

Hydraulische Belastingen Oosterschelde

Wettelijk Beoordelingsinstrumentation 2017



Hydraulische Belastingen Oosterschelde

Wettelijk Beoordelingsinstrumentation 2017

Joost den Bieman
Jacco Groeneweg

1230087-006

Titel
Hydraulische Belastingen Oosterschelde

Opdrachtgever
RWS-WVL

Project
1230087-006

Kenmerk
1230087-006-HYE-0001

Pagina's
62

Trefwoorden
WBI2017, HB Oosterschelde, Hydra-Ring

Samenvatting

In het onderliggende rapport worden de Hydraulische Belastingen voor de Oosterschelde afgeleid met Hydra-Ring, ten behoeve van WBI2017. Naast het afleiden van de HB wordt ook de vergelijking met het verleden getrokken door zowel de wijzigingen in uitgangspunten van Hydra-Ring te noemen als de resultaten van Hydra-Ring naast de Hydra-K resultaten te leggen.

De afgeleide HB voor de Oosterschelde laten de verwachte patronen zien, en de verschillen met de Hydra-K resultaten zijn te verklaren door de wijzigingen in statistiek en het meenemen van meerdere faalscenario's met bijbehorende kansen.

Referenties

Plan van Aanpak WTI KPP 2016, maart 2016

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	nov. 2016	Joost den Bieman		Joost Beckers		Marcel van Gent	
2	apr. 2017	Joost den Bieman		Joost Beckers		Marcel van Gent	

Status
definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Positionering rapportage in WBI-2017 structuur	1
1.2	Overgang naar WBI-2017	3
1.3	Doelstelling	6
1.4	Algemene uitgangspunten berekeningen	6
1.5	Aanpak	9
1.6	Producten	9
1.7	Totstandkoming	9
2	Probabilistisch model Oosterschelde	11
2.1	Database fysica	11
2.1.1	Waterstandsberekeningen	11
2.1.2	SWAN berekeningen	12
2.1.3	Sluitscenario's en kansen	12
2.1.4	Preprocessor	12
2.2	Statistiek basisstochasten	13
2.2.1	Zeewaterstand OS11 / Oosterschelde buiten	13
2.2.2	Windstatistiek Vlissingen	13
2.2.3	Voorspelfout waterstand sluiting Oosterscheldekering	15
2.2.4	Duur stormopzet	15
2.2.5	Faseverschil stormopzet en getij	15
2.2.6	Correlatiemodellen	15
2.3	Kennisonzekerheden	16
2.3.1	Statistische onzekerheid zeewaterstand (OS11)	16
2.3.2	Statistische onzekerheid windsnelheid Vlissingen	17
2.3.3	Modelonzekerheid waterstanden Oosterschelde	17
2.3.4	Modelonzekerheid golfparameters	17
2.3.5	Onzekerheid faalfrequentie Oosterscheldekering	18
3	Verschilanalyse HB Oosterschelde	19
3.1	Keuze testlocaties	19
3.2	Rekeninstellingen Hydra-Ring	20
3.3	Verschillen in rekentechniek Hydra-Ring	21
3.4	Belangrijkste veranderingen WBI2017	23
3.5	Vergelijking resultaten Hydra-K met Hydra-Ring	24
3.5.1	Lokale waterstanden	24
3.5.2	Golfhoogte	25
3.5.3	HBN	25
3.6	Vergelijking bij oude en nieuwe norm	26
3.7	Vergelijking met Hydra-NL	28
4	Resultaten HB Oosterschelde	30
4.1	Rekenresultaten lokale waterstanden	30
4.2	Rekenresultaten golfhoogte	31
4.3	Rekenresultaten HBN	32
4.4	Rekenresultaten golfbelasting op bekledingen (Q-Variant)	33
4.5	Rekentijden	35

5 Conclusies	36
Bijlage(n)	
Referenties	1
A Resultaten testlocaties	A-1
B Resultaten lokale waterstand alle terugkeertijden	B-1
C Resultaten golfhoogte alle terugkeertijden	C-5
D Resultaten HBN alle terugkeertijden	D-9

