

**Vergelijking WBI2017 met  
OI2014**

(zichtjaar 2015)





## **Vergelijking WBI2017 met OI2014**

(zichtjaar 2015)

11200575-009



**Titel**  
Vergelijking WBI2017 met OI2014

**Opdrachtgever**  
RWS-WVL

**Project**  
11200575-009

**Kenmerk**  
11200575-009-GEO-0001

**Pagina's**  
47

**Trefwoorden**  
WBI2017, OI2014, verschilanalyse, Hydraulische Randvoorwaarden

**Samenvatting**

Het OI2014 is vanaf het moment van beschikbaar komen gebruikt voor zowel ontwerpen als ook consequentieanalyses van de nieuwe normering. Nu het WBI2017 beschikbaar komt is het belangrijk om vast te stellen of de aannames/keuzes gemaakt in het OI2014 ook overeen komen met de definitieve implementaties in WBI2017. Op basis van de WBI2017 gehanteerde testlocaties is voor heel Nederland het verschil bepaald tussen het toepassen van het OI2014 recept (voor zichtjaar 2017-2023) en WBI2017, zodat duidelijk is voor welke projecten/gebieden sprake is van een afwijking tussen OI2014 en WBI2017.

**Referenties**

PvA KPP BOA Implementatie Nieuwe Normering en Waterkeren

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.1	sep. 2017	A.J. Smale	ba.	J.P. den Bieman		M.R.A. van Gent	

**Status**  
definitief



## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Achtergrond	1
1.2	Aanpak	1
<b>2</b>	<b>Bovenrivieren-Rijntakken</b>	<b>3</b>
2.1	Verschillen in componenten probabilistische som	3
2.1.1	Probabilistisch model	3
2.1.2	Statistiek	3
2.1.3	Database fysica	3
2.1.4	Kennisonzekerheden	6
2.2	Uit-geïntegreerd verschil in waterstand bij norm (MHW)	7
2.3	Uit-geïntegreerd verschil in Hydraulisch Belasting Niveau (HBN)	10
<b>3</b>	<b>Maasvallei</b>	<b>13</b>
3.1	Verschillen in componenten probabilistische som	13
3.1.1	Probabilistisch model	13
3.1.2	Statistiek	13
3.1.3	Database fysica	13
3.1.4	Kennisonzekerheden	14
3.2	Uit-geïntegreerd verschil in waterstand bij norm (MHW)	14
3.3	Uit-geïntegreerd verschil in Hydraulisch Belasting Niveau (HBN)	15
<b>4</b>	<b>Meren</b>	<b>17</b>
4.1	Verschillen in componenten probabilistische som	17
4.1.1	Probabilistisch model	17
4.1.2	Statistiek	17
4.1.3	Database fysica	18
4.1.4	Kennisonzekerheden	19
4.2	Markermeer: uit-geïntegreerd verschil in MHW en HBN	20
4.3	IJsselmeer: uit-geïntegreerd verschil in MHW en HBN	22
4.4	Uit-geïntegreerd verschil in randvoorwaarden voor bekledingen (Q-variant)	24
<b>5</b>	<b>Kust</b>	<b>27</b>
5.1	Verschillen in componenten probabilistische som	27
5.1.1	Probabilistisch model	27
5.1.2	Statistiek	28
5.1.3	Database fysica	28
5.1.4	Kennisonzekerheden	28
5.2	Uit-geïntegreerd verschil in waterstand bij norm (MHW)	29
5.3	Uit-geïntegreerd verschil in Hydraulisch Belasting Niveau (HBN)	30
5.4	Uit-geïntegreerd verschil in randvoorwaarden voor bekledingen (Q-variant)	31
<b>6</b>	<b>IJsseldelta</b>	<b>35</b>
6.1	Verschillen in componenten probabilistische som	35
6.1.1	Probabilistisch model	35
6.1.2	Statistiek	35
6.1.3	Database fysica	35

6.1.4	Kennisonzekerheden	36
6.2	Uit-geïntegreerd verschil in waterstand bij norm (MHW)	37
6.3	Uit-geïntegreerd verschil in Hydraulisch Belasting Niveau (HBN)	38
<b>7</b>	<b>Vechtdelta</b>	<b>41</b>
7.1	Verschillen in componenten probabilistische som	41
7.1.1	Probabilistisch model	41
7.1.2	Statistiek	41
7.1.3	Database fysica	41
7.1.4	Kennisonzekerheden	41
7.2	Uit-geïntegreerd verschil in waterstand bij norm (MHW)	42
7.3	Uit-geïntegreerd verschil in Hydraulisch Belasting Niveau (HBN)	43
<b>8</b>	<b>Conclusies</b>	<b>45</b>
<b>9</b>	<b>Referenties</b>	<b>47</b>



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Het OI2014 is vanaf het moment van beschikbaar komen gebruikt voor zowel ontwerpen als ook consequentieanalyses van de nieuwe normering. Nu het WBI2017 beschikbaar komt is het belangrijk om vast te stellen of de aannames/keuzes gemaakt in het OI2014 ook overeen komen met de definitieve implementaties in WBI2017. Op basis van de WBI2017 gehanteerde testlocaties is voor heel Nederland het verschil bepaald tussen het toepassen van het OI2014 recept (voor zichtjaar 2015, representatief voor periode 2017-2023) en WBI2017, zodat duidelijk is voor welke projecten/gebieden sprake is van een afwijking tussen OI2014 en WBI2017.

In dit rapport wordt de aanpak en het resultaat van de analyse van verschillen tussen WBI2017 en OI2014 (zichtjaar 2015) gepresenteerd. Per watersysteem wordt eerst het verschil in de onderliggende componenten beschouwd en daarna het verschil bij toepassing van OI2014 rekenrecept en WBI2017 instrumentarium.

## 1.2 Aanpak

De verschillen tussen WBI2017 en OI2014 (zichtjaar 2015) zijn in principe locatie en herhalingstijd afhankelijk. De grootste bijdragen van verschillen zijn echter vergelijkbaar per (deel) watersysteem. Om deze reden worden de verschillen dan ook geanalyseerd per (deel)watersysteem.

Voor de analyse wordt eerst gekeken naar de verschillen per hoofdcomponent. Het betreft hierbij de volgende hoofdcomponenten:

- (i) het gehanteerde belastingmodel,
- (ii) de gehanteerde statistiek,
- (iii) de gehanteerde database/vertaaltabel (met WAQUA resultaten en evt. SWAN resultaten) en
- (iv) de doorwerking van statistische en modelonzekerheden. Vervolgens wordt naar het totale verschil gekeken.

Voor alle beschouwde watersystemen zijn de berekeningsresultaten voor MHW (waterstand bij de norm) en HBN (Hydraulisch Belasting Niveau) volgens OI2014 en WBI2017 met elkaar vergeleken. Voor de kust en de meren is daarnaast ook gekeken naar de verschillen in Q-variant resultaten (belastingen voor bekledingen). Voor overige watersystemen zijn bekledingen, over het algemeen, niet aan de orde.

Voor het belastingmodel kan in WBI2017 gekozen worden tussen Hydra-Ring en Hydra-NL. Vanwege de aard van de beide instrumenten is het onvermijdelijk dat er verschillen zitten tussen beide instrumenten. Uiteraard wordt door WBI2017 gestreefd om de verschillen hiertussen zo klein mogelijk te laten zijn. Vanwege het feit dat vooralsnog beide instrumenten in de volgende toetsronde gebruikt kunnen worden, worden de resultaten van beide instrumenten gebruikt voor de vergelijking met OI2014.

Voor de analyse van de verschillen wordt gebruik gemaakt van de Hydra-versies zoals gebruikt voor het vaststellen van de rekeninstellingen van Hydra-Ring. De Hydra-Ring resultaten zijn bepaald met behulp van de in het kader van WBI2017 vastgestelde rekeninstellingen. Voor de bepaling van het Hydraulisch Belasting Niveau (HBN) is gebruik gemaakt van de profielen zoals ook gehanteerd in de WBI2017 testberekeningen. Deze profielen hebben hun oorsprong in VNK (Veiligheid Nederland in Kaart). Het gehanteerde kritieke overslagdebiet voor deze HBN berekeningen is 10 l/s/m (zowel in geval van de WBI2017 berekeningen als in het geval van de OI2014 berekeningen).

## 2 Bovenrivieren-Rijntakken

### 2.1 Verschillen in componenten probabilistische som

#### 2.1.1 Probabilistisch model

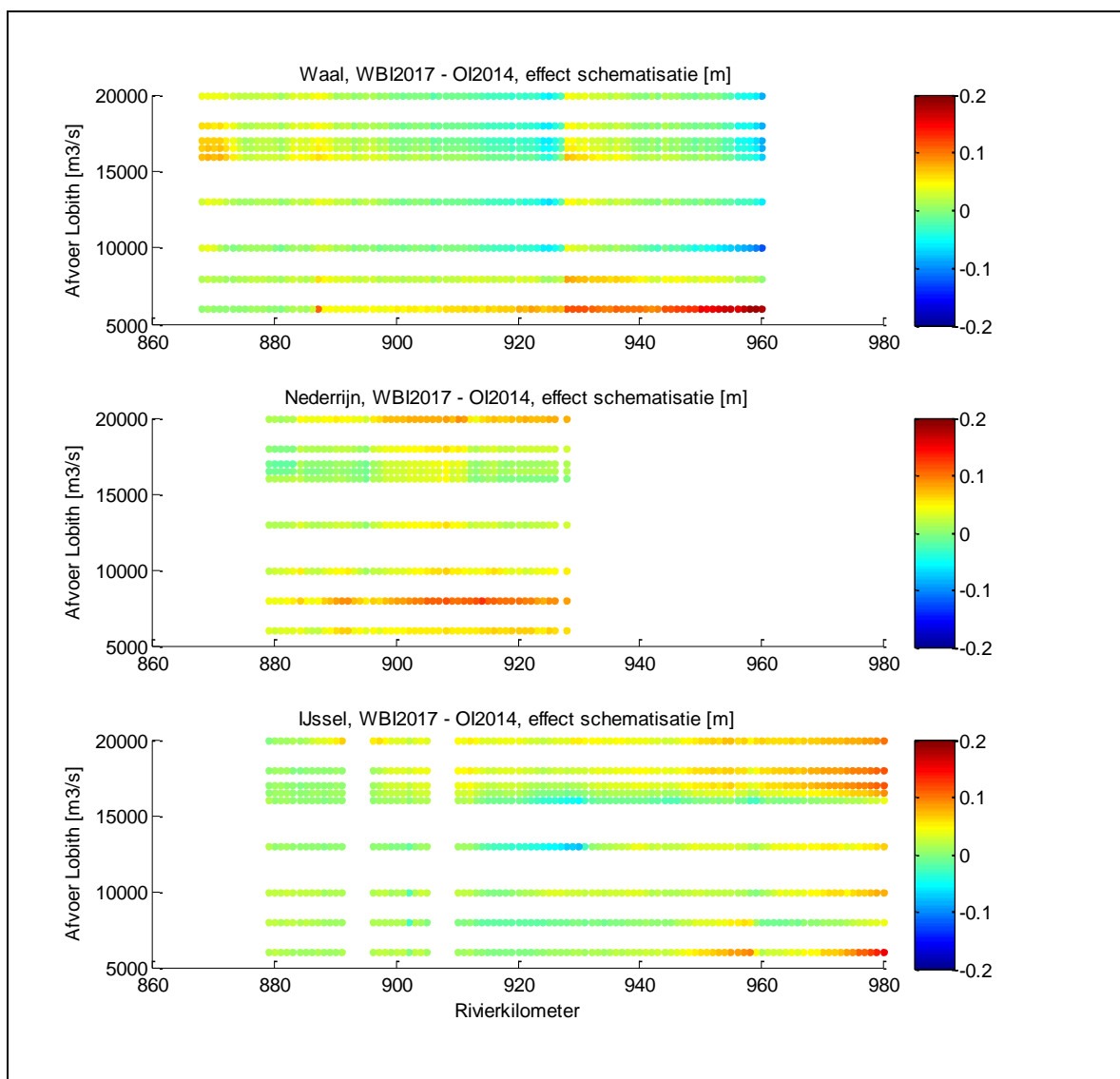
Het belastingmodel voor de Bovenrivieren-Rijntakken verschilt niet tussen WBI2017 en OI2014, uitgezonderd het verdisconteren van onzekerheden. In WBI2017 worden statistische en modelonzekerheden integraal meegenomen in het probabilistische model, terwijl OI2014 een onzekerheidstoetslag toepast op het eindantwoord. Het effect van dit verschil wordt onderstaand nader toegelicht. Los van dit aspect zijn de belastingmodellen gelijk en leiden niet tot verschillen.

#### 2.1.2 Statistiek

Voor de bovenrivieren geldt dat er twee basisstochasten zijn: afvoer en windsnelheid. Voor beide stochasten geldt dat dezelfde basisstatistiek voor 2015 wordt gehanteerd binnen WBI2017 en OI2014. Het gaat hierbij om de afvoerstatistiek uit GRADE. Het aftoppen van de afvoer bij 18.000 m<sup>3</sup>/s speelt geen rol voor zichtjaar 2015 omdat de herhalingsstijd van een dergelijke afvoer veel groter is dan de van toepassing zijnde maximaal toelaatbare faalkansen.

#### 2.1.3 Database fysica

De databases gebruikt in OI2014 verschillen nadrukkelijk van de databases gebruikt in WBI2017. Als gekeken wordt naar de database voor zichtjaar 2015 zoals deze in OI2014 wordt gebruikt, dan geldt dat deze is opgesteld met een beschrijving van de "rivierbak" met referentiejaar 2012 aangevuld met Ruimte voor de Rivier maatregelen (uitgangspunt Deltaprogramma Rivieren). Voor WBI2017 geldt een beschrijving van de rivierbak met referentiejaar 2014 aangevuld met Ruimte voor de Rivier maatregelen. Het effect van het verschil in referentiejaar is per afvoerniveau (afvoer bij Lobith) gekwantificeerd weergegeven in Figuur 2.1.

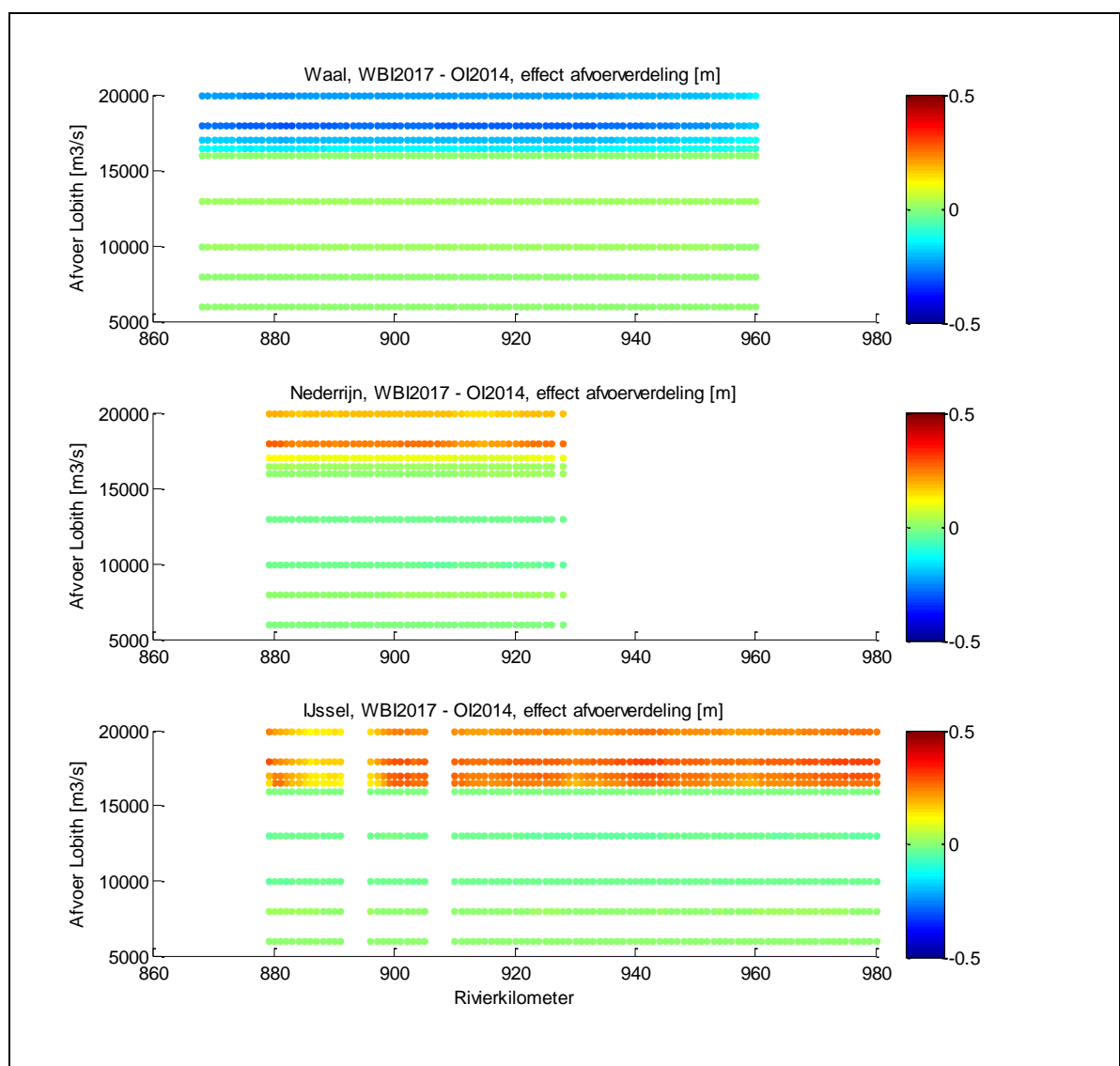


Figuur 2.1 Effect schematisatie “rivierbak” voor referentiejaar per riviertak, WBI2017 minus OI2014

Naast een verschil in de beschrijving van de rivierbak is er ook een verschil met betrekking tot de implementatie van “Lek Ontzien” conform PKB Ruimte voor de Rivier. Lek Ontzien betekent dat er bij afvoeren van meer dan 16.000 m<sup>3</sup>/s niet meer dan 3380 m<sup>3</sup>/s door de Lek stroomt. De wijze waarop dit geïmplementeerd is verschilt tussen beide modellen. In het OI2014 is uitgegaan van het Deltamodel, daarin wordt de Lek volledig Ontzien met een toekomstige regeling van de afvoerverdeling die nog niet met de huidige regelwerken en ruimtelijke maatregelen mogelijk is. In het WBI2017 is uitgegaan van een regeling zoals deze nu mogelijk is. Deze verdeling is voor alle afvoeren groter dan 16.000 m<sup>3</sup>/s gelijk aan de verdeling conform PKB Ruimte voor de Rivier bij 16.000 m<sup>3</sup>/s. In dat geval kan voor  $Q > 16.500$  m<sup>3</sup>/s de Lek niet volledig worden ontzien maar krijgt met name ook de IJssel meer water doordat bij Pannerden onvoldoende water naar de Waal kan worden gestuurd.

Het effect van de verschillende implementaties is te zien in Figuur 2.2. Merk op dat dit effect pas optreedt vanaf een afvoer van 16.500 m<sup>3</sup>/s, welke een herhalingsjijd heeft van 10.000 jaar (op basis van de verwachtingswaarde van de afvoerstatistiek, dus zonder onzekerheden). De verschillen zijn bij 18000 m<sup>3</sup>/s orde +/- 3dm en van belangrijke betekenis voor de dijkontwerpen met hoge normen en zichtjaren ver in de toekomst zoals Grebbedijk, Zutphen en Gorinchem-Sprok (HWBP projecten GoWa, TiWa, Nederbetuwe en Wolferen-Sprok).

Momenteel is het beleidsmatige uitgangspunt voor de afvoerverdeling het OI2014, dit betekent dat voor de Rijntakken gegeven dit standpunt een ontwerp voor zichtjaar 2050 of 2075 op basis van de databases van het WBI2017 niet tot aanbeveling strekt.

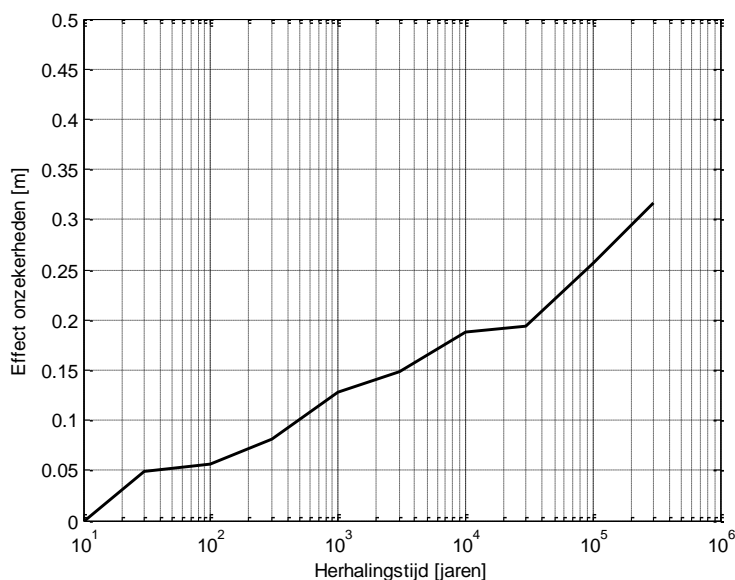


Figuur 2.2 Effect afvoerverdeling voor referentiejaar per riviertak

#### 2.1.4 Kennisonzekerheden

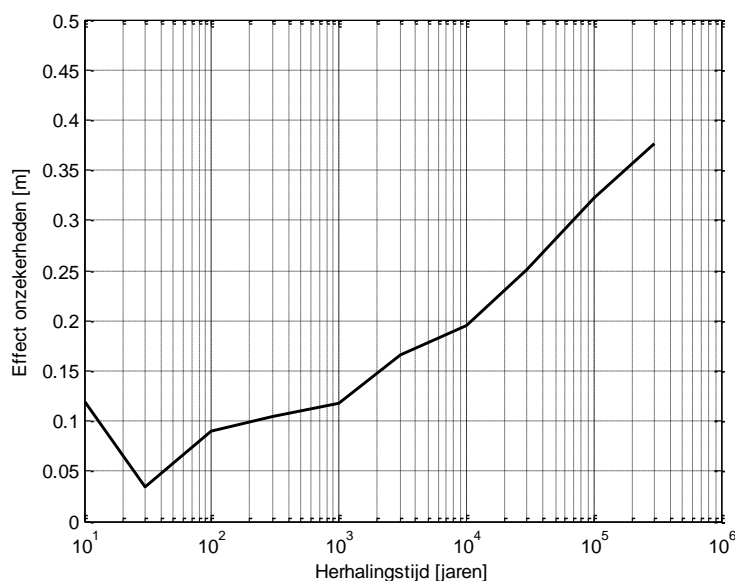
In WBI2017 worden statistische en modelonzekerheden expliciet meegenomen in het probabilistische model. Het meenemen van deze onzekerheden heeft een verhogend effect op de Hydraulische Belastingen. In het OI2014 wordt het toepassen van een onzekerheidstoeslag (op waterstand en golfcondities) voorgeschreven om hierop te anticiperen. De grootte van de onzekerheidstoeslag voor Bovenrivieren in OI2014 is op basis van enkele verkennende berekeningen bepaald op 0.3 meter.

