_{90\%}$ het meteen duidelijk is hoe het waterstandverloop verandert. In de tool waterstandsverloop, beschreven in [Geerse en Waterman, 2016], wordt bij een andere waarde van $m_{90\%}$ het bijbehorende verloop automatisch bepaald.

5 Conclusies en aanbevelingen voor de waterstandsverlopen

5.1 Conclusies

Voor de waterstandsverlopen zijn voor de meren de percentielen $m_{90\%}$ van belang en voor de overige gebieden de percentielen $q_{90\%}$. In de voorgaande hoofdstukken is gebleken dat deze percentielen bij het meenemen van statistische en/of modelonzekerheden flinke verschillen kunnen ondergaan t.o.v. de referentiesituatie. Volgens het begin van hoofdstuk 3 betreffen deze:

- Voor de meren is de referentie:
 - **met** statistische onzekerheid
 - **zonder** modelonzekerheid.
- Voor de andere systemen is de referentiesituatie:
 - **zonder** statistische onzekerheid
 - **zonder** modelonzekerheid.

De conclusies met het oog op de waterstandsverlopen zijn als volgt:

1. De grootste veranderingen blijken op te treden bij overgangslocaties: in de Vecht-IJsseldelta waar wind, meerpeil en afvoer gezamenlijk bedreigend zijn; in de benedenrivieren waar wind, zeewaterstand en afvoer gezamenlijk bedreigend zijn.
2. In situaties waar zowel in de referentiesituatie als de situatie met (alle) onzekerheid een locatie afvoerdominant is, maakt het niet uit of $q_{90\%}$ verandert of niet. Het waterstandsverloop wordt in beide gevallen dan bepaald door de afvoergolf.
3. Voor de meren is het niet nodig om te onderzoeken hoe precies de waterstandsverlopen veranderen, zie daarover paragraaf 4.3. Wel is nodig dat de waterstandsverlopen opnieuw worden bepaald; maar het is voldoende om met Hydra-NL de waarden $m_{90\%}$ opnieuw te bepalen, en dan de tool Waterstandsverlopen met deze waarden opnieuw te vullen.

5.2 Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen worden gedaan:

1. Laat voor de meren opnieuw de waarden $m_{90\%}$ bepalen. Vul daarna de tool Waterstandsverlopen met de nieuwe gegevens.
2. Ga na hoe voor de overige gebieden (beschouwde gebieden zonder de kust en de meren) de waterstandsverlopen moeten worden aangepast. Het betreft dan een aanpassing van de zogenaamde 'waterwegenpatronen' uit de modellering van de waterstandsverlopen. De resultaten uit dit rapport kunnen worden gebruikt om te zien voor welke trajecten de verlopen veranderingen ondergaan. N.B. Van alle doorgerekende locaties wordt de uitvoer digitaal opgeleverd. Vul daarna de tool Waterstandsverlopen met de nieuwe gegevens.

3. In paragraaf 3.2 werd geconstateerd dat het meemen van onzekerheid in de waterstand het effect van de hoogwatergeul Veessen-Wapenveld sterk nadelig beïnvloedt. Hierbij kan men zich afvragen of de modellering van de onzekerheid in de waterstand – zoals die standaard gebruikt wordt – wel voldoet. Het is aan te raden om met een meer fysische aanpak de onzekerheid te beschouwen, door bijvoorbeeld de ruwheid van de rivier als onzeker te beschouwen, en het effect daarvan uit te integreren.

6 Referenties

[Calle, 2005]

Waterstandsverloop Markermeer – Hydraulische randvoorwaarden t.b.v. grondmechanische toetsing van dijken. E.O.F. Calle. Rapport 419250.007 v04. Delft, november 2005. In opdracht van Rijkswaterstaat RIZA.

[Botterhuis en Stijnen, 2016]

Landelijk beeld verschilanalyse hydraulische belastingen WBI-2017. Ton Botterhuis en Jan Stijnen. *[HKV-rapport PR3280.10]*. Conceptversie voor intern gebruik RWS, april 2016.

[Chbab, 2012a]

Waterstandsverlopen Meren. Houcine Chbab. Deltares-Rapport 1204143-003-ZWS-0027-r, juli 2012.

[Duits, 2016]

Modelonzekerheid belastingen voor Hydra-NL. Memo, concept. Matthijs Duits. *[HKV-memo PR3341.10]*. HKV Lijn in Water, 22 september 2016.

[Geerse, 2007]

Methode bepalen waterstandsverlopen Vecht- en IJsseldelta. *[HKV-rapport PR1392.10]*. C.P.M. Geerse. HKV Lijn in Water, Lelystad, december 2007.

[Geerse, 2009]

Beschrijving faalmechanismen en inventarisatie benodigde belastinggegevens. *[HKV-rapport PR1714.10]*. C.P.M. Geerse. HKV Lijn in Water, juli 2009.

[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-rapport PR2168.10]*. HKV Lijn in Water, december 2011. In opdracht van de Waterdienst.

[Geerse en Waterman, 2016]

Waterstandsverlopen WBI2017. Opslaan gegevens in de tool waterstandsverlopen. Chris Geerse en Rolf Waterman. *[HKV-rapport PR3200.10]*. HKV Lijn in Water, september 2016.

[Stijnen et al, 2002]

Onzekerheidsanalyse Hoogwaterbescherming Rijntakken – Onzekerheidsbronnen en gevolgen van maatregelen. J.W. Stijnen, M. Kok, M.T. Duits. *[HKV-rapport PR464.10]*. HKV Lijn in Water, november 2002.

|



HKV lijn in water BV

Postbus 2120
8203 AC Lelystad

Botter 11-29
8232 JN Lelystad

0320 29 42 42
info@hkv.nl
www.hkv.nl