1 Inleiding

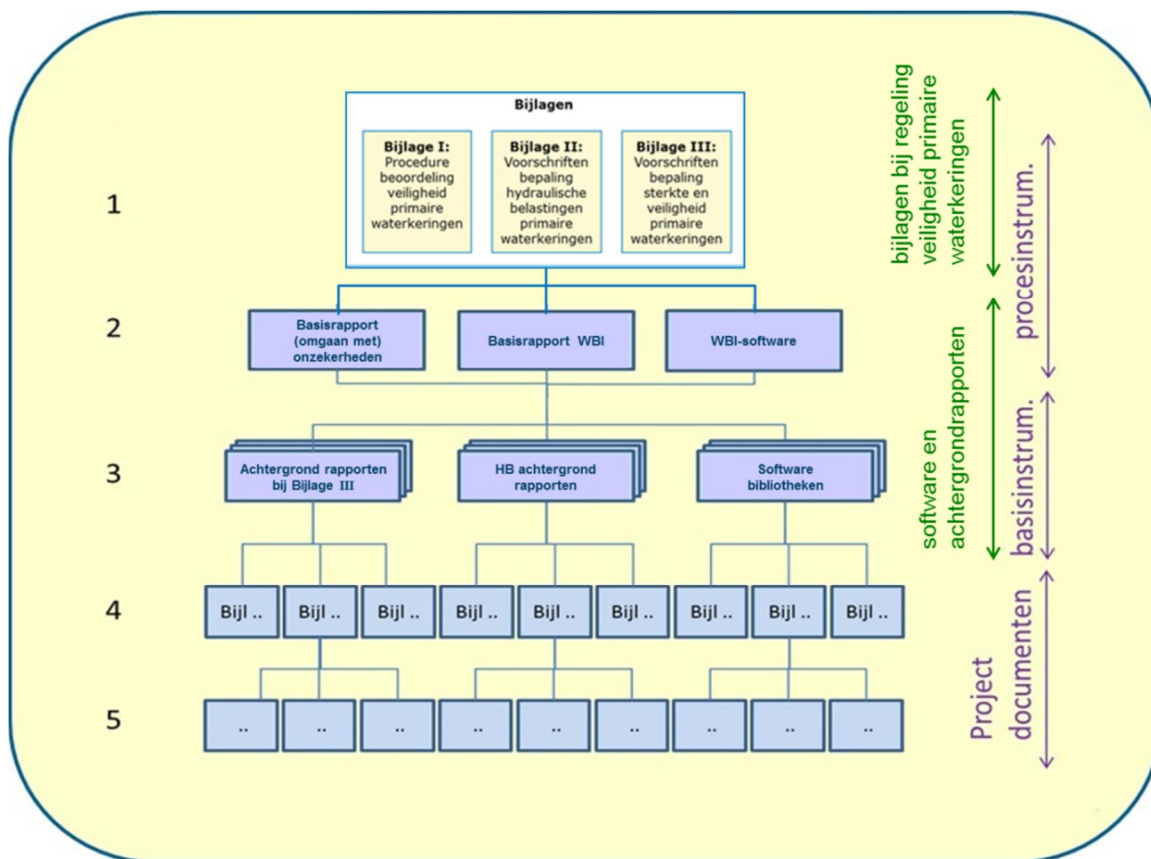
1.1 Positionering rapportage in WBI-2017 structuur

De Waterwet schrijft voor dat de primaire waterkeringen beoordeeld moeten worden aan de gestelde veiligheidsnormen. In deze wet is voor de beheerder van een primaire waterkering de verplichting neergelegd iedere twaalf jaar aan de Minister van Infrastructuur en Milieu (I&M) verslag uit te brengen over de toestand van de primaire waterkeringen. De Minister van I&M houdt toezicht op primaire waterkeringen.

De beoordeling wordt met ingang van 2017 uitgevoerd aan de hand van het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI). Het WBI is vastgelegd in een ministeriële regeling (Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017) met de volgende bijlagen:

- Bijlage I Procedure beoordeling veiligheid primaire waterkeringen.
In deze bijlage staat de procedure die moet worden doorlopen voor de beoordeling en worden de rapportageverplichtingen beschreven. In deze bijlage is een begrippenlijst opgenomen met een uitleg van alle begrippen die in het WBI 2017 worden gebruikt.
- Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen.
In deze bijlage wordt de methode beschreven om de hydraulische belastingen op de primaire waterkeringen te bepalen.
- Bijlage III Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen.
In deze bijlage staat op welke manier de primaire waterkering moet worden beoordeeld om te komen tot een oordeel over de veiligheid van de gehele kering.

De ministeriële regeling en drie bijlagen vormen de eerste laag of het formele gedeelte van WBI-2017, zoals weergegeven in Figuur 1.1.



Figuur 1.1 Boomstructuur documentatie WBI 2017

De tweede laag wordt gevormd door een aantal basisrapporten en applicatie-software. De basisrapporten bevatten uitgebreide beschrijvingen van de Hydraulische Belastingen (afgekort HB) en het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV) en hun onderlinge samenhang. Het 'achtergrondrapport HB' beschrijft voor alle watersystemen het instrumentarium, de gehanteerde uitgangspunten, het belastingmodel (inclusief gehanteerde verdelingen van basisstochasten en kennisonzekerheden), alsmede de resultaten van de HB berekeningen en een duiding van de resultaten, waaronder een verschilanalyse met de HB uit WTI-2011.