Inmiddels is het mogelijk om gedetailleerde berekeningen uit te voeren naar het effect van het meenemen van onzekerheden. Voor het rivierengebied volgt hieruit dat de invloed van de onzekerheden op de waterstand bij de norm iets lager uitvalt dan de in OI2014 voorgeschreven onzekerheidstoeslag. De in OI2014 voorgeschreven onzekerheidstoeslag op de waterstand (MHW) is 0.30 meter, terwijl het daadwerkelijke effect van onzekerheden op de waterstand bij de norm orde 0.20-0.25 meter blijkt te zijn, zie Figuur 2.3.



Figuur 2.3 Effect onzekerheden volgend uit WBI2017 op waterstand bij de norm: watersysteem 'Bovenrivieren'. Gebaseerd op mediaan van WBI2017 testlocaties.

Voor HBN geldt dat in het OI2014 de toeslag ook 0,3 meter is terwijl er sprake is van een effect van orde 0.25-0.30 meter in het WBI2017 (0.05 meter meer dan op MHW), zie Figuur 2.4. Merk op dat dit afwijkt van het effect van onzekerheden op de waterstand omdat bij HBN ook de modelonzekerheid van de golfberekeningen meetelt. Het OI2014 schrijft geen expliciete toeslag op de golfcondities voor omdat verwacht werd dat de invloed van de modelonzekerheid golfberekeningen klein zou zijn ten opzichte van het effect van onzekerheden op de waterstand bij de norm. Dit blijkt achteraf inderdaad zo te zijn. Daarnaast werd verwacht dat het effect van de doorwerking van correlatie van modelonzekerheden in Duitsland en Nederland wat in WBI2017 zit (maar niet in OI2014) na uit-integratie klein zou zijn. Ook dat blijkt zo te zijn.



Figuur 2.4 Effect onzekerheden volgend uit WBI2017 op HBN: watersysteem 'Bovenrivieren'. Gebaseerd op mediaan van WBI2017 testlocaties.

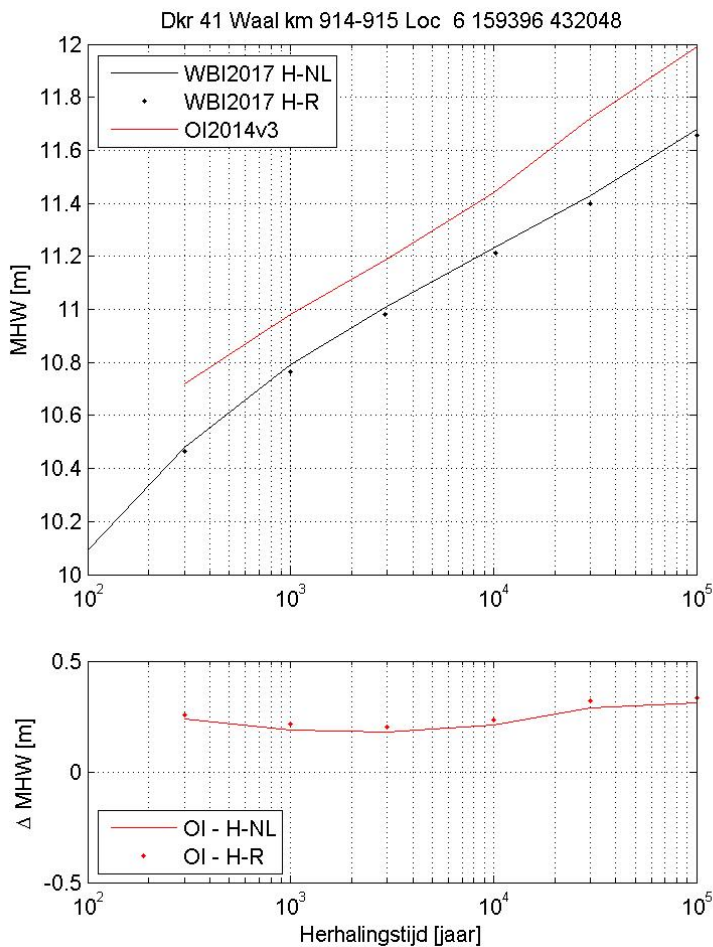
## 2.2 Uit-geïntegreerd verschil in waterstand bij norm (MHW)

In de voorgaande secties zijn de verschillen in de individuele componenten van de Hydraulische Belastingen beschreven en waar mogelijk gekwantificeerd. Een eerste orde benadering van het totale verschil kan worden verkregen door de individuele componenten bij elkaar op te tellen. De verschillen hebben een interactie met elkaar of zijn sterk herhalingstijdafhankelijk, waardoor deze optelsom af kan wijken van het daadwerkelijke verschil.

Voor de locaties geselecteerd als testlocaties in WBI2017 is het resultaat van WBI2017 vergeleken met het rekenrecept van OI2014v3. Dit betekent dat voor de WBI2017 gebruik is gemaakt van de resultaten inclusief onzekerheden (maar wel met een deterministisch overslagdebiet van 10 l/s/m). Voor OI2014 geldt dat gebruik is gemaakt van de resultaten conform rekenrecept, inclusief onzekerheidstoelagen.

Voor locaties langs de Waal resulteert de vergelijking over het algemeen in een afbeelding zoals Figuur 2.5. De figuur toont in de bovenste plot de berekende waterstand als functie van herhalingstijd volgens Hydra-NL (doorgetrokken zwarte lijn), Hydra-Ring/Ring-toets (zwarte puntjes) en het rekenrecept OI2014v3 (rode lijn). Het verschil tussen Hydra-NL / Hydra-Ring en OI2014v3 is weergegeven in de onderste plot: OI2014v3-Hydra-NL (doorgetrokken rode lijn) en OI2014v3 – Hydra-Ring (rode puntjes).

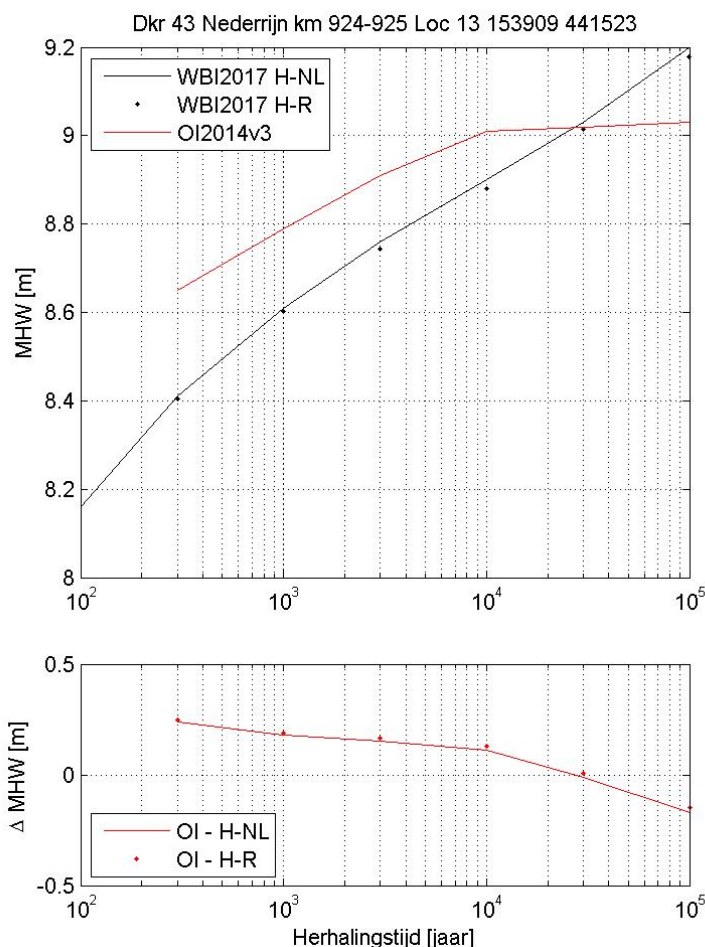
Te zien is dat het recept conform OI2014v3 tot een overschatting van de waterstand bij de norm leidt. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de minder sterke doorwerking van de onzekerheden, 0.1-0.2 meter in plaats van 0.3 meter. Daarnaast spelen voor hogere herhalingstijden (> 10.000 jaar) ook de verschillen in de afvoerverdeling een belangrijke rol, terwijl voor lagere herhalingstijden juist de verschillen in de rivierbak een rol spelen.



Figuur 2.5 Vergelijking WBI2017 met OI2014v3 voor de Waal. Bovenste plot: berekende waterstand als functie van herhalingstijd voor Hydra-NL, Hydra-Ring en recept OI2014v3. Onderste plot: OI2014v3 minus Hydra-NL/ Hydra-Ring

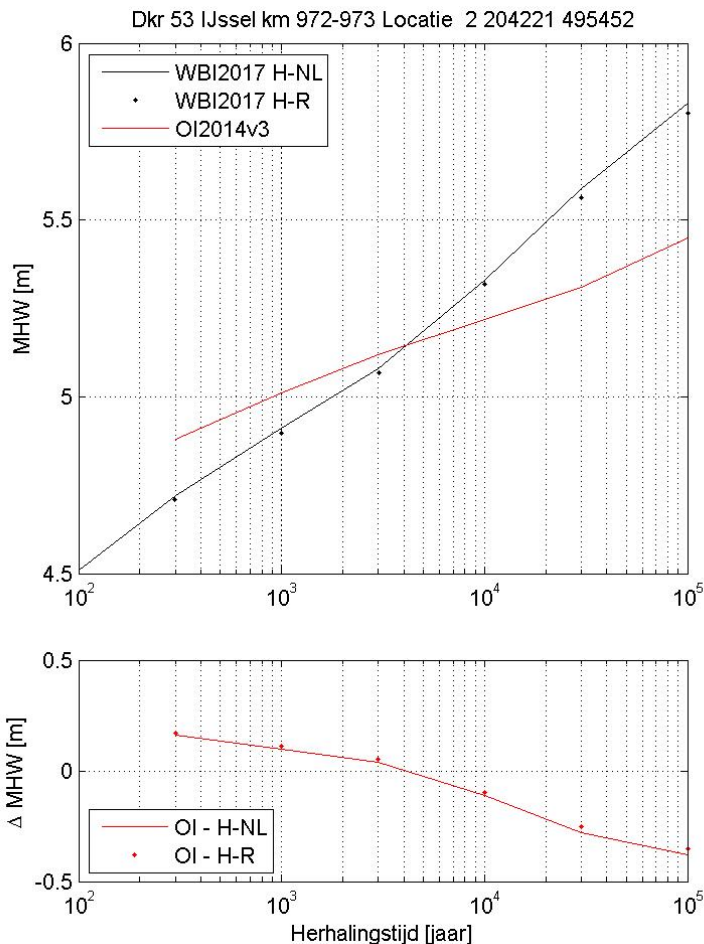
Voor locaties langs de Lek geldt dat er een ander gedrag te zien is (voornamelijk bij hogere herhalingstijden), zie Figuur 2.6. Dit gedrag, het afnemen van het verschil (OI2014v3 minus WBI2017) van een overschatting naar een onderschatting met toenemende herhalingstijd wordt veroorzaakt door de verschillen in afvoerverdeling (Lek ontzien) bij herhalingstijden groter dan 10.000 jaar. Immers vanaf een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s (herhalingstijd orde 10.000 jaar) wordt in OI2014 de Lek volledig ontzien, terwijl er in WBI2017 een limiet is aan de mate waarin de Lek kan worden ontzien. Hierdoor loopt in geval van WBI2017 de overschrijdingscurve steeds verder op, terwijl in OI2014v3 de overschrijdingscurve van de waterstand sterk afvlakt. Dit effect is van groot belang voor trajecten met een trajectnorm van meer dan 10.000 jaar.





Figuur 2.6 Vergelijking WBI2017 met OI2014v3 voor de Nederrijn. Bovenste plot: berekende waterstand als functie van herhalingstijd voor Hydra-NL, Hydra-Ring en recept OI2014v3. Onderste plot: OI2014v3 minus Hydra-NL/ Hydra-Ring

Voor locaties langs de IJssel geldt een vergelijkbaar beeld als voor locaties langs de Lek, zie Figuur 2.7, met als verschil dat hier de overschrijdingscurve van de waterstand wel oploopt bij hogere herhalingstijden omdat door het ontzien van de Lek wat meer water naar de IJssel wordt gestuurd. Daarnaast blijkt, niet zichtbaar in figuur, dat de doorwerking van onzekerheden sterker is op de IJssel. In geval van een vlakke overschrijdingscurve is bij uit-integreren de doorwerking van onzekerheden sterker dan bij een minder vlakke overschrijdingscurve. Voor de IJssel geldt dat als gevolg van de regelwerken op de splitsingspunten de overschrijdingscurve vlak is en volgt dus een grotere doorwerking van onzekerheden (tot orde 0.4-0.5 meter voor herhalingstijden groter dan 10.000 jaar). Hierdoor wordt het verschil tussen OI2014v3 en WBI2017 kleiner (tot zelfs een lichte onderschatting vanaf een herhalingstijd van circa 5.000 jaar).



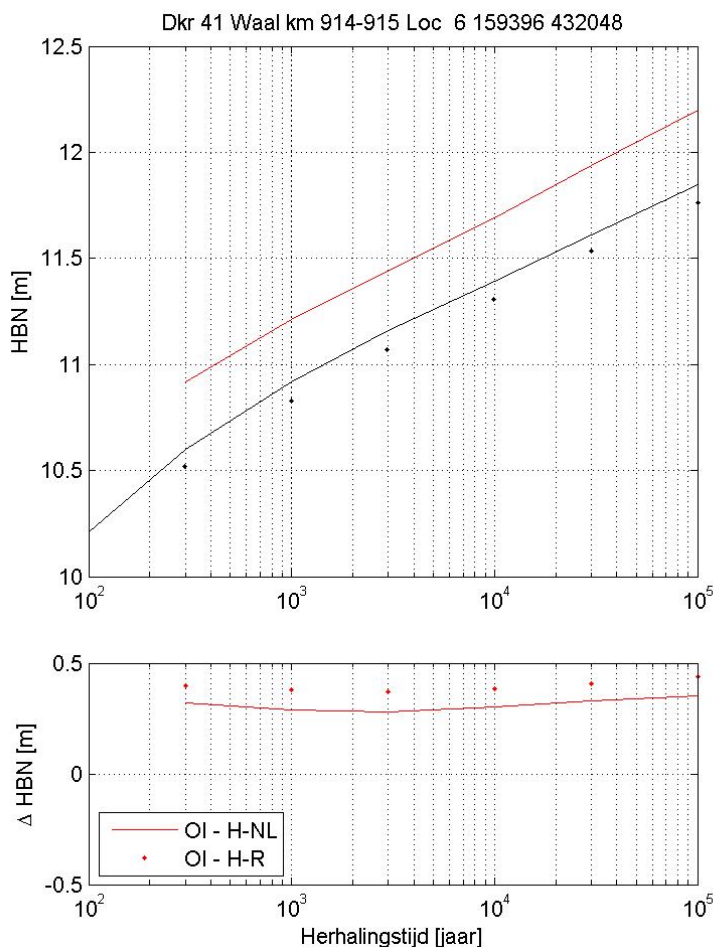
Figuur 2.7 Vergelijking WBI2017 met OI2014v3 voor de IJssel. Bovenste plot: berekende waterstand als functie van herhalingstijd voor Hydra-NL, Hydra-Ring en recept OI2014v3. Onderste plot: OI2014v3 minus Hydra-NL/ Hydra-Ring

### 2.3 Uit-geïntegreerd verschil in Hydraulisch Belasting Niveau (HBN)

In de voorgaande sectie is gekeken naar het totale verschil in waterstand bij norm. Voor het Hydraulische Belasting Niveau (HBN) geldt dat het totale verschil anders zal uitpakken omdat hier ook de bijdrage van golven doorwerkt. Als gevolg van de toevoeging van golven geldt enerzijds dat (i) statistische onzekerheid van de wind en (ii) modelonzekerheid golven een rol gaan spelen en anderzijds dat de kansbijdrage van de waterstand (en dus afvoer) kleiner wordt. Als kengetal kan aangehouden worden dat de waterstand uit een illustratiepunt van een HBN berekening bij benadering overeen komt met een MHW met een vier keer lagere herhalingstijd.

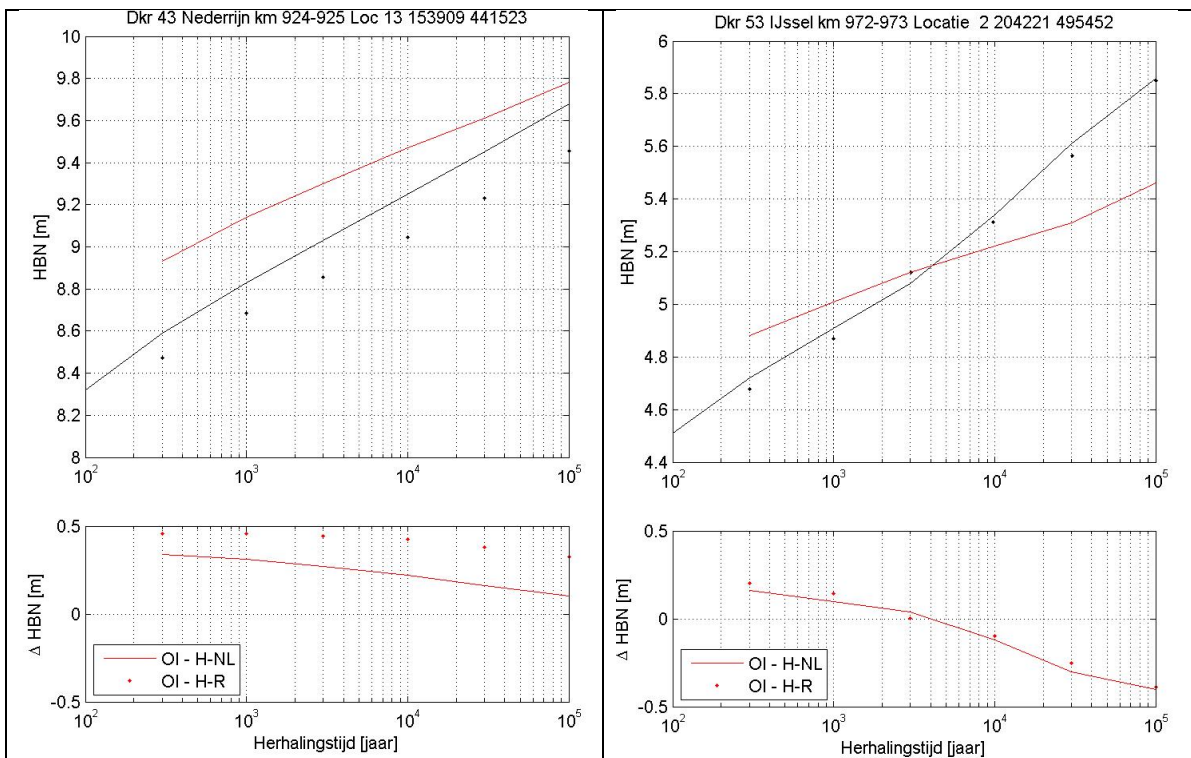
Net als voor waterstand bij de norm is voor HBN gekeken naar het verschil tussen OI2014v3 en WBI2017 (Hydra-NL en Hydra-Ring). Figuur 2.8 toont voor de Waal in de bovenste plot de berekende HBN's volgens Hydra-NL, Hydra-Ring en OI2014v3. De onderste plot toont de verschillen in berekende HBN's tussen Hydra-NL en OI2014v3 enerzijds en Hydra-Ring en OI2014v3 anderzijds.

Allereerst is te zien dat Hydra-NL en Hydra-Ring beperkt van elkaar verschillen (orde 0.05-0.10 meter). Voor nu wordt aangenomen dat Hydra-Ring leidend is boven Hydra-NL: bepalend is dan ook het verschil tussen OI2014v3 en Hydra-Ring. Verder is te zien dat het rekenrecept volgens OI2014v3 ook voor HBN tot een overschatting leidt ten opzichte van WBI2017. De onderste plot laat zien dat dit verschil relatief constant is over de herhalingstijden en orde 0.3-0.4 meter bedraagt.



Figuur 2.8 Vergelijking WBI2017 met OI2014v3 voor de Waal. Bovenste plot: berekende HBN als functie van herhalingstijd voor Hydra-NL, Hydra-Ring en recept OI2014v3. Onderste plot: OI2014v3 minus Hydra-NL/ Hydra-Ring

Voor de Nederrijn en IJssel is een vergelijkbare analyse uitgevoerd, waarvan het resultaat te zien is in Figuur 2.9. Hierin is een vergelijkbaar beeld als voor MHW af te leiden: het verschil tussen OI2014v3 en WBI2017 neemt af met toenemende herhalingstijd. Deze afname van het verschil wordt voornamelijk veroorzaakt door de sterkere doorwerking van onzekerheden in het HBN: hoe hoger de herhalingstijd, hoe groter het effect van de onzekerheden en hoe kleiner het verschil met de onzekerheidstoeslag zoals voorgeschreven in OI2014v3. Specifiek voor de IJssel geldt dat als gevolg van de afvoerverdeling de overschrijdingscurve erg vlak is en dat hierdoor de doorwerking van onzekerheden veel sterker is dan op de Nederrijn en de Waal.