Aan de basisrapporten zijn achtergrondrapporten (laag 3) en bijlagen gekoppeld (laag 4 en 5), waarin meer details worden gegeven over specifieke onderdelen van het instrumentarium.

De voorliggende rapportage maakt deel uit van laag 4 in Figuur 1.1 en beschrijft de wijze waarop HB voor de Oosterschelde zijn verkregen, hoe de resultaten er uit zien en hoe ze zich verhouden tot WTI-2011. Naast de Oosterschelde zijn soortgelijke rapportages voor de kustgebieden, het Merengebied, Bovenrivierengebied, Vecht-IJsseldelta en Benedenrivierengebied geschreven. Dit zijn dus allemaal specialistische achtergrondrapporten. Een aggregatie van deze rapporten vindt plaats in het HR achtergrondrapport.

Alvorens de doelstelling van voorliggende rapportage te noemen (Paragraaf 1.3), gaan we in Paragraaf 1.2 in op de belangrijkste verschillen op het gebied van HB bij de overgang naar WBI-2017. Dit is een algemene beschrijving die ook terug te vinden is in "Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen" en het basisrapport WBI (in laag 2). Ook de duiding van verschillen in HB met die van voorgaande toetsrondes is een belangrijk onderdeel van voorliggend rapport.

1.2 Overgang naar WBI-2017

Het toetsinstrumentarium voor de derde toetsronde bestaat uit een voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV2006) en te hanteren Hydraulische Randvoorwaarden (HR2006). Hiermee zijn in de derde toetsronde (2007-2010) de Nederlandse primaire waterkeringen getoetst. De vierde toetsronde was beoogd in 2011 te starten en daartoe is in 2011 het WTI-2011 opgesteld. Echter, omdat dit toetsinstrumentarium nooit formeel is vastgesteld hebben de hydraulische randvoorwaarden (HR) die met WTI-2011 zijn berekend geen formele status gekregen. De destijds nieuw afgeleide HR voor Westerschelde en Waddenzee staan bekend onder de naam CR2011, concept randvoorwaarden. Voor de Hollandse Kust zijn de HR uit 2006 overgenomen. De vierde toetsronde zal in 2017 starten. Het daartoe te gebruiken Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI-2017) maakt gebruik van een groot aantal onderdelen uit het WTI-2011. Desalniettemin zijn er vele verschillen.

Het doel van het project WBI-2017 is o.a. het afleiden van de (nieuwe) HB voor de volgende toetsronde. De Hydraulische Belastingen (HB) per locatie bestaan uit een combinatie van waterstand en golfhoogte, -periode en -richting. De HR2006 gaat uit van de overschrijdingskansbenadering, die kijkt naar de kans op overschrijding van een kritieke belasting voor een tevoren vastgesteld faalmechanisme en (eigenschappen van) een tevoren gekozen waterkeringssectie. In 2017 wordt een overstap gemaakt naar een overstromingskansbenadering. Dit houdt in dat gekeken wordt naar de kans op falen (rekening houdend met meerdere faalmechanismen) van een dijkkring of dijkkringtraject, bestaande uit meerdere waterkeringssecties.

Naast de overstap op de overstromingskansbenadering dient in WBI 2017 uitgegaan te worden van de nieuwe veiligheidsnormen (zie Figuur 1.2). Deze nieuwe normen zijn afgeleid van een economische kosten-baten analyse en een beschouwing van de slachtoffer risico's (zie samenvatting in Deltares, 2011) en op 4 juli 2016 wettelijk vastgesteld¹.

Een derde fundamenteel verschil tussen WBI 2017 en eerdere versies van het toetsinstrumentarium betreft de omgang met onzekerheden. In de HR2006/VTV2006 en WTI-2011 wordt in beperkte mate rekening gehouden met onzekerheden. In geval van onzekere modelparameters of modelinvoer wordt veelal gebruik gemaakt van een beste schatting of van een gemiddelde waarde. Dit geldt voor zowel sterkte- als belastingparameters. Aan de belastingkant wordt alleen rekening gehouden met de natuurlijke variabiliteit (ook wel inherente onzekerheid genoemd) in de rivierafvoeren, het IJsselmeerpeil, de zeewaterstand en de wind. Kennisonzekerheden (bijvoorbeeld als gevolg van onvoldoende data/informatie) worden niet beschouwd. Dit kan leiden tot een onderschatting van de kans op falen van een kering. Tegelijk met de overstap van overschrijdingskans naar overstromingskansbenadering en een nieuwe normering wordt daarom in WBI-2017 ook een verbetering doorgevoerd ten aanzien van het omgaan met onzekerheden. In WBI-2017 worden alle relevante model- en kennis-onzekerheden beschouwd en meegenomen in de probabilistische berekeningen, zowel aan de sterkte- als de belastingkant.

¹ <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/wetsvoorstellen/detail?id=2016Z06188&dossier=34436>



Figuur 1.2 Normfrequenties voor de primaire waterkeringen. Dit betreft in dit geval de ondergrens, d.w.z. de maximale overstromingskans of faalkans, die hoort bij het beschermingsniveau dat voor het desbetreffende dijktraject toelaatbaar wordt geacht.

Hydra-Ring is het nieuwe probabilistisch instrumentarium dat gebruikt gaat worden voor de probabilistische berekeningen binnen WBI-2017. Het ontwerp en de functionaliteit van Hydra-Ring staan beschreven in de Scientific Documentation Hydra-Ring (Diermanse et al, 2016). Hierin staan daarnaast beschreven de (wetenschappelijke) achtergronden voor probabilistisch rekenen (rekentechnieken) en de wijze waarop de statistiek, modelonzekerheid, statistische onzekerheid en correlaties van de hydraulische belastingen en sterkteparameters worden behandeld. Het document bevat ook een beschrijving van de faalmechanismen die ingebouwd zijn in Hydra-Ring.

De toetsing van de primaire keringen volgens het VTV vormt een gelaagd proces. Er zijn drie lagen: van eenvoudig via gedetailleerd naar een toets op maat. Voor de gedetailleerde toets wordt onderscheid gemaakt in een toets op dijkvakniveau en een toets op trajectniveau. Bij de toets op vakniveau wordt onderscheid gemaakt tussen een semi-probabilistische en volledig probabilistische toets. Voor de eenvoudige toets en de semi-probabilistische toets op vakniveau zijn Hydraulische Belastingen (HB) nodig om de toets uit te voeren (eenvoudige toets) of worden rekenwaarden voor de belasting bepaald die met de rekenwaarde voor de sterkte wordt vergeleken (semi-probabilistische toets op vakniveau).

Bovenstaande uitleg wordt in Tabel 1.1 schematisch weergegeven. In deze studie wordt ingegaan op de rechterkolom van de tabel. Voor de eenvoudige toets worden de HB berekend en opgeleverd als product. Voor de semi-probabilistische toets op vakniveau worden de rekenwaarden voor de belasting door Ringtoets (met als rekenhart Hydra-Ring) bepaald, wanneer de toets de toetsing uitvoert. In deze studie worden de HB met standaardinstellingen voor o.a. het dijkprofiel bepaald. De afgeleide HB zijn bedoeld als referentiewaarde, die gebruikt kunnen worden ter controle of om een verschilanalyse uit te voeren.

Tabel 1.1 Gegevens behorend bij eenvoudige en gedetailleerde toets.

Toets:	Niveau:	Reken-methode:	Faal-mechanisme:	Faal-frequentie:	Instrumen-tarium toetser:	Resultaat deze studie:
Eenvoudig	vak	eenvoudig	selectie	Norm	Ringtoets	Productiesommen die direct worden getoond in Ringtoets (= marginale statistiek waterstand en golfhoogte)
Gedetail-leerd	vak	Semi-prob.	overige	Norm	Ringtoets	referentie berekeningen (lokale waterstanden, HBN's en golfcondities bij vaste waterstand)
		Volledig prob	Gras & duinen	Norm aangepast voor lengte effect en faalkansverdeling	Ringtoets	
	traject	Volledig prob.	alle	Gehele frequentielijn	Ringtoets	

Omdat de berekening van de hydraulische belastingen per watersysteem verschilt hebben we er voor gekozen de HB voor ieder watersysteem apart te rapporteren. Zo maken we onderscheid in de watersystemen Oosterschelde, Kust, Meren, Bovenrivieren, Vecht- en IJsseldelta en Benedenrivieren.

In deze rapportage beschouwen we de Oosterschelde. Aan de hand van een groot aantal berekeningen zijn Hydraulische Belastingen (HB) voor de harde keringen in de Oosterschelde afgeleid. Deze bestaan uit:

- marginale statistiek (overschrijdingskansen) voor lokale waterstand en significante golfhoogte. Deze worden afgeleid voor de eenvoudige toets en vormen direct input voor Ringtoets.
- Lokale waterstand (t.b.v. geotechnische toetssporen), HBN (HB voor golfoverslag-gerelateerde toetssporen) en maatgevende golfcondities per waterstandsniveau (bekledingen). Deze worden afgeleid voor de semi-probabilistische toets op vakniveau en zijn bedoeld als referentiewaarde voor de HB die de toetser uiteindelijk zelf met Ringtoets afleidt voor de diverse toetssporen.