Figuur 2.9 Vergelijking WBI2017 met OI2014v3 voor de Nederrijn en IJssel. Bovenste plot: berekende HBN als functie van herhalingsjijd voor Hydra-NL, Hydra-Ring en recept OI2014v3. Onderste plot: OI2014v3 minus Hydra-NL/Hydra-Ring

## 3 Maasvallei

### 3.1 Verschillen in componenten probabilistische som

#### 3.1.1 Probabilistisch model

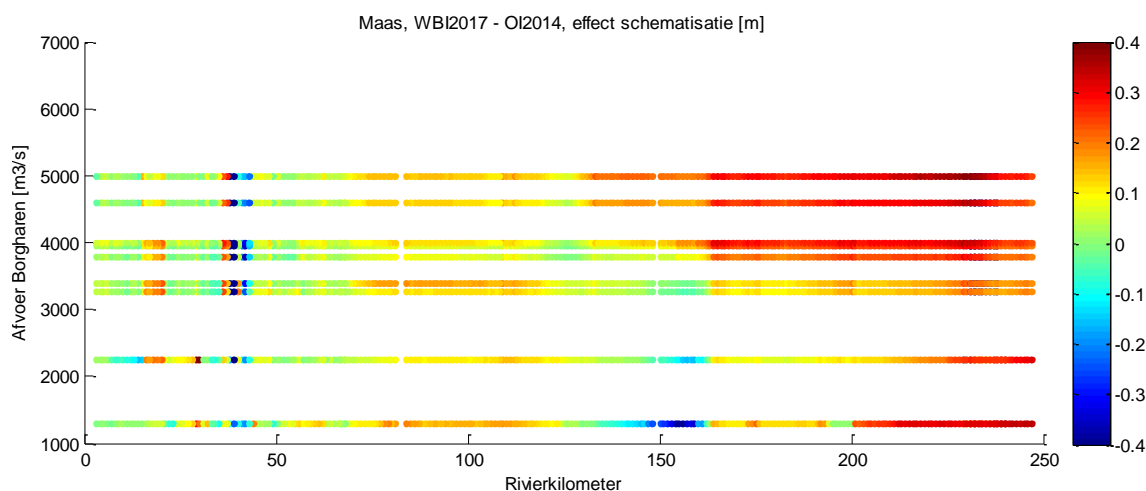
Het belastingmodel voor de Maasvallei verschilt niet tussen WBI2017 en OI2014, uitgezonderd het verdisconteren van onzekerheden. In WBI2017 worden statistische en modelonzekerheden integraal meegenomen in het probabilistische model, terwijl OI2014 een onzekerheidstoeslag toepast op het eindantwoord. Het effect van dit verschil wordt onderstaand nader toegelicht. Los van dit aspect zijn de belastingmodellen gelijk en leiden niet tot verschillen.

#### 3.1.2 Statistiek

Voor de bovenrivieren geldt dat er twee basisstochasten zijn: afvoer en windsnelheid. Voor beide stochasten geldt dat dezelfde basisstatistiek wordt gehanteerd binnen WBI2017 en OI2014.

#### 3.1.3 Database fysica

De database gebruikt in OI2014 verschilt nadrukkelijk van de database gebruikt in WBI2017. Als gekeken wordt naar de database voor zichtjaar 2015 zoals deze in OI2014 wordt gebruikt, dan geldt dat deze is opgesteld met een beschrijving van de "rivierbak" met referentiejaar 2012 aangevuld met Ruimte voor de Rivier maatregelen (uitgangspunt Deltaprogramma Rivieren). Voor WBI2017 geldt een beschrijving van de rivierbak met referentiejaar 2014 aangevuld met Ruimte voor de Rivier maatregelen. Het effect van het verschil in referentiejaar is per afvoerniveau (afvoer bij Borgharen) gekwantificeerd weergegeven in Figuur 3.1. Te zien is dat de schematisatie van de "rivierbak" in WBI2017 over het algemeen tot hogere waterstanden leidt dan in OI2014. Merk op dat dit vooral aan de orde is voor de Brabantse Maas (vanaf circa rivierkilometer 160), verschillen voor de Maasvallei kunnen ook tot lagere waterstanden leiden.



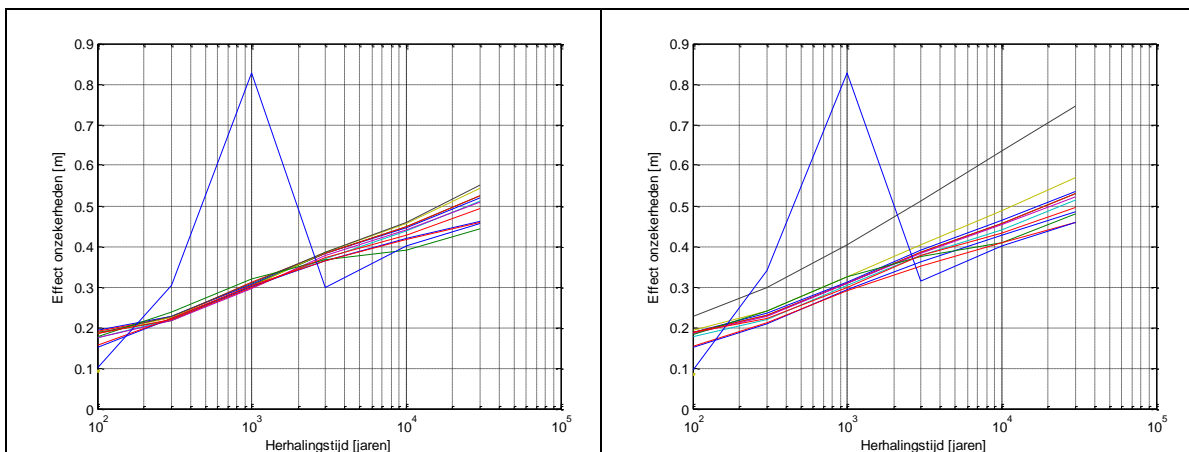
Figuur 3.1 Effect schematisatie "rivierbak" voor referentiejaar voor de Maas

Opgemerkt wordt dat het vervolg van de analyse voor de Maas zich richt op de Maasvallei (van rivierkilometer 0 tot en met 160) en dat het traject van de Brabantse Maas niet verder beschouwd wordt.

### 3.1.4 Kennisonzekerheden

In WBI2017 worden statistische en modelonzekerheden expliciet meegenomen in het probabilistische model. Het meenemen van deze onzekerheden heeft een verhogend effect op de Hydraulische Belastingen. In het OI2014 wordt het toepassen van een onzekerheidstoeslag (op waterstand en golfcondities) voorgeschreven om hierop te anticiperen. De grootte van de onzekerheidstoeslag voor Bovenrivieren in OI2014 is op basis van enkele verkennende berekeningen bepaald op 0.25 meter (onder meer ingegeven door de relatief lage normen voor deze gebieden).

Inmiddels is het mogelijk om gedetailleerde berekeningen uit te voeren naar het effect van het meenemen van onzekerheden. Voor het rivierengebied volgt hieruit dat de invloed van de onzekerheden op de waterstand bij de norm van dezelfde orde is als de in OI2014 voorgeschreven onzekerheidstoeslag, zoals te zien is in Figuur 3.2 (links). De afbeelding laat overigens 1 locatie met een uitschieter zien in het effect van onzekerheden: dit wordt veroorzaakt door het wel/niet onderlopen van uiterwaarden indien wel/niet gerekend wordt met onzekerheden. De invloed van onzekerheden op het HBN is vergelijkbaar aan de invloed op het MHW, zoals te zien is in Figuur 3.2 (rechts). Wederom laat dezelfde locatie een uitschieter zien als gevolg van het net wel/niet onderlopen van uiterwaarden.



Figuur 3.2 Maas: effect onzekerheden op MHW (links) en HBN (rechts) voor alle WBI2017 testlocaties in de Maasvallei

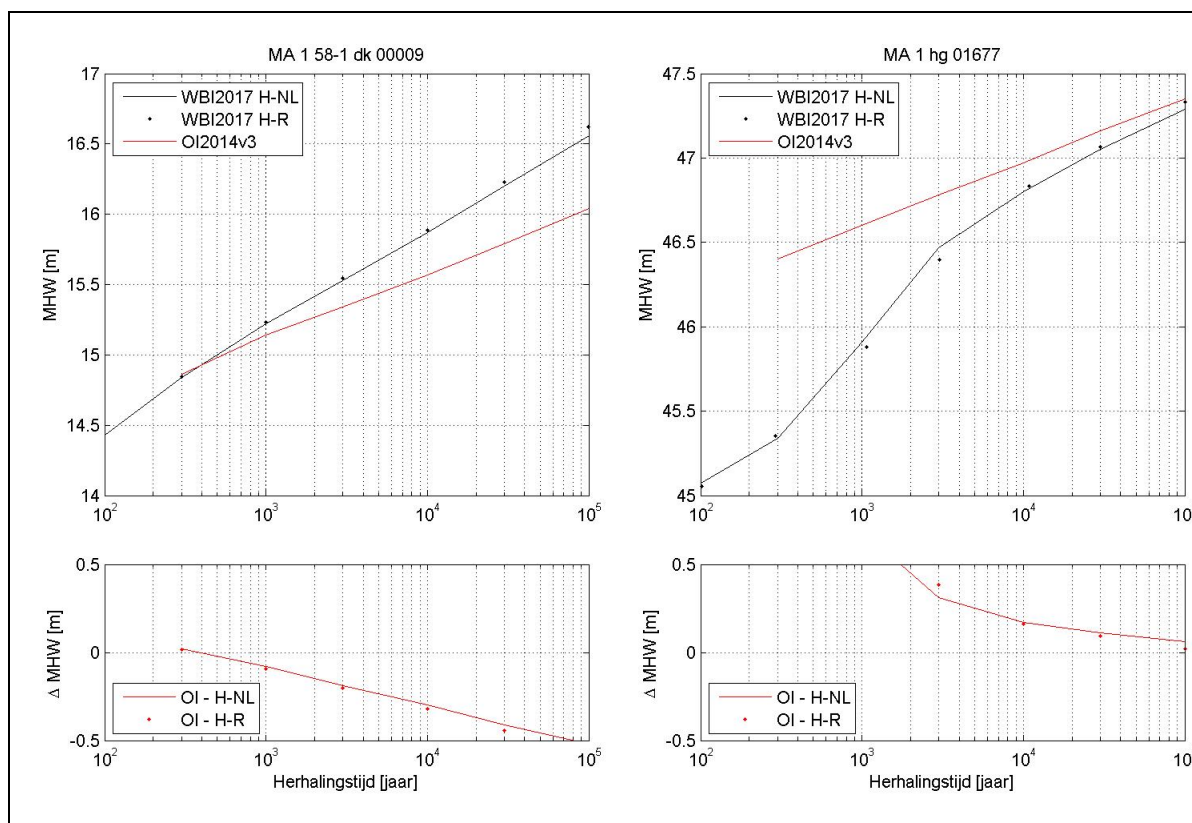
### 3.2 Uit-geïntegreerd verschil in waterstand bij norm (MHW)

In de voorgaande secties zijn de verschillen in de individuele componenten van de Hydraulische Belastingen beschreven en waar mogelijk gekwantificeerd. Een eerste orde benadering van het totale verschil kan worden verkregen door de individuele componenten bij elkaar op te tellen. De verschillen hebben een interactie met elkaar of zijn sterk herhalingstijdafhankelijk, waardoor deze optelsom af kan wijken van het daadwerkelijke verschil.

Voor de locaties geselecteerd als testlocaties in WBI2017 is het resultaat van WBI2017 vergeleken met het rekenrecept van OI2014v4. Dit betekent dat voor de WBI2017 gebruik is gemaakt van de resultaten inclusief onzekerheden (maar wel met een deterministisch overslagdebiet van 10 l/s/m). Voor OI2014 geldt dat gebruik is gemaakt van de resultaten conform rekenrecept, inclusief onzekerheidstoelagen.

Voor locaties langs in de Maasvallei laat de vergelijking zien dat het MHW volgens OI2014 op de beschouwde locaties over het algemeen orde 0-0.1 meter lager uitvalt voor herhalingstijden tot 1000 jaar, zie Figuur 3.3 (links). Deze onderschatting is het gevolg van het verschil in de gehanteerde "rivierbak": waarschijnlijk een combinatie van zowel verschillen in schematisatie van Ruimte voor de Rivier/Maaswerken maatregelen als gehanteerde vegetatiebeelden. Dit betekent dat de verschillen gepresenteerd in paragraaf 4.1.3 een ruimtelijk beeld geven van de te verwachten verschillen tussen OI2014 en WBI2017 voor zichtjaar 2015. Deze verschillen kunnen dan ook lokaal groot zijn, waarbij OI2014 in een onderschatting van het MHW resulteert ten opzichte van WBI2017.

Wel zijn er in de Maasvallei enkele uitzonderingen, vergelijkbaar aan Figuur 3.3 (rechts). Deze uitzonderingen worden gevormd door locaties welke in het WBI2017 droogvallen bij lage herhalingstijden, maar bij OI2014 nog wel onderlopen. Hierdoor ontstaan lokaal grote verschillen tussen WBI2017 en OI2017. In deze gevallen is OI2014 sterk conservatief ten opzichte van WBI2017.

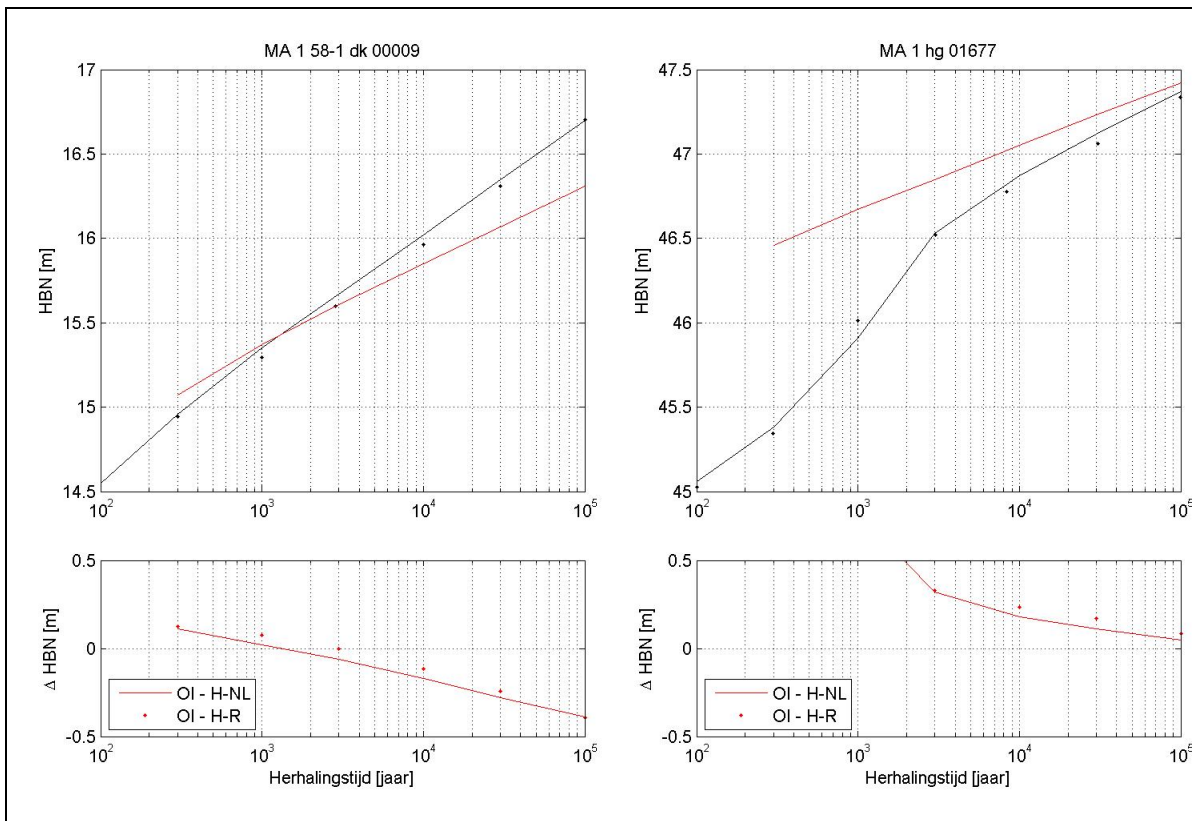


Figuur 3.3 Vergelijking WBI2017 met OI2014v3 voor twee locaties in de Maasvallei. Bovenste plot: berekende waterstand als functie van herhalingstijd voor Hydra-NL, Hydra-Ring en recept OI2014v3. Onderste plot: OI2014v3 minus Hydra-NL/ Hydra-Ring

### 3.3 Uit-geïntegreerd verschil in Hydraulisch Belasting Niveau (HBN)

In de voorgaande sectie is gekeken naar het totale verschil in waterstand bij norm. Voor het Hydraulische Belasting Niveau (HBN) geldt dat het totale verschil anders zal uitpakken omdat hier ook de bijdrage van golven doorwerkt. Als gevolg van de toevoeging van golven geldt enerzijds dat (i) statistische onzekerheid van de wind en (ii) modelonzekerheid golven een rol gaan spelen en anderzijds dat de kansbijdrage van de waterstand (en dus afvoer) kleiner wordt.

Net als voor waterstand bij de norm is voor HBN gekeken naar het verschil tussen OI2014v4 en WBI2017 (Hydra-NL en Hydra-Ring). Figuur 3.4 laat zien dat het verschil van het HBN overeen komt met het verschil geobserveerd voor MHW. Voor lage herhalings tijden is over het algemeen sprake van een lichte over/onderschatting. Uitzondering wordt gevormd door locaties waar sprake is van droogval in WBI2017 en niet in OI2014: daar overschat OI2014 het HBN significant.



Figuur 3.4 Vergelijking WBI2017 met OI2014v3 voor twee locaties in de Maasvallei. Bovenste plot: berekende HBN als functie van herhalings tijd voor Hydra-NL, Hydra-Ring en recept OI2014v4. Onderste plot: OI2014v4 minus Hydra-NL/Hydra-Ring



## 4 Meren

### 4.1 Verschillen in componenten probabilistische som

#### 4.1.1 Probabilistisch model

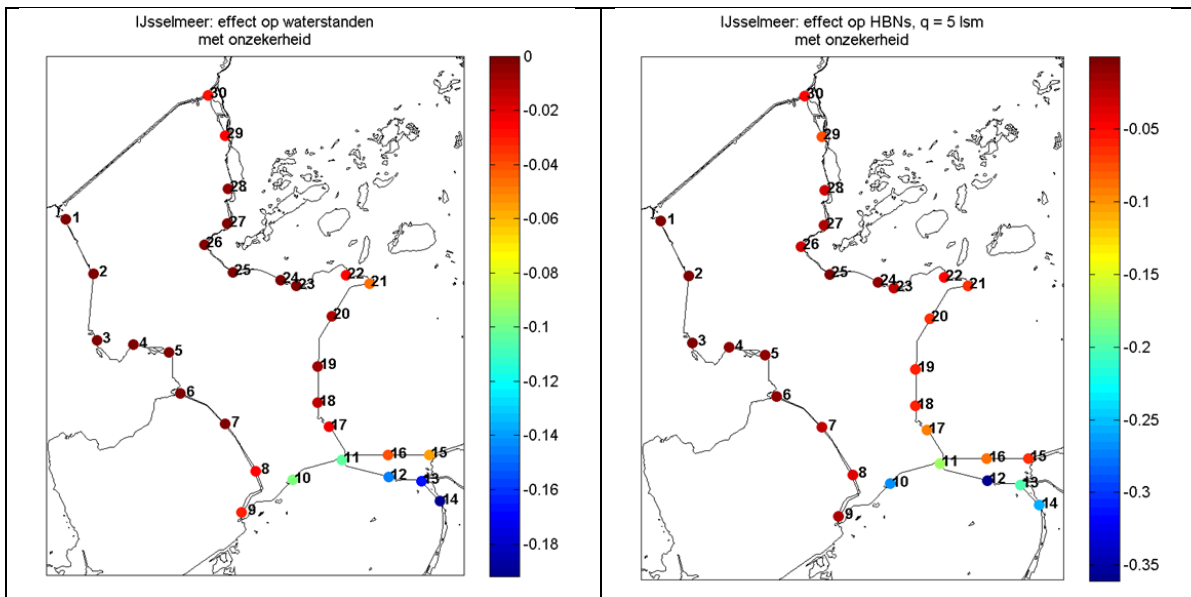
Het belastingmodel voor de Meren verschilt niet tussen WBI2017 en OI2014, uitgezonderd het verdisconteren van onzekerheden. In WBI2017 worden statistische en modelonzekerheden integraal meegenomen in het probabilistische model, terwijl OI2014 een onzekerheidstoeslag toepast op het eindantwoord. Het effect van dit verschil wordt onderstaand nader toegelicht. Los van dit aspect zijn de belastingmodellen gelijk en leiden niet tot verschillen.

#### 4.1.2 Statistiek

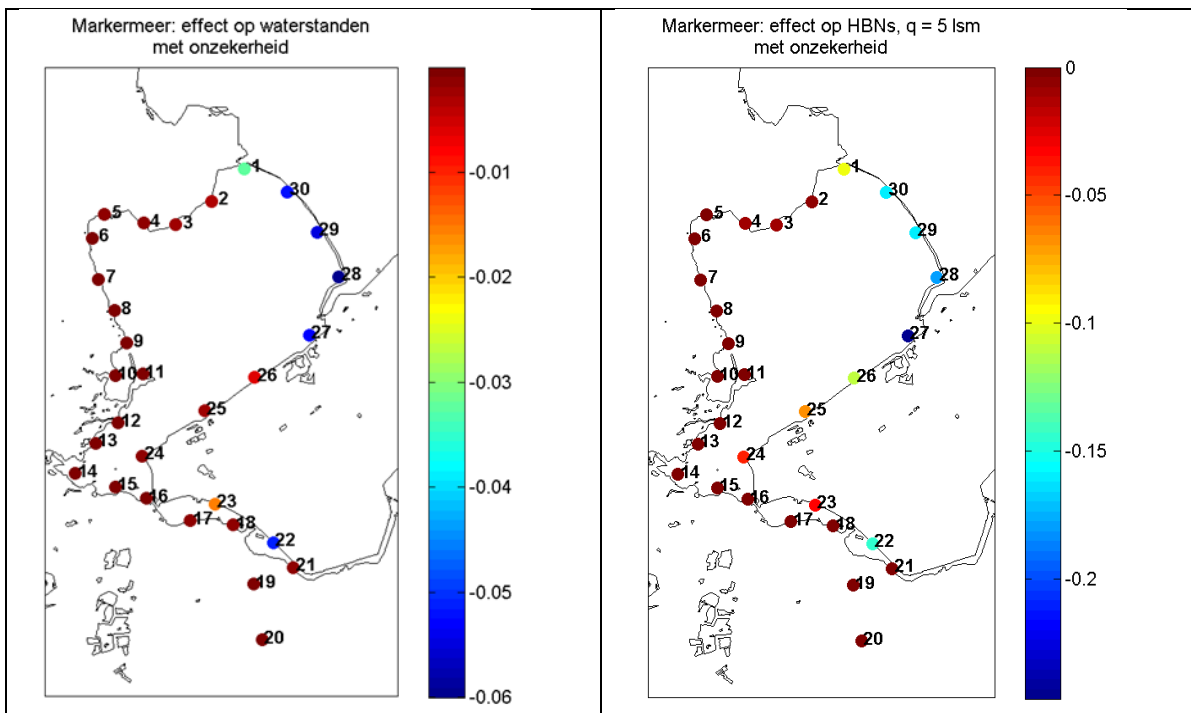
Voor de Meren geldt dat er twee basisstochasten zijn: meerpeil en windsnelheid. Voor beide stochasten geldt dat dezelfde basisstatistiek wordt gehanteerd binnen WBI2017 en OI2014. Er is wel een verschil als het gaat over de statistische onzekerheid: deze wordt in WBI2017 integraal meegenomen en wordt in OI2014 als toeslag achteraf verdisconteerd. Het effect hiervan wordt later beschouwd.