De maatgevende golfcondities per waterstandsniveau ten behoeve van de toetsing van bekledingen zijn voor een aantal representatieve locaties worden in dit rapport opgenomen.

1.3 Doelstelling

De doelstelling van dit rapport is drieledig:

1. Beschrijving van de rekenmethodes zodat reproductie mogelijk is.
2. Beschrijving en analyse van de resultaten om de betrouwbaarheid vast te stellen.
3. Vergelijking met WTI-2011 en duiding van de verschillen.

1.4 Algemene uitgangspunten berekeningen

Bij het bepalen van de Hydraulische Belastingen worden de volgende uitgangspunten gehanteerd.

- De Oosterschelde is in Hydra-Ring opgenomen als regio 13 (zie Figuur 1.3). Het betreft alleen harde keringen.
- De Hydraulische Belastingen voor de eenvoudige toets vormen input voor Ringtoets en dienen om die reden op alle oeverlocaties te worden bepaald en voor alle relevante herhalingstijden. De relevante herhalingstijden worden afgeleid van de wettelijke normfrequenties die zijn weergegeven in Figuur 1.2. Dit zijn de volgende zeven frequenties: 1:100, 1:300, 1:1.000, 1:3.000, 1:10.000, 1:30.000, 1:100.000 per jaar.
- De Hydraulische Belastingen volgens WBI-2017 worden vergeleken met de resultaten van WTI-2011.
- Omdat de focus ligt op HB en niet op sterkte, beschouwen we in de berekeningen alleen standaardprofielen (taludhelling 1:3) en een kritiek overslagdebiet van 1 l/s/m. Overgang op een groter kritiek overslagdebiet (bijv. 5 l/s/m) of de een ander dijkprofiel maakt geen onderdeel uit van de hier uitgevoerde verschilanalyse.

- Voor de referentieberekeningen van de semi-probabilistische toets op vakniveau is het slechts noodzakelijk de Hydraulische Belastingen voor deze toets op een selectie van locaties (doch voldoende) te bepalen. De referentieberekeningen dienen immers om de verschillen met HR2006 te duiden. Hiervoor volstaat een set van representatieve locaties.
- De betrouwbaarheid van de resultaten wordt mede bepaald door de keuze van de probabilistische rekentechniek. Deze is voor alle gebieden in overleg met Hydra-Ring ontwikkelaars vastgesteld. Toch kunnen we niet uitsluiten dat op sommige locaties HB worden berekend die minder betrouwbaar zijn (anders gezegd wanneer er onverklaarbare verlopen of grote verschillen ontstaan). Waar dit optreedt zal het in dit rapport worden aangegeven en hoe hiermee moet worden omgegaan.



Figuur 1.3 Overzichtskartaal watersystemen zoals die onderverdeeld zijn in de software. Bron: Min. I&M (2016).

1.5 Aanpak

De productie van de Hydraulische Belastingen wordt in dit rapport beschreven aan de hand van de volgende stappen:

- 1 Beschrijven van het belastingmodel van WBI-2017 voor de harde keringen in de Oosterschelde in Hoofdstuk 2 (statistiek van basisstochasten, onzekerheden en onderlinge correlaties en de database voor vertaling van stochastwaarden naar belasting bij de teen van de waterkering).
- 2 Analyse van de resultaten, waarbij in Hoofdstuk 3 eerst wordt gekeken naar de verschillen veroorzaakt door wisselende Hydra-Ring instellingen² en vervolgens een vergelijking wordt gemaakt met de resultaten van WTI-2011. Dit sluit aan bij de doelstelling om de betrouwbaarheid van de afgeleide HB te bepalen en de verschillen met WTI-2011. Deze analyse vindt plaats op een selectie van locaties.
- 3 In Hoofdstuk 4 worden de resultaten van de berekeningen voor alle locaties besproken. Daarbij beschouwen we onder andere de ruimtelijke variatie van de Hydraulische Belastingen als extra controleslag.

Zoals genoemd in de vorige paragraaf heeft de keuze voor de gehanteerde rekentechniek mogelijk een grote invloed op de resulterende HB. De resultaten in voorliggend rapport vormen de basis voor de uiteindelijke keuze van de te hanteren rekentechniek.

1.6 Producten

In dit rapport worden de volgende Hydraulische Belastingen bepaald:

- Lokale waterstanden met een overschrijdingskans die gelijk is aan de normfrequentie (in figuren aangeduid met MHW) t.b.v. eenvoudige toets en semi-probabilistische toets op vakniveau,
- Golfhoogte bij de normfrequentie t.b.v. eenvoudige toets,
- Hydraulische Belastingniveau (HBN) bij de normfrequentie t.b.v. semi-probabilistische toets op vakniveau,
- Golfcondities per waterstandsniveau bij de normfrequentie voor toetsing bekledingen t.b.v. semi-probabilistische toets op vakniveau.