Verder wordt voor de Meren in WBI2017 rekening gehouden met de nieuwste inzichten aangaande de energieoverdracht door de wind op het water (zowel voor waterstanden als golfcondities). WBI2017 anticipeert op een afvlakking van deze energieoverdracht bij windsnelheden boven de 30 m/s. Deze afvlakking is geïmplementeerd via de statistiek van de wind en kan derhalve ook in OI2014 worden toegepast. Opgemerkt wordt dat het rekening houden met de afvlakking van de winddrag al wel is meegenomen in het recept voor het normtraject 8-4 (Drontermeerdijk langs het Vossemeer), maar nog niet in overige recepten afgegeven voor dijktrajecten gelegen langs het watersysteem Meren (IJsselmeer en Markermeer). Merk op dat het effect van het meenemen van afvlakking van winddrag pas van toepassing is vanaf 30 m/s en dus geen effect sorteert bij lage normen.

Figuur 4.1 en Figuur 4.2 tonen het effect van het afvlakken van de winddrag voor zowel MHW als voor HBN, HKV (2016). Te zien is dat het effect van het afvlakken van de winddrag alleen effect heeft op MHW en HBN voor locaties gelegen aan de oostelijke oevers van IJsselmeer en Markermeer. Dit is conform verwachting omdat voor de oostelijke oevers geldt dat de maatgevende conditie gevormd wordt door extreme wind. Voor de locaties langs de westelijke oevers geldt dat de maatgevende situatie voornamelijk gevormd wordt door hoge meerpeilen in combinatie met opzet gegenereerd door lage windsnelheden (< 30m/s) en dat de invloed van het afvlakken van de winddrag daarmee beperkt is.



Figuur 4.1 IJsselmeer: Invloed afvlakken winddrag op MHW (links) en HBN (rechts), herhalingsijd overeenkomstig de maximaal toelaatbare kans van het normtraject



Figuur 4.2 Markermeer: Invloed afvlakken winddrag op MHW (links) en HBN (rechts), herhalingsijd overeenkomstig de maximaal toelaatbare kans van het normtraject

### 4.1.3 Database fysica

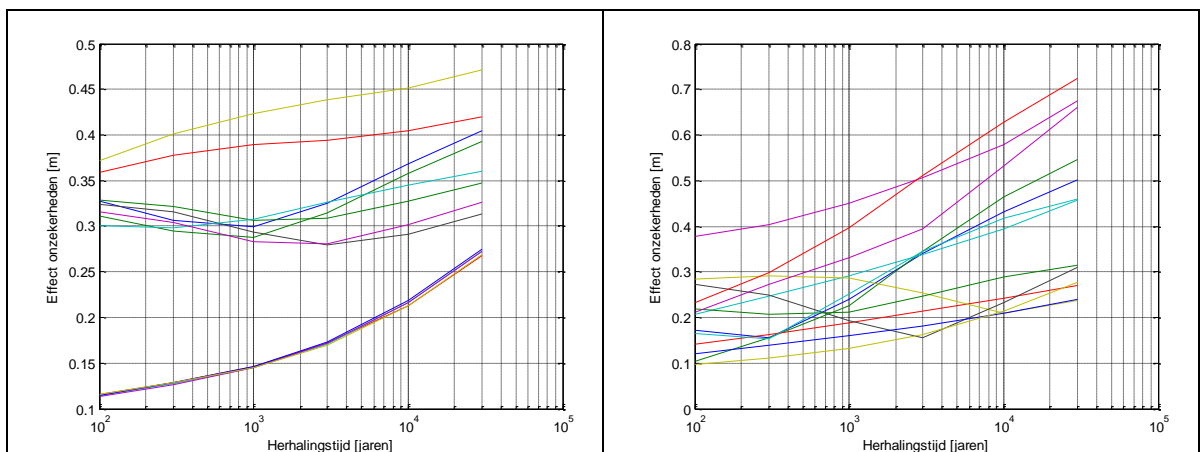
De voor de Meren te hanteren databases in het OI2014 bevatten dezelfde databases als die voor WBI2017.

#### 4.1.4 Kennisonzekerheden

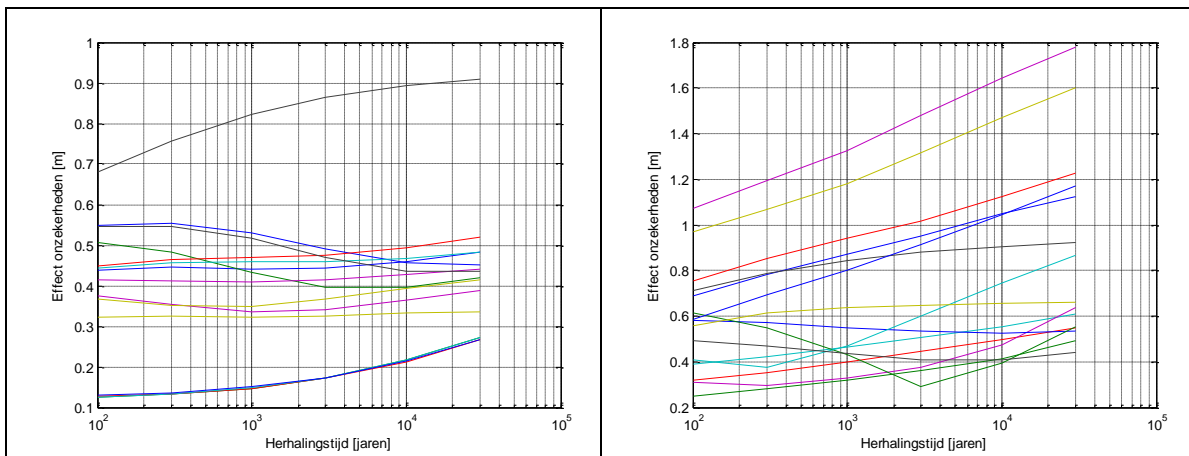
In WBI2017 worden statistische en modelonzekerheden expliciet meegenomen in het probabilistische model. Het meenemen van deze onzekerheden heeft een verhogend effect op de Hydraulische Belastingen. In het OI2014 wordt het toepassen van een onzekerheidstoeslag (op waterstand en golfcondities) voorgeschreven om hierop te anticiperen. De grootte van de onzekerheidstoeslag voor de Meren in OI2014 is op basis van enkele verkennende berekeningen bepaald: 0.4 meter op de waterstand en 10% op golfhoogte en golfperiode. Specifiek voor Marken en Markermeerdijken is een toeslag van 0.2 meter op de waterstand en 10% op de golfhoogte en golfperiode voorgeschreven in verband met de lage norm.

Inmiddels is het mogelijk om gedetailleerde berekeningen uit te voeren naar het effect van het meenemen van onzekerheden. Op basis van de resultaten beschikbaar op testlocaties gehanteerd binnen WBI2017 is het effect van onzekerheden in beeld gebracht. Voor het merengebied volgt hieruit dat de invloed van de onzekerheden op de waterstand bij de norm iets lager uitvalt dan de in OI2014 voorgeschreven onzekerheidstoeslag. De in OI2014 voorgeschreven onzekerheidstoeslag op de waterstand (MHW) is 0.40 meter, terwijl het daadwerkelijke effect van onzekerheden op de waterstand voor sommige locaties veelal minder is, maar voor enkele locaties juist veel meer, zoals te zien is in Figuur 4.3 (links) voor IJsselmeer en Figuur 4.4 (links) voor Markermeer.

Voor het HBN geldt dat het OI2014 een toeslag van 0.4 meter op de waterstand en 10% op golfhoogte en golfperiode heeft voorgeschreven. Figuur 4.3 (rechts) en Figuur 4.4 (rechts) laten zien dat het effect van onzekerheden op HBN voor locaties in het IJsselmeer over het algemeen kleiner is, terwijl op het Markermeer voor een aantal locaties langs de oostelijke oever (Flevoland) een groter effect op HBN wordt gevonden.



Figuur 4.3 IJsselmeer: effect onzekerheden op MHW (links) en HBN (rechts). Hydra-NL met onzekerheden minus Hydra-NL zonder onzekerheden, voor alle testlocaties in het IJsselmeer.



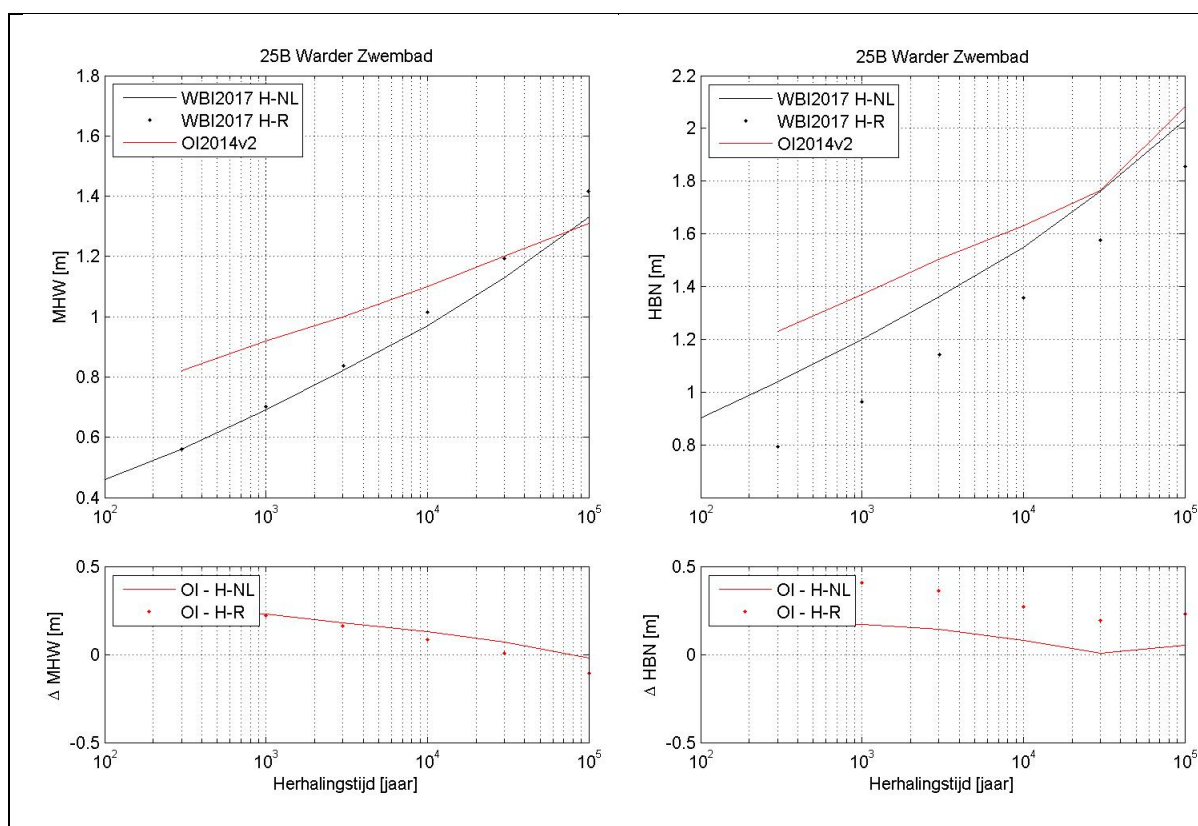
Figuur 4.4 Markermeer: effect onzekerheden op MHW (links) en HBN (rechts). Hydra-NL met onzekerheden minus Hydra-NL zonder onzekerheden, voor alle testlocaties in het Markermeer.

#### 4.2 Markermeer: uit-geïntegreerd verschil in MHW en HBN

In de voorgaande secties zijn de verschillen in de individuele componenten van de Hydraulische Belastingen beschreven en waar mogelijk gekwantificeerd. Een eerste orde benadering van het totale verschil kan worden verkregen door de individuele componenten bij elkaar op te tellen. De verschillen hebben een interactie met elkaar of zijn sterk herhalingstijdafhankelijk, waardoor deze optelsom af kan wijken van het daadwerkelijke verschil.

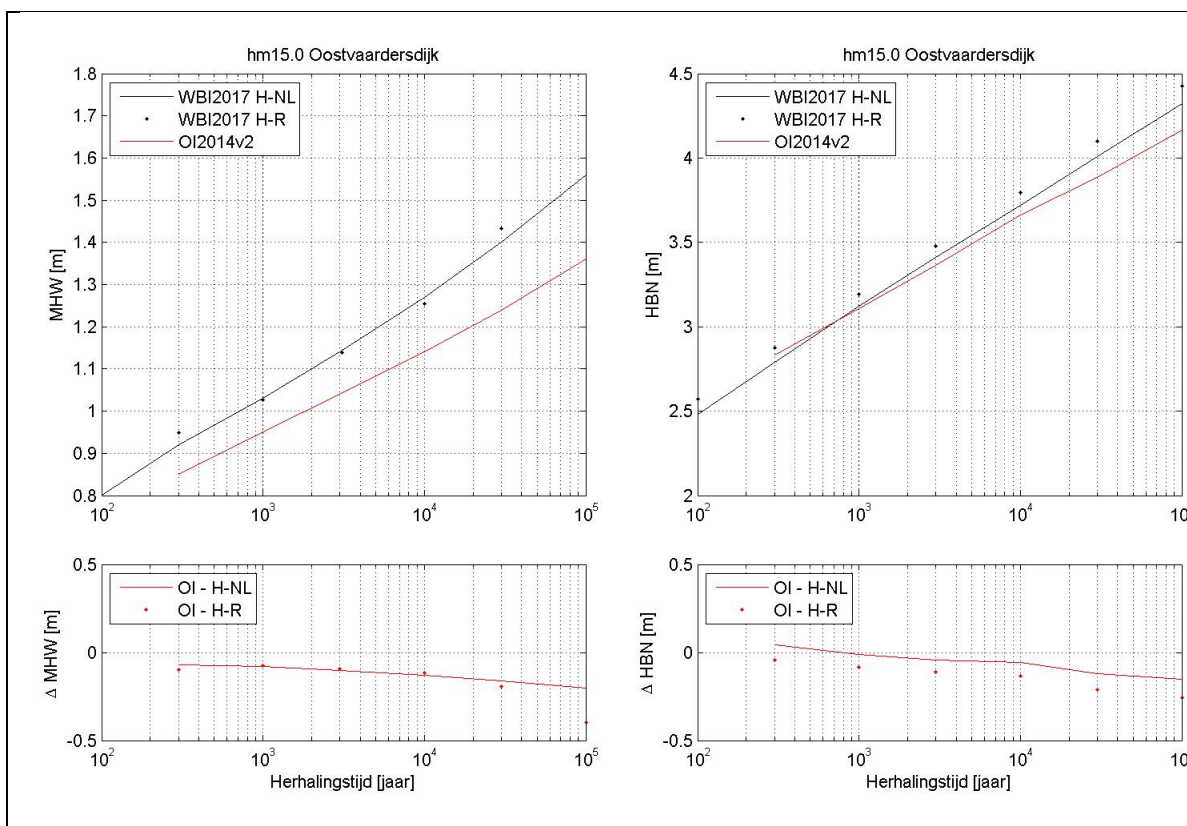
Voor de locaties geselecteerd als testlocaties in WBI2017 is het resultaat van WBI2017 vergeleken met het rekenrecept van OI2014v3. Dit betekent dat voor de WBI2017 gebruik is gemaakt van de resultaten inclusief onzekerheden (maar wel met een deterministisch overslagdebiet van 10 l/s/m). Voor OI2014 geldt dat gebruik is gemaakt van de resultaten conform rekenrecept, inclusief onzekerheidstoelagen.

Voor het Markermeer geldt dat de verschillen tussen WBI2017 en OI2014v2 sterk locatieafhankelijk zijn. Op hoofdlijnen kan onderscheid worden gemaakt tussen de westelijke oever en de oostelijke oever van het Markermeer. Voor de westelijke oevers geeft Figuur 4.5 een typisch verschil voor MHW (links) en HBN (rechts). Te zien is dat het hanteren van een onzekerheidstoelage van 0.4 meter conform OI2014v2 tot een overschatting van het MHW leidt, hoewel deze overschatting wel afneemt met toenemende herhalingstijd. Voor HBN is een vergelijkbaar beeld te zien: de toeslag van 0.4 meter op de waterstand en 10% op de golfcondities leidt tot een overschatting van het HBN ten opzichte van WBI2017. Voor zowel MHW als HBN geldt dat de verlaging van de toeslag op de waterstand van 0.4 naar 0.2 meter (zoals geadviseerd voor onder andere Marken), nog steeds tot een overschatting van zowel MHW als HBN leidt (gegeven de lage trajectnorm).



Figuur 4.5 Markermeer, westelijke oevers: verschil WBI2017 en OI2014v2, MHW (links) en HBN (rechts)

Voor de oostelijke oevers van het Markermeer is duidelijk een ander beeld te zien (zie Figuur 4.6): zowel MHW als HBN worden met het OI2014v2 onderschat. Dit wordt veroorzaakt door de forsere doorwerking van statistische onzekerheid van meerpeilstatistiek en modelonzekerheid waterstand dan initieel gedacht bij vaststelling van de onzekerheidstoelagen. De overige componenten zijn immers ofwel gelijk of leiden tot verlaging (bijvoorbeeld afvlakking van de winddrag).



Figuur 4.6 Markermeer, oostelijke oevers: verschil WBI2017 en OI2014v2, MHW (links) en HBN (rechts)

### 4.3 IJsselmeer: uit-geïntegreerd verschil in MHW en HBN

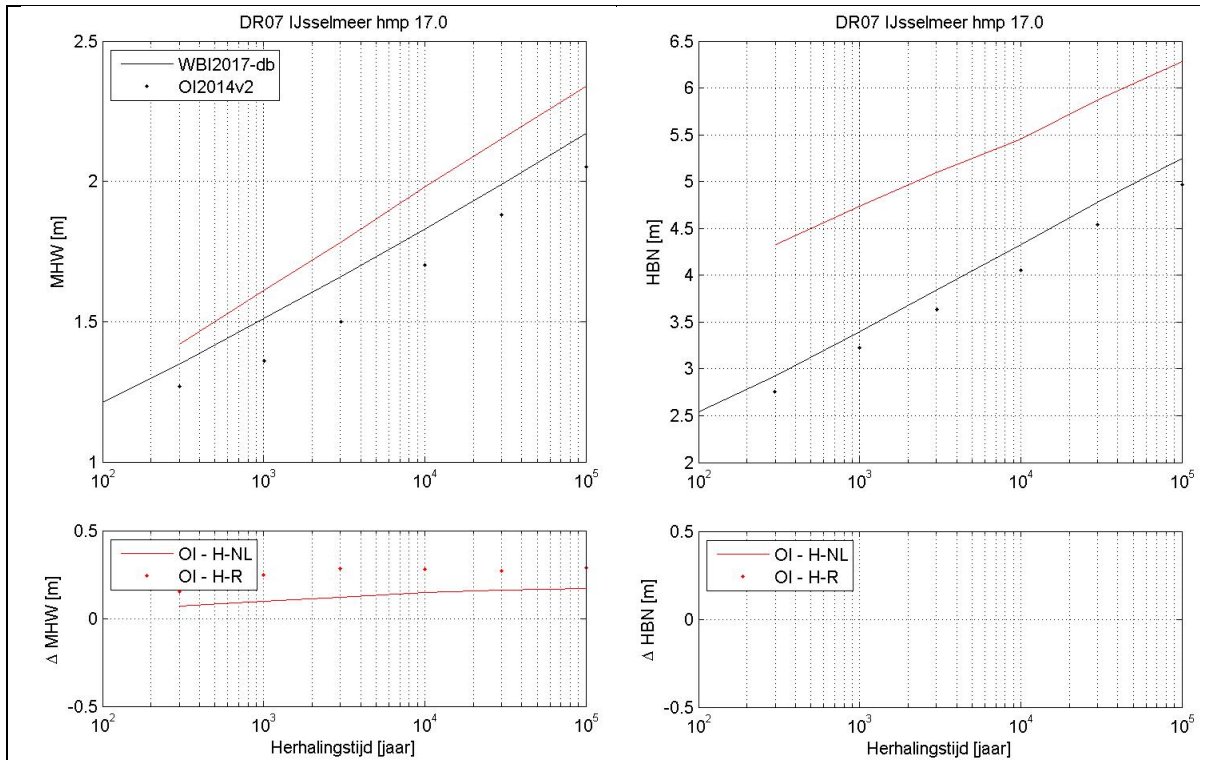
Net als voor het Markermeer is voor het IJsselmeer ook gekeken naar het uit-geïntegreerde verschil tussen WBI2017 en OI2014v2. Ook voor IJsselmeer is in het rekenrecept van OI2014v2 rekening gehouden met een toeslag van 0.4 meter op de waterstand en 10% op de golfcondities.

Net als voor het Markermeer geldt in het IJsselmeer dat er sprake is van een tweedeling op hoofdlijnen. We kunnen op hoofdlijnen onderscheidt maken tussen de zuidwestelijke oever (onder andere houtribdijk) en de overige locaties (meer oostelijk en noordelijk in het IJsselmeer).

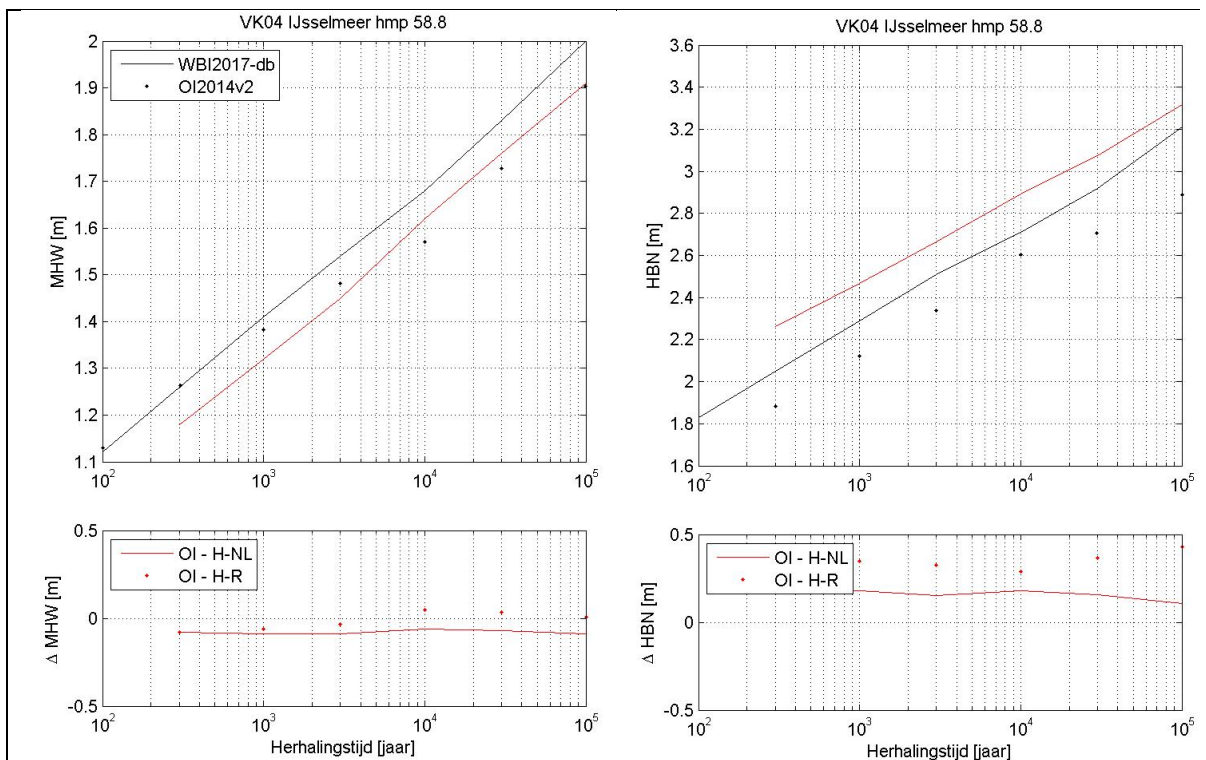
Voor de overige locaties geldt dat sprake is van een lichte overschatting van het MHW: een toeslag van 0.4 meter blijkt hier wat ruim te zijn geweest. Voor dezelfde locaties geldt dat het OI2014v2 voor HBN een sterke overschatting geeft, ruim meer dan 0.5 meter. Dit laatste is een combinatie van enerzijds een overschatting van de doorwerking van de onzekerheid in de waterstand, maar belangrijker een overschatting van de doorwerking van de onzekerheid in de golfcondities (10% onzekerheidstoeslag op de golfcondities is blijkbaar te veel). Een typisch voorbeeld van het verschil tussen WBI2017 en OI2014v2 voor overige locaties is gepresenteerd in Figuur 4.7.

Voor de zuidwestelijke locaties geldt dat het rekenrecept volgens OI2014v2 op 0.05 meter nauwkeurig de WBI2017 MHW benadert (lichte onderschatting). Verder is er sprake van een overschatting van het HBN met slechts orde 0.2 meter. Het feit dat het HBN volgens OI2014v2 dichterbij de resultaten van WBI2017 ligt wordt veroorzaakt door de beperkte

bijdrage van golven aan het HBN op locaties langs de zuidwestelijke oevers en dus de beperkte doorwerking van de onzekerheidstoelag.



Figuur 4.7 IJsselmeer, overige oevers: verschil WB2017 en OI2014v2, MHW (links) en HBN (rechts)



Figuur 4.8 IJsselmeer, zuid westelijke oevers: verschil WB2017 en OI2014v2, MHW (links) en HBN (rechts)

#### 4.4 Uit-geïntegreerd verschil in randvoorwaarden voor bekledingen (Q-variant)

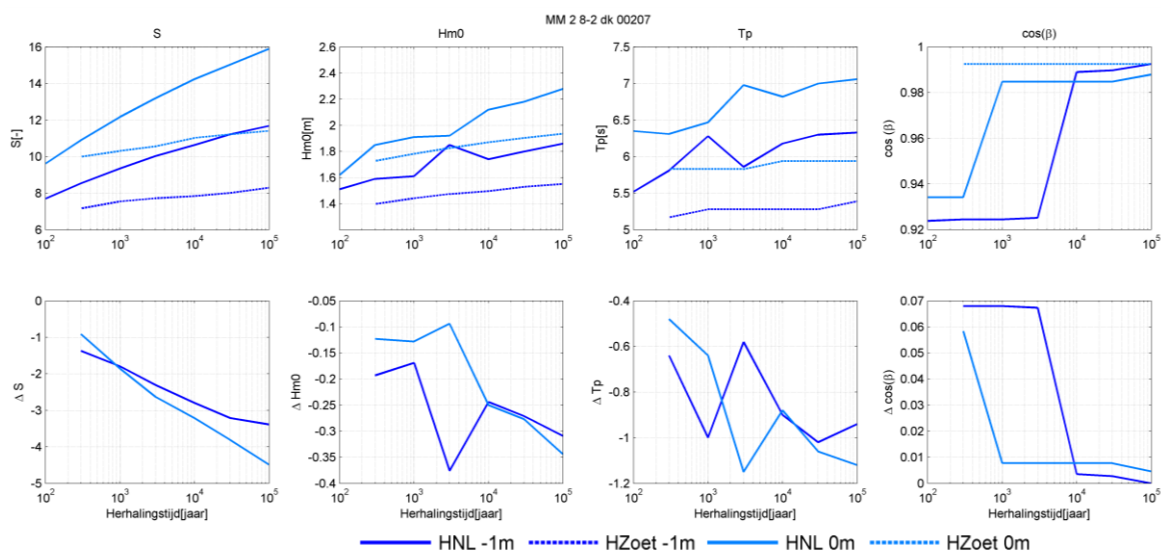
Voor zowel Markermeer als IJsselmeer is gekeken naar de verschillen tussen WBI2017 en OI2014 voor de hydraulische randvoorwaarden voor bekledingen (Q-variant). Hierbij is voor WBI2017 Hydra-NL, met in begrip van onzekerheden, als uitgangspunt gehanteerd. Voor deze analyse zijn niveaus beschouwd van NAP-1.0 meter tot NAP+4.0 meter met stappen van 1.0 meter. Als bekledingstype wordt betonblokken gehanteerd ( $S\text{-waarde} = H_s^a \cdot T_p^b \cdot \cos(\beta)^c$ , met  $a=b=c=1$ ). Opgemerkt wordt dat er locaties zijn waarvoor de waterstand de hoogste niveaus niet bereikt: voor deze situaties ontbreken logischerwijs de gegevens op deze niveaus.

Voor het Markermeer geldt dat de grootste verandering in WBI2017 (ten opzichte van CR2011) de toevoeging van statistische en modelonzekerheden is en in mindere mate de aangepaste wind drag coefficient. Van deze wijziging is voor de Q-variant de toevoeging van modelonzekerheden golfcondities het belangrijkste. In OI2014 wordt over het algemeen een toeslag van 10% op zowel golfhoogte als golfperiode voorgeschreven (effectief orde 21% op S-waarde voor betonblokken), waarvan het de vraag is of dit voldoende is.

Voor het Markermeer blijkt dat de in OI2014 voorgeschreven onzekerheidstoeslag van 10% over het algemeen onvoldoende is. Dit is het gevolg van het feit dat de in WBI2017 gehanteerde modelonzekerheden voor golfhoogte en golfperiode een bias hebben van respectievelijk -2% en +16% en een standaarddeviatie van respectievelijk 20% en 11%. Effectief betekent dit dat de OI2014 gehanteerde onzekerheidstoeslag onvoldoende is. Gemiddeld genomen is de golfhoogte volgens OI2014 orde 0.2 meter te laag en de golfperiode orde 1.0 seconde te laag (bij toepassing van de Q-variant), resulterend in een onderschatting van de S-waarde van betonblokken tot 40-50%.

Een voorbeeld van deze onderschatting van de golfcondities is weergegeven in Figuur 4.9. In deze afbeelding wordt op de bovenste rij achtereenvolgens de berekende S-waarde,  $H_s$ ,  $T_p$  en  $\cos(\beta)$  getoond. De doorgetrokken lijnen betreffen WBI2017 (Hydra-NL), de gestreepte lijnen betreffen OI2014 (Hydra-Zoet). De verschillende kleuren geven de beschouwde niveaus weer. De onderste rij met plots geven het verschil in  $S$ ,  $H_s$ ,  $T_p$  en  $\cos(\beta)$  weer voor elk van de niveaus (OI2014 minus WBI2017). Duidelijk te zien is de met herhalingstijd toenemende onderschatting van de variabele  $S$ . De plots laten zien dat deze toenemende onderschatting het gevolg is van een toenemende onderschatting van zowel golfhoogte als golfperiode.

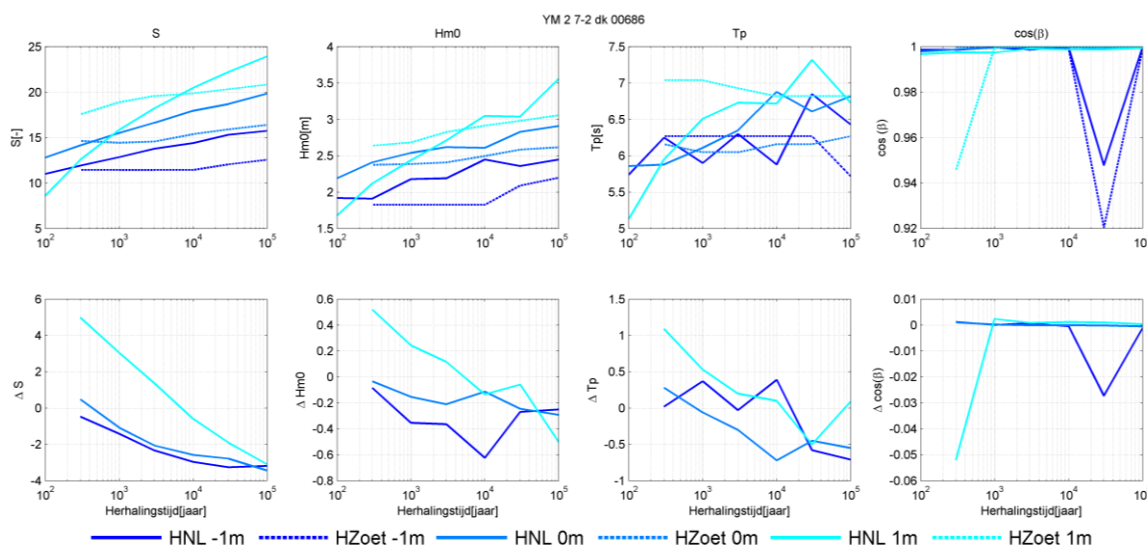




Figuur 4.9 Markermeer, Oostvaardersdijk, verschil WBI2017-OI2014

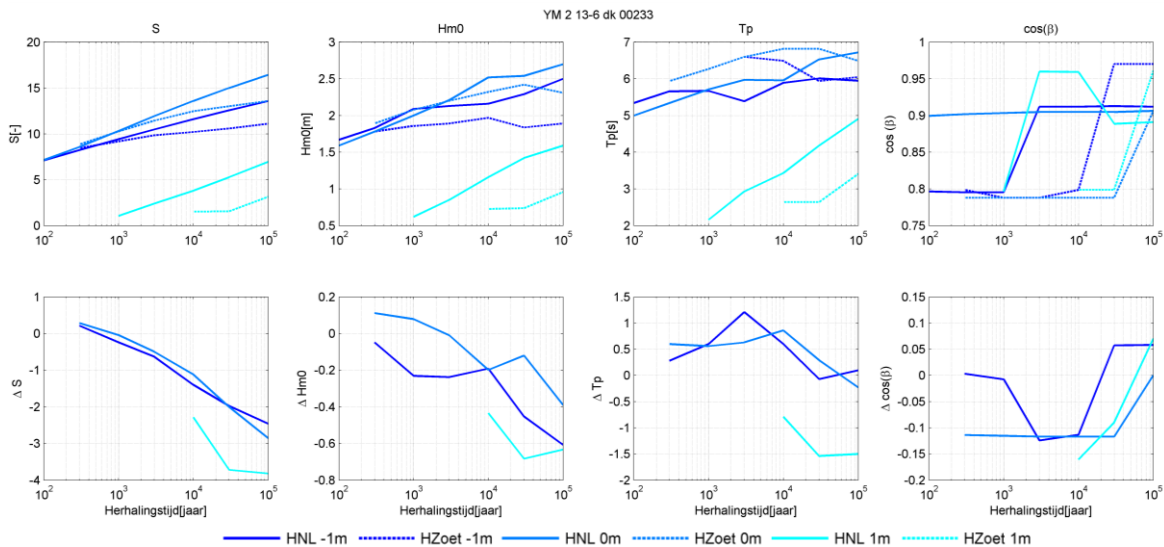
Voor het IJsselmeer geldt dat er in WBI2017 kleinere modelonzekerheden zijn gehanteerd dan voor Markermeer (dit is het gevolg van het toepassen van een meer geavanceerd model voor de bepaling van de golfcondities: SWAN in plaats van HISWA). Dit betekent dat de in OI2014 gehanteerde onzekerheidstoelagen voor het IJsselmeer beter bij WBI2017 moeten passen. De resultaten van de berekeningen met WBI2017 en OI2014 laten zien dat dit inderdaad het geval is.

Voor locaties langs het IJsselmeer waarvoor geldt dat wind dominant is (bijvoorbeeld oostelijke oevers IJsselmeer), geldt dat er sprake is van een lichte overschatting (S-waarde met orde 10-20% overschat) door OI2014 bij lagere herhalingstijden. Vanaf een herhalingstijd van orde 10.000 jaar is in een aantal gevallen sprake van een lichte onderschatting (S-waarde met orde 10-20% onderschat) door OI2014. Figuur 4.10 toont een voorbeeld van een wind gedomineerde locatie.



Figuur 4.10 IJsselmeer, Rotterdamse Hoek, verschil WBI2017-OI2014

Voor locaties waarvoor geldt dat sprake is van een meerpeildominantie (bijvoorbeeld westelijke oevers van het IJsselmeer) geldt dat er sprake is van een structurele onderschatting van de S-waarde, Voor lage herhalingstijden (orde 1000 jaar en lager) geldt een marginale overschatting terwijl voor grotere herhalingstijden sprake is van een onderschatting van de S-waarde met orde 10-20%. Figuur 4.11 toont een voorbeeld van een meerpeil gedomineerde locatie.



Figuur 4.11 IJsselmeer, Den Oever, verschil WBI2017-OI2014

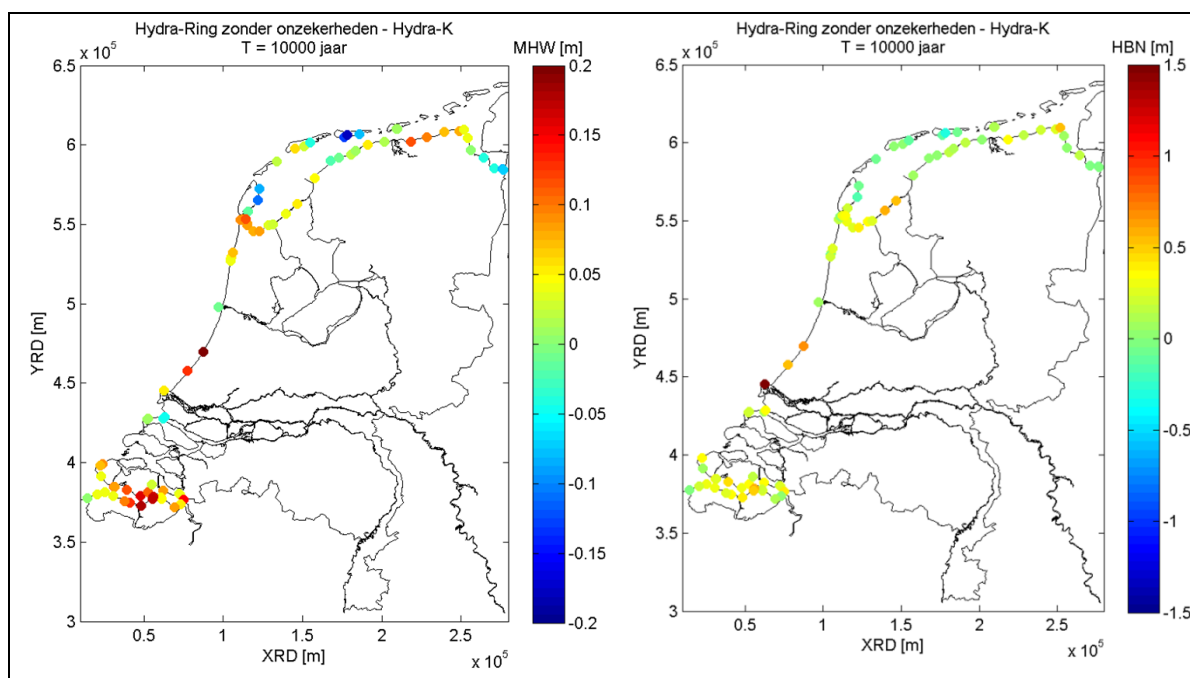
## 5 Kust

### 5.1 Verschillen in componenten probabilistische som

#### 5.1.1 Probabilistisch model

Onder de kust worden de watersystemen Waddenzee, gesloten Kust, Westerschelde en Oosterschelde verstaan. Het belastingmodel voor de kust zoals gehanteerd in WBI2017 verschilt van het belastingmodel gehanteerd in OI2014. Het OI2014 gaat uit van het belastingmodel uit Hydra-K, terwijl het WBI2017 uit gaat van het belastingmodel volgens Hydra-NL. Het verschil tussen beide belastingmodellen is (i) ander correlatiemodel tussen wind en waterstand en (ii) afhandeling van irreguliere faalgebieden. Gegeven de achtergrond van de verschillen mag verwacht worden dat er geen significante verschillen zullen optreden in het MHW als gevolg van de wijzigingen in het belastingmodel. Het HBN zal echter wel verschillen geven als gevolg van de verschillen in de belastingmodellen.

In het kader van een verschilanalyse uitgevoerd door WBI2017 is duidelijk geworden dat het effect van de combinatie van deze twee componenten significant kan zijn. Het is op dit moment niet mogelijk de componenten individueel te duiden, maar duidelijk is dat het correlatiemodel de grootste bijdrage levert aan het verschil in berekende HBN. Figuur 6.1 (overgenomen uit verschilanalyse WBI2017) toont links de verschillen (Hydra-Ring versus Hydra-K, dus WBI2017 versus OI2014) in MHW en rechts verschillen in HBN voor een herhalingstijd van 10.000 jaar.



Figuur 5.1 Effect verschillen in belastingmodel en statistiek, WBI2017 versus OI2014 (Hydra-Ring versus Hydra-K)

Verder geldt voor de Oosterschelde dat gebruik wordt gemaakt van gewijzigde sluitscenario's en bijbehorende kansen. Dit is gekoppeld aan de overgang naar een nieuwe (meer uitgewerkte) database fysica voor de Oosterschelde.

### 5.1.2 Statistiek

Voor de kust geldt dat er twee basisstochasten zijn: zeewaterstand en windsnelheid. Voor beide stochasten geldt dat dezelfde basisstatistiek wordt gehanteerd binnen WBI2017 en OI2014.

### 5.1.3 Database fysica

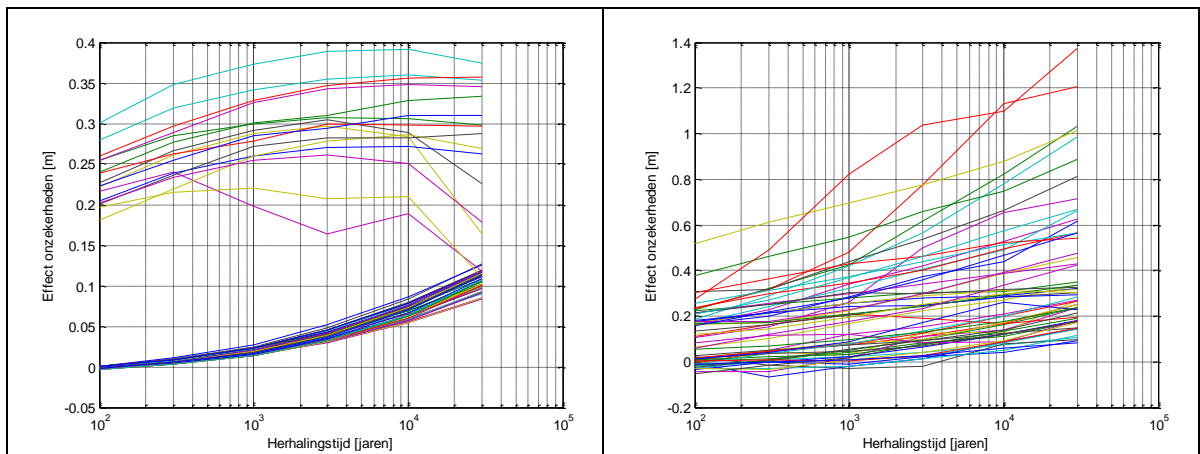
De voor de Kust te hanteren databases in het OI2014 bevatten dezelfde informatie als die voor WBI2017. Uitzondering hierop is de database fysica voor de Oosterschelde: hier is overgestapt op een database fysica waarin meer faalmodi van de Oosterscheldekering zijn opgenomen (partieel falen).

### 5.1.4 Kennisonzekerheden

In WBI2017 worden statistische en modelonzekerheden expliciet meegenomen in het probabilistische model. Het meenemen van deze onzekerheden heeft een verhogend effect op de Hydraulische Belastingen. In het OI2014 wordt het toepassen van een onzekerheidstoeslag (op waterstand en golfcondities) voorgeschreven om hierop te anticiperen. De grootte van de onzekerheidstoeslag voor de Kust in OI2014 is in eerste instantie op basis van enkele verkennende berekeningen bepaald: 0.4 meter op de waterstand en 10% op golfhoogte en golfperiode. In tweede instantie is de toeslag op de waterstand voor zoute wateren verlaagd van 0.4 meter naar 0.2 meter.

Inmiddels is het mogelijk om gedetailleerde berekeningen uit te voeren naar het effect van het meenemen van onzekerheden. Op basis van de resultaten beschikbaar op testlocaties gehanteerd binnen WBI2017 is het effect van onzekerheden in beeld gebracht. Voor de meeste locaties volgt hieruit dat de invloed van de onzekerheden op de waterstand bij de norm lager uitvalt dan de in OI2014 voorgeschreven onzekerheidstoeslag van 0.2 meter. Figuur 5.2 (links) laat de daadwerkelijke invloed van de onzekerheden op het MHW zien. Te zien is dat sprake is van twee clusters van locaties: (i) locaties waarbij het effect van onzekerheden kleiner is dan 0.1 meter en (ii) locaties waarbij het effect van onzekerheden varieert tussen de 0.2 en 0.4 meter. Het tweede cluster van locaties betreft locaties in de Oosterschelde, waar doorwerking van onzekerheden groter is vanwege de invloed van deze onzekerheden op het al dan niet sluiten van de Oosterscheldekering. Voor de overige locaties (Westerschelde en Waddenzee) geldt dat alleen de statistische onzekerheid van de waterstand doorwerkt, welke beperkt is.