Bij dit rapport worden de volgende data en applicaties opgeleverd:

- Excel files met Hydraulische Belastingen (per locatie, herhalingsijd en type hydraulische belasting)

1.7 Totstandkoming

Bijdragen aan dit document en onderliggende rekenresultaten zijn geleverd door:

Joost den Bieman
Jacco Groeneweg
Henri Steenberg

De projectleiding bij Deltares was in handen van Jacco Groeneweg. Het document is gereviewd door Joost Beckers.

² Het vaststellen van de rekeninstellingen t.b.v. het afleiden van HB met Hydra-Ring is in meerdere fases opgedeeld. In de watersysteem-rapportages (waar dit rapport er één van is) zijn voorlopige instellingen gebruikt op basis van stabiliteit van de resultaten. In Deltares (2017b) zijn deze instellingen voor alle watersystemen integraal geverifieerd door met Hydra-NL te vergelijken en de instellingen zo nodig aan te passen. De resultaten hiervan zijn samengevat in paragraaf 3.7.

Van de zijde van RWS is inbreng geleverd door:

Deon Slagter

Arthur Kors

Krijn Saman

De projectleiding bij RWS-WVL was in handen van Deon Slagter.

2 Probabilistisch model Oosterschelde

2.1 Database fysica

2.1.1 Waterstandsberekeningen

Voor een groot aantal scenario's van falende schuiven van de Oosterscheldekering zijn berekeningen van de waterstand gemaakt met IMPLIC (RWS, 2008). Door RWS (Krijn Saman) zijn de volgende gegevens aangeleverd:

- Database met rekenresultaten van waterstanden op IMPLIC stations (FSmax422)
- Tabel met correctiecoëfficiënten
- Tabel met kansen op voorkomen van sluitscenario's
- Tabel met kansen op sluiting (reguliere sluiting of noodsluiting)

De FSmax422 database bestaat uit 18 datafiles. Voor elk van de negen sluitscenario's (zie Tabel 2.2) is voor de strategiesluiting enerzijds en noodsluiting anderzijds een aparte database gemaakt. Vervolgens is per database per IMPLIC locatie de waterstand gegeven voor de combinaties van 5 stormduren, 3 faseverschuivingen, 51 waterstanden bij OS11, 5 windsnelheden en 12 windrichtingen. De beschouwde combinaties staan vermeld in Tabel 2.1. Deze combinaties zijn inherent verbonden aan de gebruikte instellingen voor de IMPLIC en SWAN berekeningen die ten grondslag liggen aan de database, zie ook Tabellen 1 tot en met 5 van RWS (2008).

Tabel 2.1 Beschouwde combinaties van stochastwaarden voor IMPLIC berekeningen.

Stormduur [uur]	Faseverschuiving [min]	Waterstand OS11 [m+NAP]	Windsnelheid [m/s]	Windrichting [°N]
20	-260	1,50	10	30
40	0	1,60	20	60
60	260	1,70	30	90
80		...	40	...
100		6,50	50	360

Dit maakt dat de database is verkregen door $5 \times 3 \times 51 \times 5 \times 12 = 45.900$ verschillende "natuurscenario's" te beschouwen voor elk van de 17 combinaties van faalscenario's en type sluiting (voor het falen van de gehele kering is het type sluiting niet relevant). In totaal zijn dus 780300 combinaties met IMPLIC doorerekend (zie ook p10 in RWS, 2008). In de IMPLIC database zijn de berekende waterstanden in de IMPLIC stations opgeslagen. In Tabel 2.7 zijn de IMPLIC stations weergegeven.

De IMPLIC databases worden uitgeleverd met correctiecoëfficiënten, zie RWS (2010, hoofdstuk 7). Deze correctiecoëfficiënten zijn weergegeven in Tabel 8 van RWS (2010) en moeten toegepast worden op de IMPLIC resultaten in de FSmax422 database. De waterstand op een willekeurige uitvoerlocatie wordt vervolgens verkregen door triangulaire interpolatie tussen drie IMPLIC stations. Veel uitvoerlocaties liggen niet binnen een driehoek van IMPLIC stations. Deze uitvoerlocaties worden toch gekoppeld aan een driehoek van drie dichtstbijzijnde IMPLIC stations waarna er wordt geëxtrapoleerd.