Voor het HBN geldt dat de doorwerking van onzekerheden in beperkte mate tot een clustering leidt, zie Figuur 5.2 (rechts). Dit is het gevolg van het feit dat voor de locaties in Westerschelde en Waddenzee de doorwerking van de onzekerheid in de golfcondities af hangt van de golfcondities zonder onzekerheden (als gevolg van het feit dat de onzekerheden in de golfcondities multiplicatief worden meegenomen). Het is dan ook niet op voorhand mogelijk om vast te stellen of de combinatie van onzekerheidstoelagen zoals voorgesteld in OI2014 tot een over- of onderschatting van het HBN zal leiden. Hiervoor dient naar het gecombineerde en uit-geïntegreerde verschil tussen WBI2017 en OI2014 gekeken te worden.



Figuur 5.2 Kust: effect onzekerheden op MHW (links) en HBN (rechts). Hydra-NL met onzekerheden minus Hydra-NL zonder onzekerheden, voor alle testlocaties in het Waddenzee, Westerschelde en Oosterschelde.

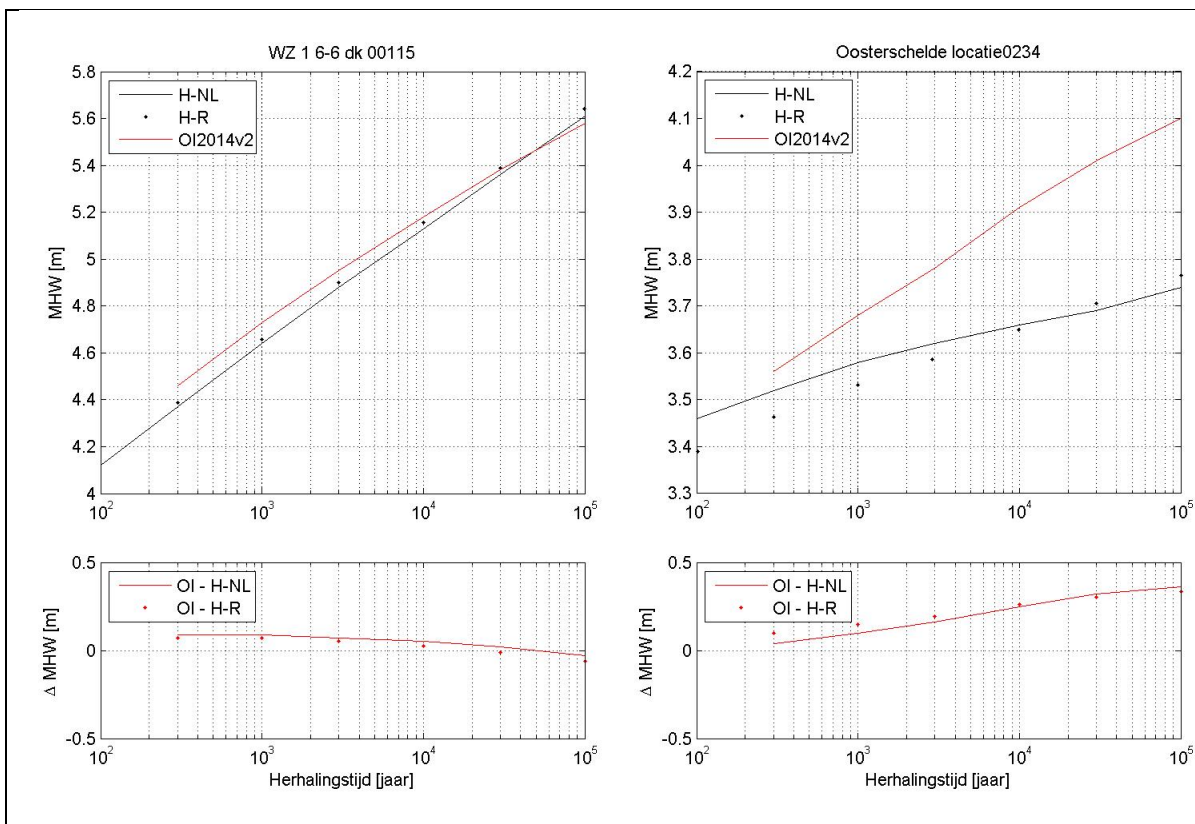
## 5.2 Uit-geïntegreerd verschil in waterstand bij norm (MHW)

In de voorgaande secties zijn de verschillen in de individuele componenten van de Hydraulische Belastingen beschreven en waar mogelijk gekwantificeerd. Een eerste orde benadering van het totale verschil kan worden verkregen door de individuele componenten bij elkaar op te tellen. De verschillen hebben een interactie met elkaar of zijn sterk herhalingstijdafhankelijk, waardoor deze optelsom af kan wijken van het daadwerkelijke verschil.

Voor de locaties geselecteerd als testlocaties in WBI2017 is het resultaat van WBI2017 vergeleken met het rekenrecept van OI2014v3. Dit betekent dat voor de WBI2017 gebruik is gemaakt van de resultaten inclusief onzekerheden (maar wel met een deterministisch overslagdebiet van 10 l/s/m). Voor OI2014 geldt dat gebruik is gemaakt van de resultaten conform rekenrecept, inclusief onzekerheidstoelagen.

Voor locaties in de Westerschelde en de Waddenzee geldt dat het verschil tussen WBI2017 en OI2014 orde 0.1 decimeter bedraagt, waarbij OI2014 conservatiever is. Dit is in lijn met de bevindingen van de “losse componenten” hieruit bleek dat het primaire verschil voor MHW gevormd wordt door de doorwerking van de onzekerheden en dat OI2014 deze doorwerking heeft overschat. Figuur 5.3 (links) toont een typisch verschil tussen WBI2017 en OI2014 voor Westerschelde en Waddenzee).

Uit de analyse van de invloed van de onzekerheden op het MHW bleek al dat de doorwerking van onzekerheden in de Oosterschelde afwijkt van de Westerschelde en de Waddenzee. Dit beeld wordt bevestigd als gekeken wordt naar het verschil na uit-integratie. Figuur 5.3 (rechts) toont een voorbeeld van deze doorwerking: voor deze locatie leidt dit bij hogere herhalingstijden tot een overschatting van de waterstand door OI2014 met orde 0.3 tot 0.4 meter. Dit gedrag is representatief voor de meeste van de onderzochte locaties in de Oosterschelde en waarschijnlijk het gevolg van de Oosterscheldekering op de doorvertaling van condities van “buiten naar binnen” via de verschillende faalmodi van de kering welke nog niet meegenomen zijn in OI2014.



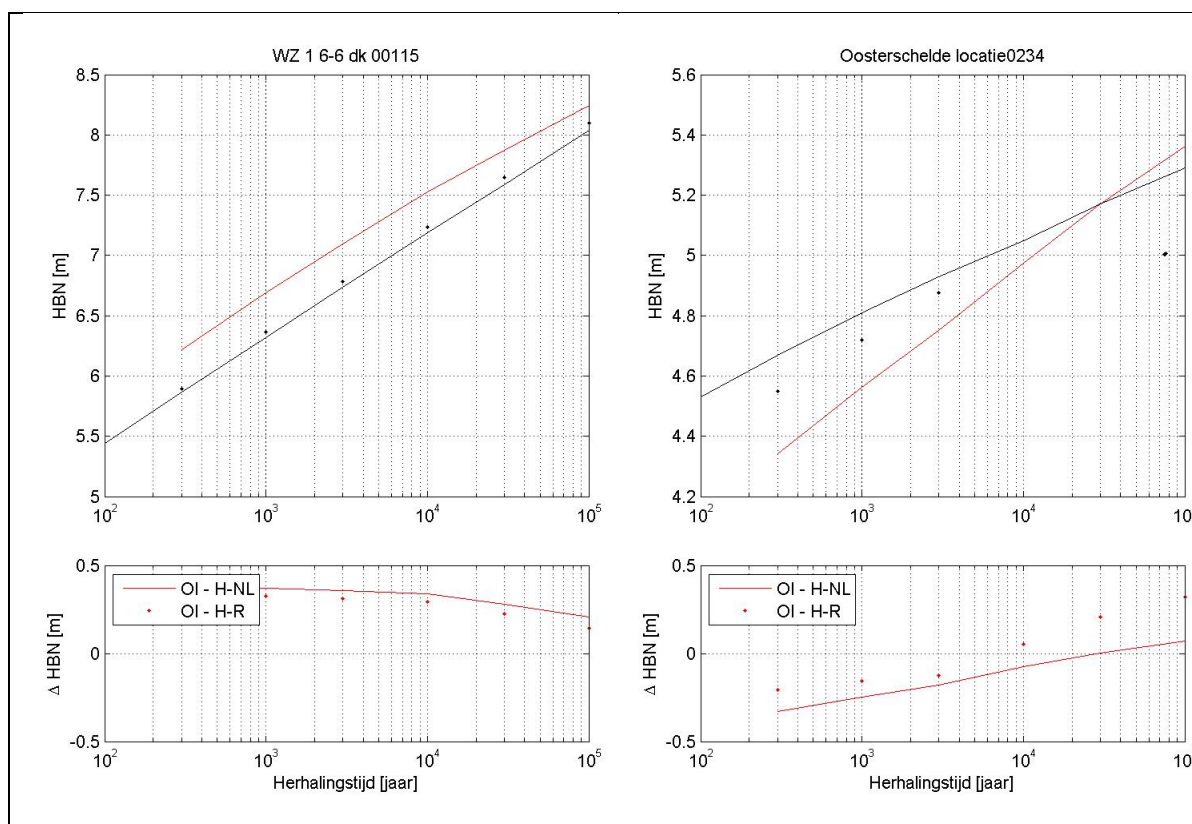
Figuur 5.3 Kust: Verschil tussen MHW WBI2017 en OI2014, Westerschelde (links) en Oosterschelde (rechts)

### 5.3 Uit-geïntegreerd verschil in Hydraulisch Belasting Niveau (HBN)

In de voorgaande sectie is gekeken naar het totale verschil in waterstand bij norm. Voor het Hydraulische Belasting Niveau (HBN) geldt dat het totale verschil anders kan uitpakken omdat hier ook de bijdrage van golven doorwerkt. Als gevolg van de toevoeging van golven geldt enerzijds dat (i) statistische onzekerheid van de wind en (ii) modelonzekerheid golven een rol gaan spelen en anderzijds dat de kansbijdrage van de waterstand kleiner wordt.

Net als voor waterstand bij de norm is voor HBN gekeken naar het verschil tussen OI2014 en WBI2017 (Hydra-NL en Hydra-Ring). Voor de kust leidt dit over het algemeen tot de conclusie dat OI2014 conservatief is ten opzichte van WBI2017. Dit is het gevolg van het feit dat de in het OI2014 gehanteerde toeslagen voor de waterstanden en golfcondities conservatief zijn gekozen. Een typisch voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 5.4 (links).

Op een aantal van de beschouwde locaties is het HBN berekend volgens OI2014 niet conservatief. Dit is het gevolg van de verandering van het belastingmodel. Deze verandering van het belastingmodel heeft te maken met het verband tussen wind en waterstand (en dus golven en waterstand). Op locaties waar dit verband niet eenduidig is, kunnen grote verschillen in het berekende HBN verwacht worden, waarbij OI2014 niet conservatief is. Figuur 5.4 (rechts) toont een typisch voorbeeld hiervan voor de Oosterschelde. Vergelijkbare verschillen zijn ook te zien op locaties in de Westerschelde en Waddenzee. Vanwege de aard van de verschillen in het belastingmodel is niet op voorhand te stellen waar OI2014 niet conservatief is: dit zal van locatie tot locatie verschillen en kan zelfs profielafhankelijk zijn. Een eerste indicatie kan worden gevonden door te kijken naar locaties welke in Figuur 5.1 (rechts) een groot verschil tussen Hydra-Ring en Hydra-K laten zien.

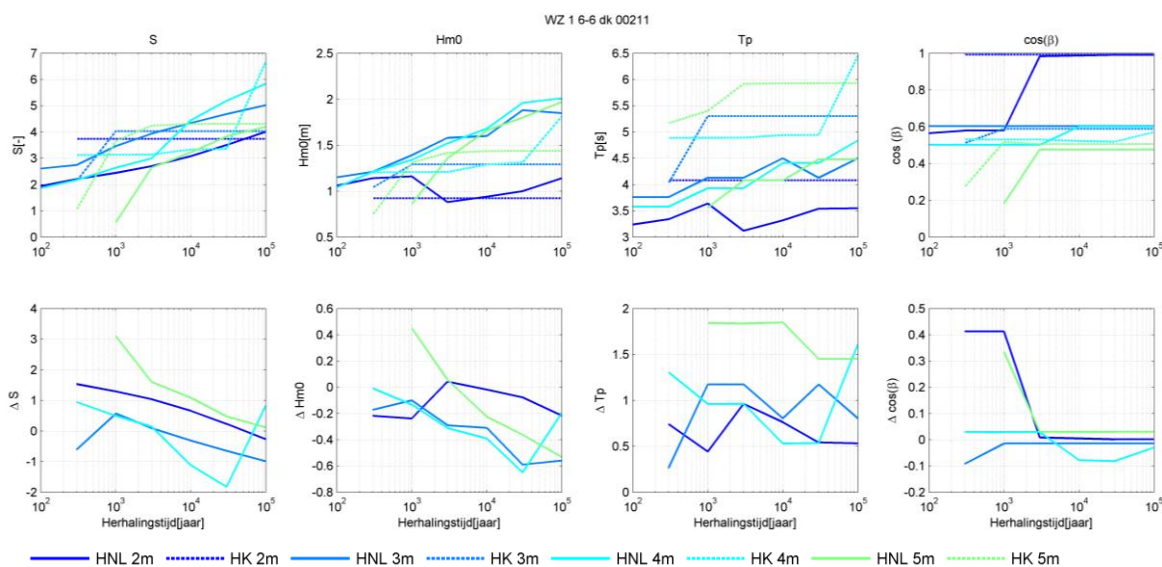


Figuur 5.4 Kust: Verschil tussen HBN WBI2017 en OI2014, Westerschelde (links) en Oosterschelde (rechts)

#### 5.4 Uit-geïntegreerd verschil in randvoorwaarden voor bekledingen (Q-variant)

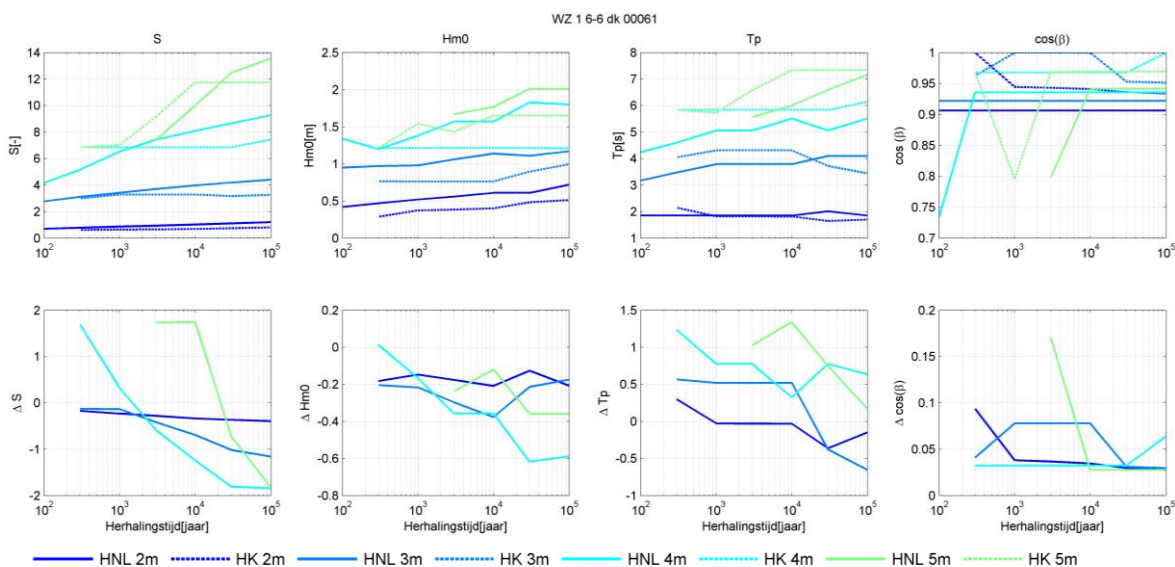
De hydraulische ontwerprandvoorwaarden voor bekledingen langs de kust wijzigen als gevolg van een wijziging van het belastingmodel (correlatiemodel) en toevoeging van (met name) modelonzekerheden golfcondities. In OI2014 is geanticipeerd op deze veranderingen middels een toeslag op de golfcondities van 10% op golfhoogte en golfperiode en dus 21% op de S-waarde (in geval van betonblokken met  $a=b=c=1$ ).

Voor de oostelijke Waddenzee geldt dat het OI2014 over het algemeen tot een overschatting van de S-waarde leidt voor herhalingstijden tot 10.000 jaar. Bij grotere herhalingstijden is sprake van een onderschatting van de S-waarde (orde 10-20%) door OI2014. Figuur 5.5 toont hier een voorbeeld van.



Figuur 5.5 Oostelijke Waddenzee, verschil Q-variant OI2014-WBI2017, locatie nabij Eemshaven

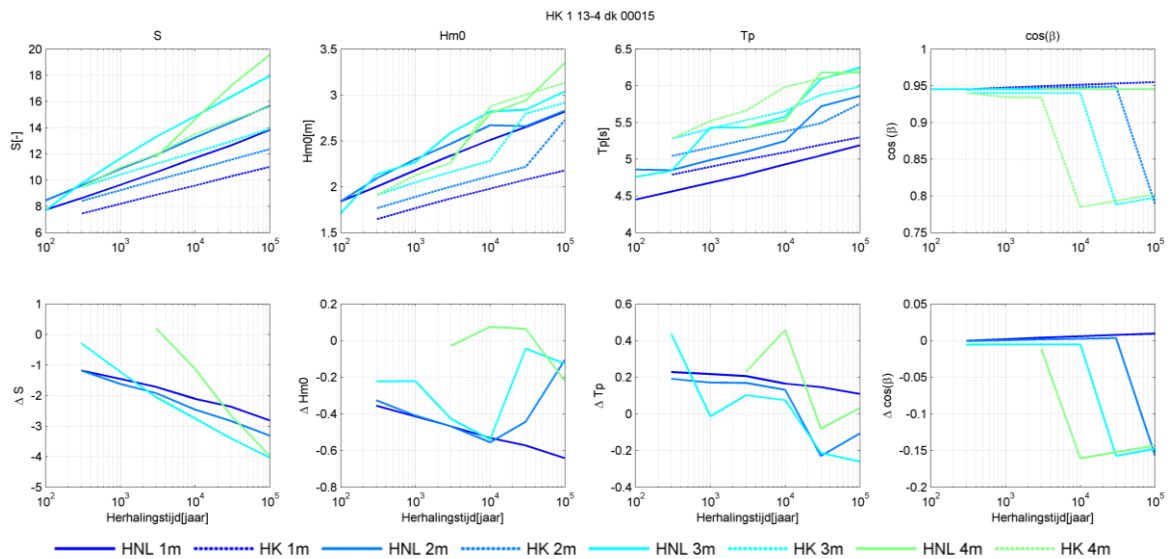
Uitzondering hierop zijn locaties gelegen achter de delta's tussen de Waddenzee eilanden (bv Uithuizerwad): daar is reeds bij lage herhalingstijden sprake van een onderschatting door OI2014 met 10-20%, zie Figuur 5.6. Een mogelijke verklaring voor deze onderschatting wordt gevormd door de zogenoemde "reparaties" in Hydra-NL, waarvan het effect het grootst is op plekken waar doordringing van golfenergie vanuit de Noordzee een rol speelt.



Figuur 5.6 Oostelijke Waddenzee, verschil Q-variant OI2014-WBI2017, locatie nabij Uithuizerwad

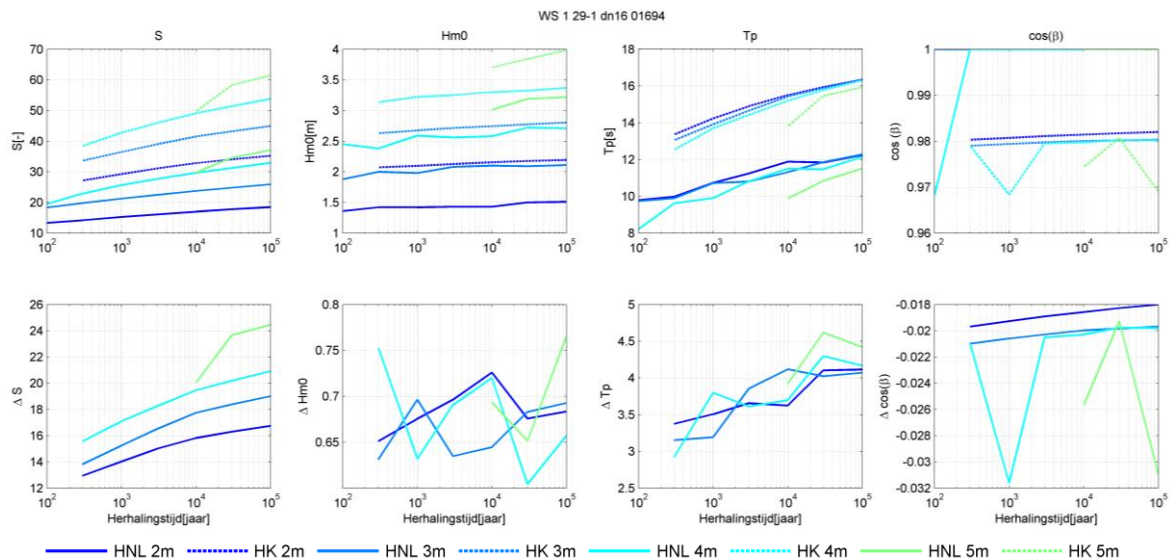
Voor de westelijke Waddenzee geldt dat sprake is van een zeer onregelmatig beeld, wat waarschijnlijk het gevolg is van de interactie tussen de toevoeging van modelonzekerheden en de wijziging van het correlatiemodel. Over het algemeen levert OI2014 grotere (conservatieve) S-waarden op. De grootste onderschatting is in de orde van 20% van de S-waarde, zie bijvoorbeeld Figuur 5.7. Voor dit gebied dient per locatie het verschil tussen OI2014 en WBI2017 nader bepaald te worden (dit valt buiten de scope van dit project).





Figuur 5.7 Westelijke Waddenzee, verschil Q-variant OI2014-WBI2017, locatie nabij Den Helder

Voor de Westerschelde geldt een vergelijkbaar beeld als voor de westelijke Waddenzee: waarschijnlijk leidt ook hier de interactie tussen de wijziging van het belastingmodel en de toevoeging van modelonzekerheden tot deze onregelmatigheid. Voor de beschouwde locaties geldt dat de S-waarde door OI2014 maximaal met orde 10% wordt onderschat. Veelal is echter sprake van een overschatting van de S-waarde, welke in specifieke gevallen kan oplopen tot 50% of meer, zie bijvoorbeeld Figuur 5.8. Voor dit gebied dient per locatie het verschil tussen OI2014 en WBI2017 nader bepaald te worden (dit valt buiten de scope van dit project).



Figuur 5.8 Westerschelde, verschil Q-variant OI2014-WBI2017, locatie nabij Cadzand



## 6 IJsseldelta

### 6.1 Verschillen in componenten probabilistische som

#### 6.1.1 Probabilistisch model

Het belastingmodel voor de IJsseldelta, zoals voorgeschreven voor Apeldoorns kanaal en Mastenbroek, verschilt niet tussen WBI2017 en OI2014, uitgezonderd het verdisconteren van onzekerheden. In WBI2017 worden statistische en modelonzekerheden integraal meegenomen in het probabilistische model, terwijl OI2014 een onzekerheidstoeslag toepast op het eindantwoord. Het effect van dit verschil wordt onderstaand nader toegelicht. Los van dit aspect zijn de belastingmodellen gelijk en leiden niet tot verschillen.

Vanwege het ontbreken van een gevalideerde database fysica voor de IJsseldelta, is in OI2014v2 voor het traject Olst-Zwolle geadviseerd om gebruik te maken van het belastingmodel voor de bovenrivieren. Uiteraard wijkt het probabilistische model van de bovenrivieren af van het probabilistische model voor de IJsseldelta (invloed van meerpeil en wind op waterstand ontbreekt). Zolang de invloed van wind en meerpeil op de waterstand beperkt is, is deze toepassing valide. In de analyse van de uit-geïntegreerde verschillen wordt dan ook niet alleen een vergelijking gemaakt met het probabilistisch model van de IJsseldelta, maar ook met de resultaten van het probabilistische model voor de bovenrivieren.

Gedurende de afronding van deze rapportage is duidelijk geworden dat de WBI2017 resultaten gebruikt in deze analyse (voor normtraject 53-2 gebaseerd op Bovenrivieren) mogelijk aan verandering onderhevig zijn. Conclusies voor normtraject 53-2 zijn dan ook niet te trekken.

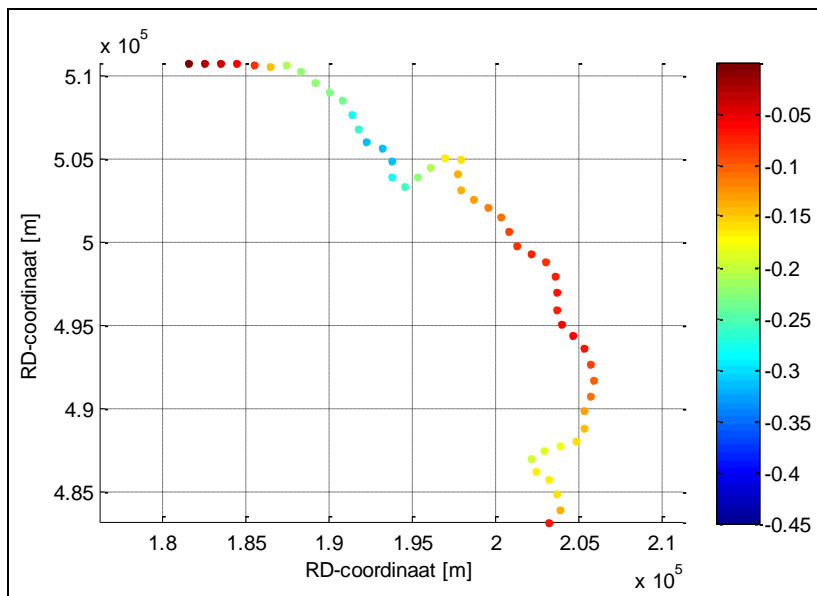
#### 6.1.2 Statistiek

Voor de overgangsgebieden geldt dat er meerdere basisstochasten zijn: afvoer, meerpeil/zeewaterstand, windsnelheid en toestand van de stormvloedkeringen. Voor alle stochasten geldt dat dezelfde basisstatistiek wordt gehanteerd binnen WBI2017 en OI2014. Er is wel een verschil als het gaat over de statistische onzekerheid: deze wordt in WBI2017 integraal meegenomen en wordt in OI2014 als toeslag achteraf verdisconteerd. Het effect hiervan wordt later beschouwd.

#### 6.1.3 Database fysica

De databases fysica voorgeschreven voor de IJsseldelta (in combinatie met probabilistisch model IJsseldelta) zijn afkomstig uit het Deltamodel. Deze databases verschillen van het WBI2017 ten aanzien van het referentiejaar gehanteerd voor de beschrijving van de rivierbak: Deltamodel hanteert referentiejaar 2012 terwijl WBI2017 referentiejaar 2014 hanteert. Qua maatregelen zijn de databases in de basis gelijk: (i) beide anticiperen op de realisatie van Ruimte voor de Rivier en (ii) beide databases houden rekening met Reevediep fase 1b.

Het verschil in berekende waterstand bij een afvoer van 3200 m<sup>3</sup>/s bij Olst, meerpeil van NAP+0.4 meter en geen wind is weergegeven in Figuur 6.1. Hierin is te zien dat er forse verschillen zitten in de database voor de IJssel. Nadere studie heeft uitgewezen dat dit verschil primair veroorzaakt wordt door het verschil in referentiejaar. Bij de monding van de IJssel ligt in het Deltamodel een “drempel” welke in het WBI2017 model nauwelijks meer aanwezig is. Deze “drempel” leidt tot opstuwung van de waterstand in het traject bij Kampen en verder bovenstrooms.

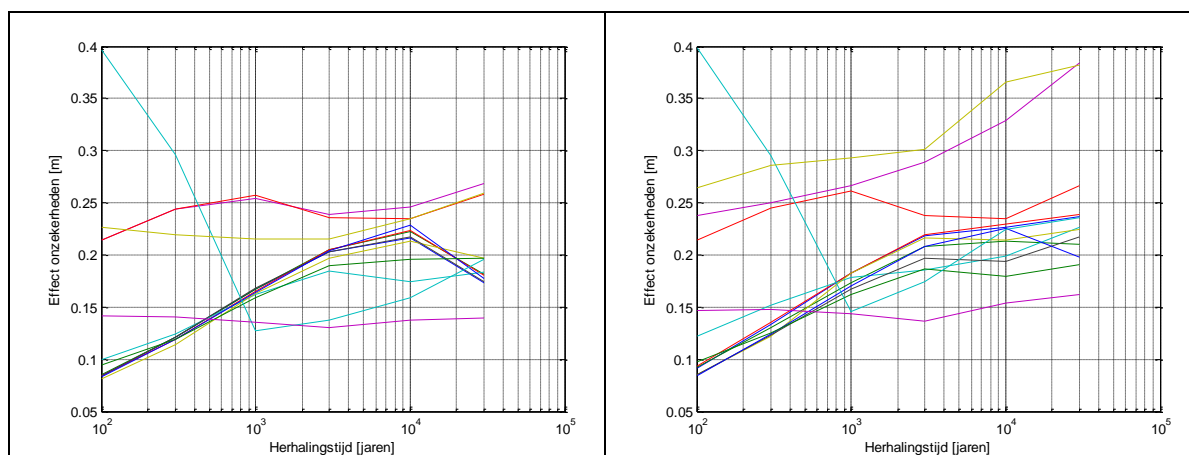


Figuur 6.1 *Verskil in waterstand (WBI2017 minus Deltamodel) voor een afvoer van 3200 m<sup>3</sup>/s bij Olst, meerpeil van NAP+0.4 meter en geen wind*

#### 6.1.4 Kennisonzekerheden

In WBI2017 worden statistische en modelonzekerheden expliciet meegenomen in het probabilistische model. Het meenemen van deze onzekerheden heeft een verhogend effect op de Hydraulische Belastingen. In het OI2014 wordt het toepassen van een onzekerheidstoeslag (op waterstand en golfcondities) voorgeschreven om hierop te anticiperen. De grootte van de onzekerheidstoeslag voor de IJsseldelta in OI2014 is op basis van enkele verkennende berekeningen bepaald: 0.3 meter op de waterstand en geen toeslag op golfhoogte en golfperiode.

Inmiddels is het mogelijk om gedetailleerde berekeningen uit te voeren naar het effect van het meenemen van onzekerheden. Op basis van de resultaten beschikbaar op testlocaties gehanteerd binnen WBI2017 is het effect van onzekerheden in beeld gebracht. Voor de IJsseldelta volgt hieruit dat de invloed van de onzekerheden op de waterstand bij de norm iets lager uitvalt dan de in OI2014 voorgeschreven onzekerheidstoeslag. De in OI2014 voorgeschreven onzekerheidstoeslag op de waterstand (MHW) is 0.30 meter, terwijl het daadwerkelijke effect van onzekerheden waterstand voor sommige locaties veelal minder is, maar voor enkele locaties (gelegen in het invloedgebied van het IJsselmeer, juist ten noorden van Kampen) juist veel meer, zoals te zien is in Figuur 6.2 (links). Voor HBN geldt feitelijk hetzelfde: de in OI2014 voorgeschreven toeslag van 0.3 meter is een overschatting van het daadwerkelijke effect van het meenemen van onzekerheden.



Figuur 6.2 IJsseldelta: effect onzekerheden op MHW (links) en HBN (rechts). Hydra-NL met onzekerheden minus Hydra-NL zonder onzekerheden, voor alle testlocaties in de IJsseldelta.

## 6.2 Uit-geïntegreerd verschil in waterstand bij norm (MHW)

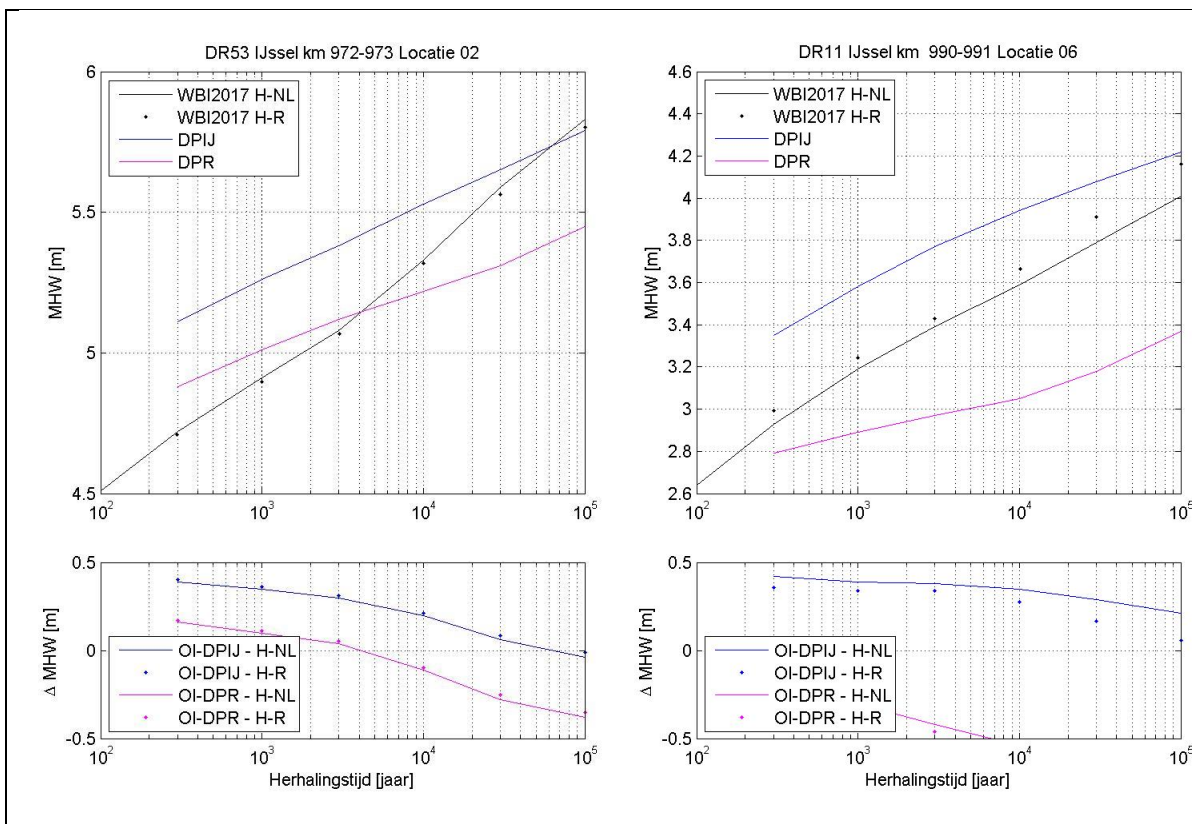
In de voorgaande secties zijn de verschillen in de individuele componenten van de Hydraulische Belastingen beschreven en waar mogelijk gekwantificeerd. Een eerste orde benadering van het totale verschil kan worden verkregen door de individuele componenten bij elkaar op te tellen. De verschillen hebben echter een interactie met elkaar of zijn sterk herhalingstijdafhankelijk, waardoor deze optelsom af kan wijken van het daadwerkelijke verschil.

Voor de locaties geselecteerd als testlocaties in WBI2017 is het resultaat van WBI2017 vergeleken met het rekenrecept van OI2014v3. Dit betekent dat voor de WBI2017 gebruik is gemaakt van de resultaten inclusief onzekerheden (maar wel met een deterministisch overslagdebiet van 10 l/s/m). Voor OI2014 geldt dat gebruik is gemaakt van de resultaten conform rekenrecept, inclusief onzekerheidstoelagen en een kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m.

Voor de IJsseldelta geldt dat er onderscheidt gemaakt moet worden tussen twee gebieden: het deel bovenstrooms van Zwolle en het deel benedenstrooms van Zwolle. Voor het bovenstroomse deel (rechteroever, traject Olst-Zwolle) is in OI2014 geadviseerd om het probabilistisch model bovenrivieren te hanteren. Voor het benedenstroomse deel (en linkeroever van het bovenstroomse deel, traject Apeldoorns Kanaal) is in OI2014 geadviseerd om het probabilistisch model IJsseldelta te gebruiken.

Figuur 6.3 (links) laat zien dat het gebruik van het recept van OI2014 voor het traject Olst-Zwolle (probabilistisch model bovenrivieren, met maximaal toelaatbare kans van eens per 3000 jaar) tot een beperkte onderschatting van het MHW leidt. Deze onderschatting groeit tot orde 2 dm bij Zwolle en is het gevolg van het niet meenemen van de invloed van meerpeil en opzet vanuit het IJsselmeer.

Voor de overige trajecten is het probabilistisch model IJsseldelta voorgeschreven, welke leidt tot een overschatting van het MHW met orde 0.3 meter, zie Figuur 6.3 (rechts). Deze overschatting wordt primair veroorzaakt door het verschil in beschrijving van de "rivierbak"/ database fysica en de doorwerking van onzekerheden van meerpeilstatistiek.



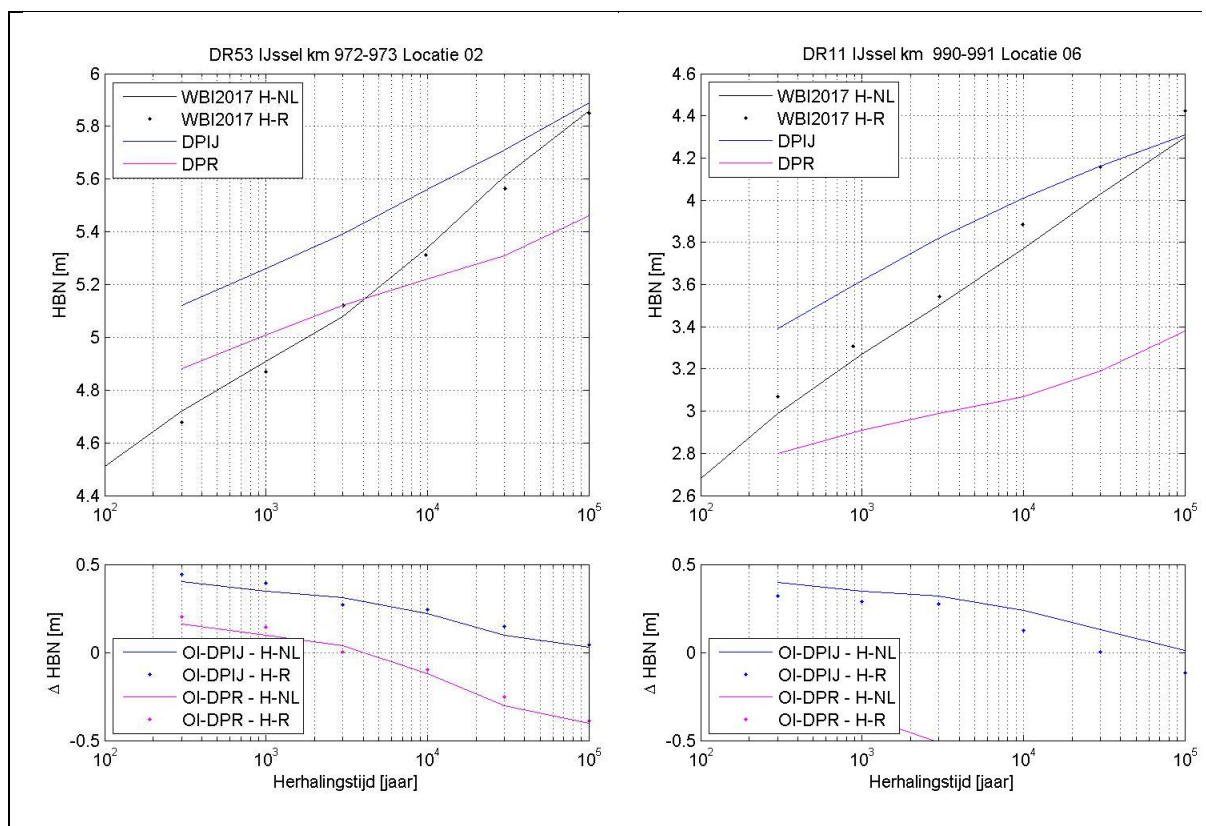
Figuur 6.3 IJsseldelta: Verschil tussen MHW volgens WBI2017 en OI2014, Olst-Zwolle (links) en Mastenbroek (rechts)

### 6.3 Uit-geïntegreerd verschil in Hydraulisch Belasting Niveau (HBN)

In de voorgaande sectie is gekeken naar het totale verschil in waterstand bij norm. Voor het Hydraulische Belasting Niveau (HBN) geldt dat het totale verschil anders kan uitpakken omdat hier ook de bijdrage van golven doorwerkt. Als gevolg van de toevoeging van golven geldt enerzijds dat bij gelijkblijvende herhalingstijd (i) statistische onzekerheid van de wind en (ii) modelonzekerheid golven een rol gaan spelen en anderzijds dat de kansbijdrage van de waterstand (en dus afvoer) kleiner wordt.

Net als voor waterstand bij de norm is voor HBN gekeken naar het verschil tussen OI2014 en WBI2017 (Hydra-NL en Hydra-Ring). Voor de IJsseldelta geldt dat de bevindingen voor HBN sterke overeenkomst vertonen met de bevindingen voor MHW: Voor het traject Olst-Zwolle geldt dat in het midden van het traject sprake is van een onderschatting van orde 0.15 meter (bij 1/10.000 jaar), zie Figuur 6.4 (links). Nadere analyse laat zien dat in stroom opwaartse richting dit verschil afneemt om bij Olst zelfs tot een lichte overschatting uit te komen. In benedenstroomse richting is sprake van een toename van de onderschatting van het HBN door OI2014, met een onderschatting van orde 0.3 meter bij Zwolle.

Voor de trajecten waarvoor het probabilistisch model IJsseldelta is voorgeschreven geldt dat sprake is van een overschatting van het HBN met orde 0.3 meter (bij 1/10.000 jaar), zie Figuur 6.4 (rechts). Dit is vergelijkbaar met de overschatting van het MHW en is naar alle waarschijnlijkheid te wijten aan een verschil in de beschrijving van de “rivierbak”.



Figuur 6.4 IJsseldelta: Verschil tussen HBN volgens WBI2017 en OI2014, Olst-Zwolle (links) en Mastenbroek (rechts)





## 7 Vechtdelta

### 7.1 Verschillen in componenten probabilistische som

#### 7.1.1 Probabilistisch model

Het belastingmodel voor de Vechtdelta verschilt niet tussen WBI2017 en OI2014, uitgezonderd het verdisconteren van onzekerheden. In WBI2017 worden statistische en modelonzekerheden integraal meegenomen in het probabilistische model, terwijl OI2014 een onzekerheidstoeslag toepast op het eindantwoord. Het effect van dit verschil wordt onderstaand nader toegelicht. Los van dit aspect zijn de belastingmodellen gelijk en leiden niet tot verschillen.

#### 7.1.2 Statistiek

Wat betreft statistiek verschillen OI2014 en WBI2017 wel van elkaar. In OI2014v2 is de HR2006 afvoerstatistiek voor de Vecht voorgesteld in combinatie met een aftopniveau van 550 m<sup>3</sup>/s, terwijl in WBI2017 nieuwe statistiek voor de afvoer van de Vecht is gehanteerd. De WBI2017 afvoerstatistiek houdt rekening met onder meer overstromingen in Duitsland en kent geen hard aftopniveau.

De bovengenoemde verschillen hebben effect vanaf een afvoer van orde 500 m<sup>3</sup>/s, behorende bij een herhalingstijd van orde eens per 1000 jaar. Vanaf een herhalingstijd van orde 5000 jaar (met een bijbehorende afvoer van orde 550 m<sup>3</sup>/s) vlakt de werklijn af, maar neemt nog wel toe: hier worden de verschillen tussen WBI2017 en OI2014 fors groter omdat in OI2014 wordt afgetopt op 550 m<sup>3</sup>/s (voor zichtjaar 2015). De verschillen kunnen, afhankelijk van de beschouwde herhalingstijd, enkele decimeters bedragen.