2.1.2 SWAN berekeningen

De database met SWAN resultaten is overgenomen uit Hydra-K. Al sinds HR2006 wordt deze database gebruikt. Oorspronkelijk betreft dit SWAN resultaten uit 1997/1998, die gebaseerd zijn op uitgangspunten voor ontwerp. Deze zijn in 2004/2005 gecorrigeerd om ze ook voor toetsing geschikt te maken. De golfcondities zijn bepaald voor 12 windrichtingen en een aantal windklassen (het aantal varieert per windrichting), uitgaande van een uniform windveld. Waterstanden van 0, 2, 3 en 4m+NAP zijn beschouwd. Voor de drie laagste waterstanden is verondersteld dat de kering open is, met golfdoordringing door de Oosterscheldekering. Voor de hoogste waterstand is aangenomen dat de kering gesloten is. Faalscenario's zijn dus niet beschouwd.

2.1.3 Sluitscenario's en kansen

Omdat de Oosterscheldekering bestaat uit 62 schuiven die onafhankelijk kunnen falen, zijn er faalscenario's gedefinieerd waarbij variërende aantallen schuiven open blijven staan. In Tabel 2.2 zijn de geschatte frequenties van deze faalscenario's weergegeven. Deze zijn gebaseerd op de beste schatting van het huidige functioneren van de Oosterscheldekering.

Tabel 2.2 Geschatte frequenties van verschillende faalscenario's van de Oosterscheldekering, d.d. april 2015.

# falende schuiven	Bemand	Onbemand
0	0,98647542880	0,93950690530
1	0,01180000000	0,05410000000
2	0,00038100000	0,00183000000
3-5	0,00018800000	0,00200000000
6-10	0,00058800000	0,00097200000
kwart	0,00037700000	0,00060700000
helft	0,00017000000	0,00023100000
driekwart	0,00000007120	0,00000009470
heel	0,00002050000	0,00075300000

2.1.4 Preprocessor

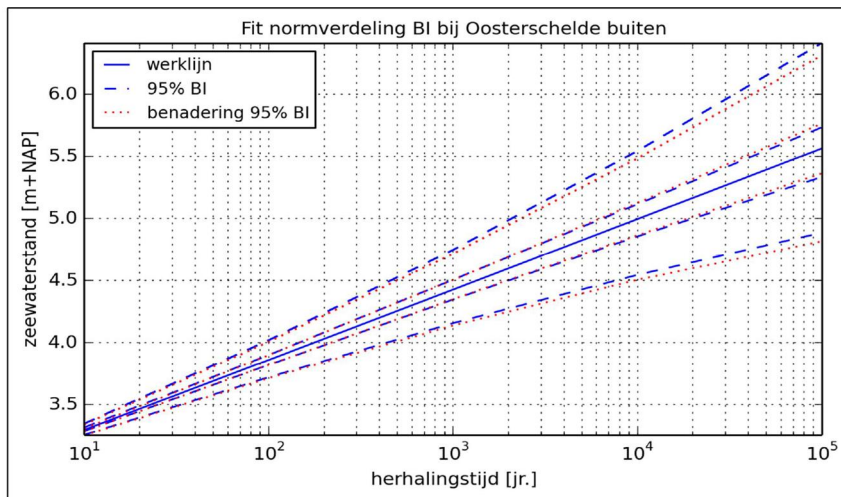
Voor berekeningen in de Oosterschelde met Hydra-Ring wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde preprocessor. Het doel van een preprocessor is het versnellen van berekeningen door voorwerk te doen buiten Hydra-Ring om.

Voor de Oosterschelde worden er in de preprocessor uitgeïntegreerde werklijnen op de IMPLIC locaties berekend. Hierin zijn de effecten van sluitregimes, waterstand Oosterschelde Buiten (OS11), stormduur en faseverschil stormopzet/getij al meegenomen, zodat deze stochasten effectief verdwijnen bij een Hydra-Ring berekening. Het resultaat is een set van conditionele kansverdelingen per IMPLIC station, gegeven een windsnelheid en windrichting. Door de reductie van het aantal stochasten wordt de rekenopgave minder complex, hetgeen in de praktijk leidt tot een fors gereduceerde rekentijd. De impact op de uitkomsten van de berekeningen is verwaarloosbaar (afronding). De waarden in het ontwerp punt worden terug getransformeerd naar de originele stochasten een gebruiker deze op dezelfde manier als voorheen kan beoordelen. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van de preprocessor, zie Deltares (2016b, par 4.4.14).

2.2 Statistiek basisstochasten

2.2.1 Zeewaterstand OS11 / Oosterschelde buiten

In Figuur 2.1 is de werklijn van de zeewaterstand voor station OS11/Oosterschelde buiten weergegeven. Deze is afkomstig uit Deltares (2016a, par 3.5), de basispeilen uit 1993 zijn gehandhaafd met toepassing van correcties voor zeespiegelstijging en lokale effecten.