Inmiddels is er naast OI2014v2 (HR2006 statistiek met aftoppen) ook gebruik gemaakt van OI2014v2, maar dan met de WBI2017 afvoerstatistiek. Hoewel dit geen formeel OI2014 rekenrecept betreft, wordt de toepassing van de WBI2017 statistiek ook binnen deze verschilanalyse beschouwd.

#### 7.1.3 Database fysica

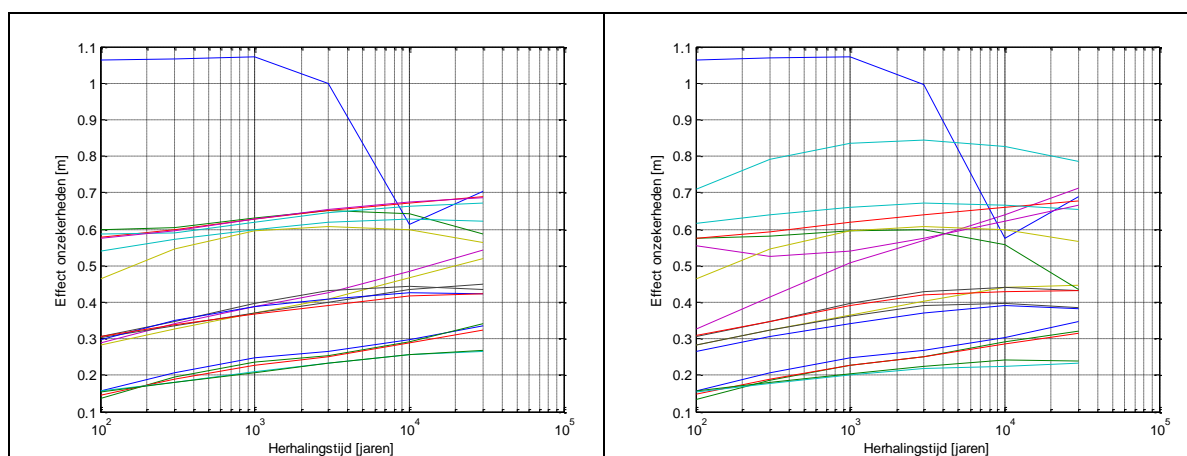
De database fysica gehanteerd in WBI2017 is gelijk aan OI2014 uitgezonderd een Ruimte voor de Vecht maatregel: deze is wel in WBI2017 opgenomen, maar zit niet in het OI2014 recept. De invloed van deze maatregel is lokaal en waterstandsverlagend (orde 0.1-0.2 meter).

#### 7.1.4 Kennisonzekerheden

In WBI2017 worden statistische en modelonzekerheden expliciet meegenomen in het probabilistische model. Het meenemen van deze onzekerheden heeft een verhogend effect op de Hydraulische Belastingen. In het OI2014 wordt het toepassen van een onzekerheidstoeslag (op waterstand en golfcondities) voorgeschreven om hierop te anticiperen. De grootte van de onzekerheidstoeslag voor de Vechtdelta in OI2014 is op basis van enkele verkennende berekeningen bepaald: 0.3 meter op de waterstand en geen toeslag op golfhoogte en golfperiode.

Inmiddels is het mogelijk om gedetailleerde berekeningen uit te voeren naar het effect van het meenemen van onzekerheden. Op basis van de resultaten beschikbaar op testlocaties gehanteerd binnen WBI2017 is het effect van onzekerheden in beeld gebracht. Voor de IJsseldelta volgt hieruit dat de invloed van de onzekerheden op de waterstand bij de norm iets lager uitvalt dan de in OI2014 voorgeschreven onzekerheidstoeslag. De in OI2014 voorgeschreven onzekerheidstoeslag op de waterstand (MHW) is 0.30 meter, terwijl het daadwerkelijke effect van onzekerheden waterstand voor sommige locaties veel lager uitpakt dan 0.3 meer, zijn er ook locaties waarvoor geldt dat het effect orde 0.1 meter groter is en ten slotte ook locaties waarvoor het effect zelfs orde 0.6 meter bedraagt (zie Figuur 7.1, links). Te zien is dat er sprake is van een clustering van lijnen, dat betekent dat er een geografische verdeling is van de effecten van onzekerheden. Het effect van onzekerheden is het kleinst op locaties tussen Zwolle en de Vecht. De groep locaties behorende bij het middelste cluster ligt langs het Zwarte Water en de Vecht. De groep locaties met de grootste effecten ligt aan het Zwarte Meer. De oorzaak voor de clustering (en dus grote verschillen) moet gezocht worden in de doorwerking van statistische onzekerheid meerpeil, afvoer en wind binnen deze clusters van locaties.

Voor HBN geldt een vergelijkbaar beeld als voor het MHW, zie Figuur 7.1 (rechts). Voornaamste verschil is dat voor locaties aan het Zwarte Meer sprake is van sterker variatie, wat het gevolg is van de doorwerking van de onzekerheid in de golfcondities. Het is duidelijk dat voor deze locaties een toeslag van 0.3 meter op de waterstand ruimschoots onvoldoende is om het effect van onzekerheden te verdisconteren. Voor de overige locaties (langs Zwarte Water, Vecht en tussen de Vecht en Zwolle) geldt dat een toeslag van 0.3 meer een redelijke inschatting lijkt te zijn van het effect van onzekerheden zoals vastgesteld binnen WBI2017.



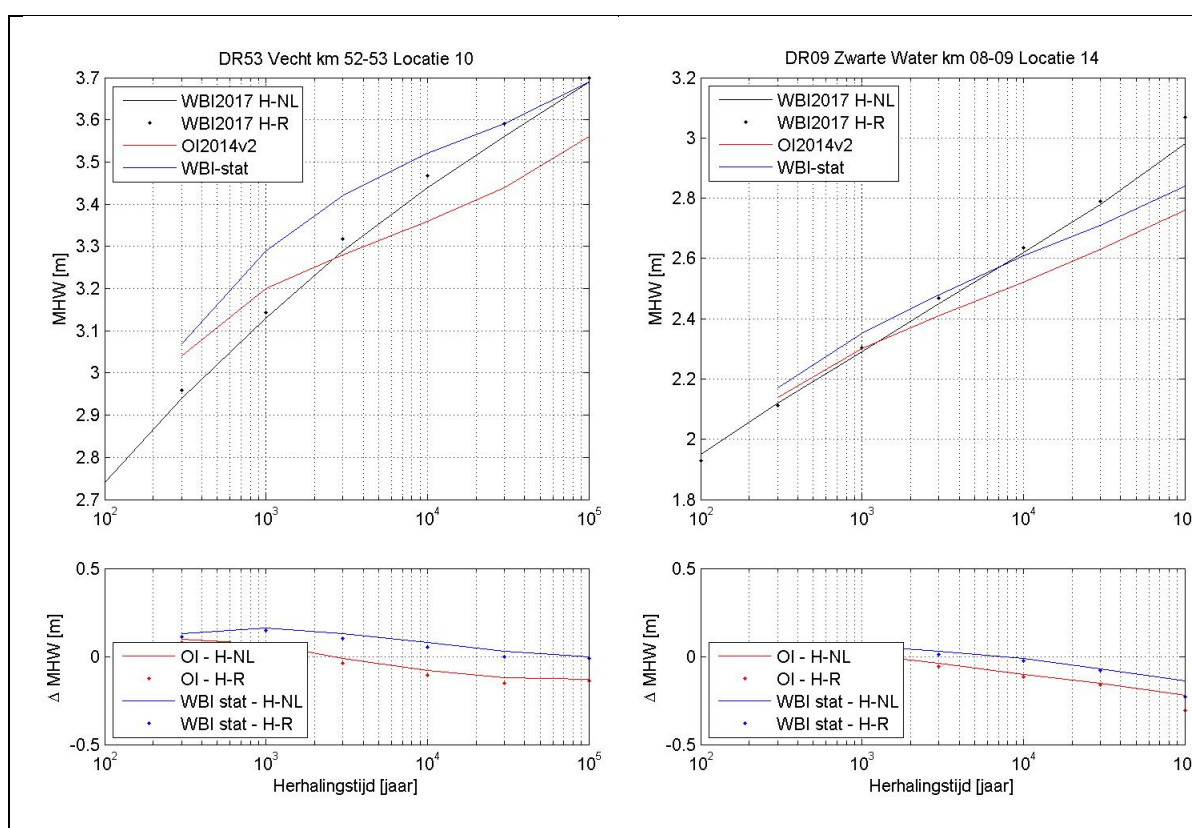
Figuur 7.1 Vechtdelta: effect onzekerheden op MHW (links) en HBN (rechts). Hydra-NL met onzekerheden minus Hydra-NL zonder onzekerheden, voor alle testlocaties in de Vechtdelta.

## 7.2 Uit-geïntegreerd verschil in waterstand bij norm (MHW)

In de voorgaande secties zijn de verschillen in de individuele componenten van de Hydraulische Belastingen beschreven en waar mogelijk gekwantificeerd. Een eerste orde benadering van het totale verschil kan worden verkregen door de individuele componenten bij elkaar op te tellen. De verschillen hebben echter een interactie met elkaar of zijn sterk herhalingsstijdafhankelijk, waardoor deze optelsom af kan wijken van het daadwerkelijke verschil.

Voor de locaties geselecteerd als testlocaties in WBI2017 is het resultaat van WBI2017 vergeleken met het rekenrecept van OI2014v2. Dit betekent dat voor de WBI2017 gebruik is gemaakt van de resultaten inclusief onzekerheden (maar wel met een deterministisch overslagdebiet van 10 l/s/m). Voor OI2014 geldt dat gebruik is gemaakt van de resultaten conform rekenrecept, inclusief onzekerheidstoelagen. Aanvullend wordt ook het verschil van WBI2017 met OI2014 beschouwd, waarbij OI2014 (HR2006 met aftoppen) is vervangen door WBI2017 afvoerstatistiek.

Voor de Vechtdelta geldt dat primair gekeken wordt naar locaties langs het Zwarte Water en de Vecht (daar zijn specifiek OI2014 recepten voor afgegeven). Figuur 7.2 laat zien dat het verschil in MHW tussen WBI2017 en OI2014 beperkt is voor nagenoeg alle herhalingsstijden. Het verschil in de gehanteerde statistiek voor de Vechtafvoer is eveneens beperkt: minder dan 0.15 meter.

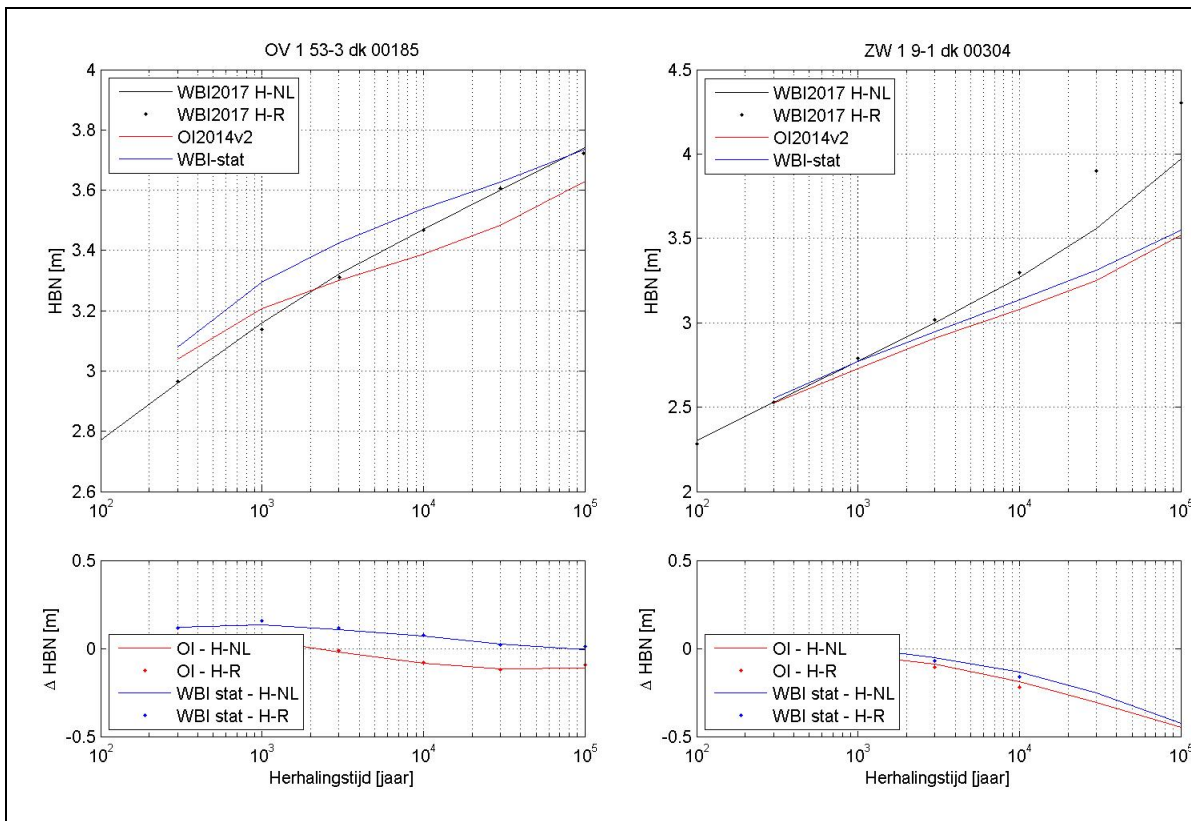


Figuur 7.2 Vechtdelta: Verschil tussen MHW volgens WBI2017 en OI2014/OI2014 met WBI2017 afvoerstatistiek (WBI-stat=OI2014 met WBI2017 afvoerstatistiek)

### 7.3 Uit-geïntegreerd verschil in Hydraulisch Belasting Niveau (HBN)

In de voorgaande sectie is gekeken naar het totale verschil in waterstand bij norm. Voor het Hydraulische Belasting Niveau (HBN) geldt dat het totale verschil anders kan uitpakken omdat hier ook de bijdrage van golven doorwerkt. Als gevolg van de toevoeging van golven geldt enerzijds dat (i) statistische onzekerheid van de wind en (ii) modelonzekerheid golven een rol gaan spelen en anderzijds dat de kansbijdrage van de waterstand (en dus afvoer) kleiner wordt.

Net als voor waterstand bij de norm is voor HBN gekeken naar het verschil tussen OI2014 en WBI2017 (Hydra-NL en Hydra-Ring). Voor de Vechtdelta geldt dat de bevindingen voor HBN sterke overeenkomst vertonen met de bevindingen voor MHW: de verschillen tussen WBI2017 en OI2014 (HR2006/WBI2017 statistiek) zijn kleiner dan 0.1 meter voor lage herhalings tijden, daarna oplopend tot 0.3-0.4 meter (herhalings tijden > 10.000 jaar). Het verschil tussen het hanteren van de OI2014 Vechtafvoer statistiek of de WBI2017 Vechtafvoer statistiek is ook zeer beperkt: < 0.15 meter.



Figuur 7.3 Vechtdelta: Verschil tussen HBN volgens WBI2017 en OI2014.

## 8 Conclusies

Ten behoeve van lopende HWBP projecten welke het OI2014 gebruiken is gekeken naar de verschillen in Hydraulische Belastingen tussen OI2014 en WBI2017. Een eventueel verschil is van belang omdat het invloed kan hebben op de veiligheidsopgave of ontwerpogave van onderhavige projecten.

Uit een analyse van de individuele componenten welke onderdeel zijn van de keten om Hydraulische Belastingen te bepalen blijkt dat er grote verschillen kunnen optreden, afhankelijk van locatie en herhalingstijd. Het betreft dan met name verschillen als gevolg van de componenten “database fysica” en “doorwerking onzekerheden”. Vooral in het rivierengebied kunnen verschillen als gevolg van verschillen in de database fysica groot zijn. Op de Meren zijn er vooral verschillen in de doorwerking van onzekerheden vastgesteld. De onzekerheidstoeslag is dan gemiddeld over alle locaties en herhalingstijden wel vergelijkbaar, maar als gekeken wordt naar een specifieke locatie of herhalingstijd dan kunnen de verschillen groot zijn. Voor de kust geldt dat de verschillen sterk kunnen variëren van locatie tot locatie als gevolg van een combinatie van verschillen in belastingmodel en doorwerking onzekerheden.

De analyse van de resultaten na toepassing rekenrecept (OI2014) en uit-integratie (WBI2017) laat zien dat de verschillen voor de beschouwde locaties en daarvoor relevante herhalingstijden over het algemeen relatief klein zijn. Indien sprake is van verschillen dan geldt bovendien dat OI2014 veelal conservatief is ten opzichte van WBI2017. Indien echter gekeken wordt naar herhalingstijden en/of gebieden buiten deze locaties dan blijken de verschillen fors te kunnen oplopen. Per watersysteem kunnen op basis van de beschouwde locaties de volgende conclusies worden getrokken:

*Bovenrivieren-Rijntakken-Waal:* Over het algemeen is het voor zichtjaar 2015 met OI2014 berekende MHW als ook het HBN hoger dan berekend met WBI2017, respectievelijk 0.2-0.3 en 0.3-0.4 meter (afhankelijk van de herhalingstijd). Het hanteren van OI2014 voor een veiligheidsanalyse leidt dan tot een overschatting van de veiligheidsopgave in 2015-2023. Aanbevolen wordt om vooralsnog het OI2014 te blijven hanteren en eventueel te corrigeren voor de geobserveerde overschatting van het OI2014.

*Bovenrivieren-Rijntakken-Nederrijn:* Langs de Nederrijn geldt dat zowel MHW als HBN volgens OI2014 hoger uitkomen dan WBI2017, beide orde 0.2-0.4 meter. Vanaf een herhalingstijd van 10.000 jaar neemt het verschil in MHW sterk af tot 0 bij een herhalingstijd van 30.000 jaar als gevolg van verschil in implementatie van Lek ontzien. Deze afname is veel minder sterk voor het HBN vanwege de rol van de wind/golven. Toepassing van OI2014 voor veiligheidsanalyses leidt tot een overschatting van de veiligheidsopgave voor zichtjaren 2015-2023.

*Bovenrivieren-Rijntakken-IJssel:* Voor de IJssel geldt dat zowel HBN en MHW tot een herhalingstijd van orde 5.000 jaar overschat worden door het OI2014 voor zichtjaar 2015-2023. Voor hogere herhalingstijden is sprake van een onderschatting welke oploopt tot orde 0.25 meter voor een herhalingstijd van 30.000 jaar. Gegeven de normen van de trajecten langs de IJssel wordt gesteld dat toepassing van OI2014 tot een overschatting of een zeer kleine onderschatting van de veiligheidsopgave leidt.

*Maasvallei:* Voor de voor de Maasvallei relevante herhalingstijden onderschat het OI2014 het MHW als ook het HBN met orde 0.1 meter. Toepassing van OI2014 als proxy voor het WBI2017 in een veiligheidsanalyse leidt dan ook tot een zeer beperkte onderschatting van de veiligheidsopgave.

*Meren:* Voor de Meren geldt dat het OI2014 tot een overschatting van MHW en HBN leidt voor locaties welke aan (zuid-) westelijke oevers liggen. Voor locaties aan (noord-) oostelijke oevers geldt dat sprake kan zijn van een significante onderschatting door het OI2014. Voor de laatste groep van locaties geldt dat er nog geen HWBP projecten lopen, maar dat geadviseerd wordt om in voorkomende gevallen te overwegen met een aanscherping van het OI2014 te rekenen. Voor de eerste groep van locaties wordt geadviseerd om in de basis OI2014 te hanteren, en eventueel onzekerheidstoelagen aan te scherpen indien dit de opgave sterk beïnvloedt. Aangaande de randvoorwaarden voor bekledingen kan gesteld worden dat voor het Markermeer sprake is van een onderschatting door OI2014. Voor het IJsselmeer geldt een lichte overschatting in windgedomineerde gebieden en een onderschatting in de meerpeil gedomineerde gebieden.

*Kust:* Voor de kust geldt dat voor alle locaties uitgezonderd Oosterschelde het MHW berekend met OI2014 minder dan 0.1 meter hoger uitvalt. Voor de Oosterschelde geldt dat het MHW door OI2014 met orde 0.3 tot 0.4 meter wordt overschat. Voor het HBN geldt dat er niet op voorhand gesteld kan worden dat het toepassen OI2014 hier tot een overschatting leidt. Dit is locatie (en herhalingstijd) gebonden en dient op projectbasis vastgesteld te worden. De randvoorwaarden voor bekledingen laten een zeer diffuus beeld zien met locaties waar sprake is van een grote onderschatting, maar ook locaties met een sterke overschatting.

*IJsseldelta:* Voor de IJsseldelta geldt dat de toepassing van het OI2014 voor traject OIst-Zwolle mogelijk tot een onderschatting van het MHW van maximaal 0.2 meter leidt. Voor hetzelfde traject leidt toepassing van OI2014 tot een vergelijkbare onderschatting. Voor de overige trajecten wordt in de IJsseldelta een overschatting van zowel MHW als HBN verwacht oplopend tot 0.3 meter. Gegeven deze verschillen wordt aanbevolen om vooralsnog het OI2014 te blijven hanteren, met inachtneming van de geobserveerde verschillen met WBI2017. Indien de geobserveerde verschillen het verschil maken in ontwerpkeuzes, dan wordt aanbevolen een aanscherping van het OI2014 te hanteren.

Gedurende de afronding van deze rapportage is duidelijk geworden dat de WBI2017 resultaten gebruikt in deze analyse (voor normtraject 53-2 gebaseerd op Bovenrivieren) mogelijk aan verandering onderhevig zijn. Conclusies voor normtraject 53-2 zijn dan ook niet te trekken.

*Vechtdelta:* Voor de HWBP projecten langs de Vechtdelta waarvoor OI2014 is afgegeven geldt dat de verschillen tussen OI2014 en WBI2017 zeer beperkt zijn voor MHW. Voor HBN geldt dat voor hogere herhalingstijden sprake is van een lichte onderschatting tot orde 0.2 meter. Gegeven deze bevindingen wordt geadviseerd vooralsnog het OI2014 te handhaven en daar waar de geobserveerde onderschatting leidt tot een andere ontwerpkeuze gebruik te maken van een aangescherpt OI2014.

Geadviseerd wordt om de HWBP projecten op de hoogte te brengen van deze verschillen zodat men bij de overgang naar een nieuwe fase in het project deze inzichten mee kan nemen.

## 9 Referenties

HKV (2016). Effect nieuwe inzichten in de winddragformulering (IJsselmeer en Markermeer).  
HKV memo PR3280.18. K. Wojciechowska en C. Geerse. 1 april 2016.