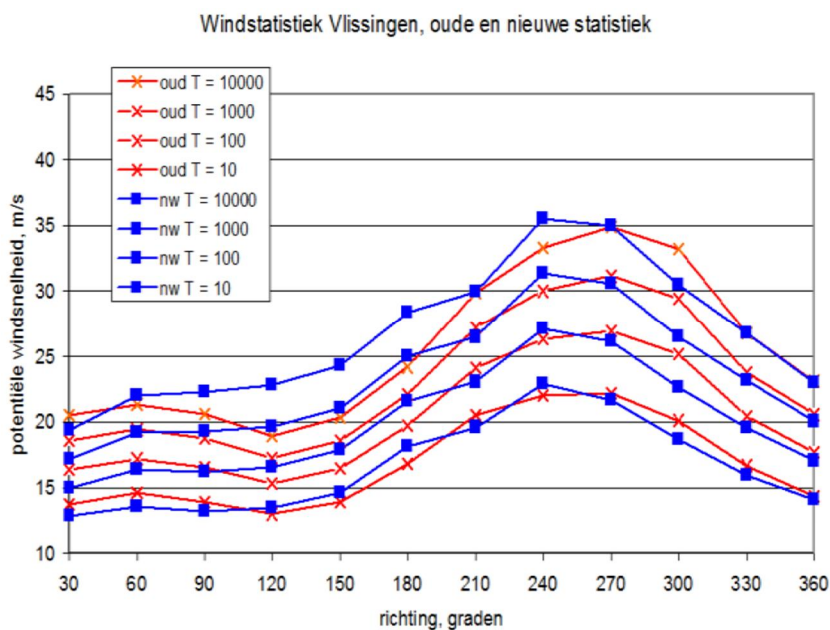
Figuur 2.1 Werklijn en betrouwbaarheidsinterval voor station OS11 / Oosterschelde buiten, uit Deltares(2016a).

2.2.2 Windstatistiek Vlissingen

In het kader van WBI2017 is de windstatistiek opnieuw bepaald. Voor het station Vlissingen heeft dit grofweg de volgende gevolgen voor de belangrijkste sectoren (Deltares, 2016a, par 3.6):

- 210°, 270° en 330° blijven ongeveer gelijk
- 240° gaat omhoog
- 300° gaat omlaag

Deze gevolgen zijn ook gevisualiseerd in Figuur 2.2.



Figuur 2.2 Vergelijking oude en nieuwe windstatistiek voor station Vlissingen, uit Deltares (2016a).

Naast de statistiek van de windsnelheid is ook de statistiek van de windrichting opnieuw afgeleid, zie Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kans op windrichting voor station Vlissingen, uit Deltares (2016a).

Windrichting [°]	Kans op windrichting
30	0,05712
60	0,09349
90	0,05571
120	0,04607
150	0,05754
180	0,11825
210	0,18043
240	0,15300
270	0,09215
300	0,06338
330	0,04706
360	0,03580

Voor meer details omtrent de toegepaste winddrag correctie, zie Deltares (2017a).

2.2.3 Voorspelfout waterstand sluiting Oosterscheldekering

Het sluiten van de Oosterscheldekering vindt plaats bij een verwachte buitenwaterstand van 3,00 m NAP of hoger. Op het moment dat de verwachte buitenwaterstand 2,75 m NAP bereikt komt het Beslisteam Sluiting Oosterscheldekering samen. Dit team besluit, op basis van waterstandsvoorspellingen, of de Oosterscheldekering dicht moet. Het is mogelijk dat de optredende buitenwaterstand afwijkt van de voorspellingen op basis waarvan de beslissing tot sluiten is gemaakt. Om deze reden wordt er in het probabilistische model van de Oosterschelde ook rekening gehouden met een voorspelfout in de buitenwaterstand. Deze voorspelfout wordt meegenomen als een normaal verdeelde spreiding op de waterstand met een gemiddelde van 0 m en een standaarddeviatie van 0,25 m (Deltares, 2016a, par 3.8.2).

2.2.4 Duur stormopzet

De duur van de stormopzet volgt een lognormale verdeling met een gemiddelde van 54,3 uur en een standaarddeviatie van 18,8 uur (Deltares, 2016a, par 2.3.2). De duur van de stormopzet is gediscretiseerd zoals weergegeven in Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Discretisatie stormopzet uren.

Stormduur [uren]
20
40
60
80
100

2.2.5 Faseverschil stormopzet en getij

Het faseverschil tussen stormopzet en getij is een uniform verdeelde stochast met grenzen van -6,2 en +6,2 uur (Deltares, 2016a, par 2.3.2).

2.2.6 Correlatiemodellen

De gecorreleerde variabelen en de daarbij gehanteerde correlatiemodellen staan beschreven in Tabel 2.5. Voor meer details zie Deltares (2016a, par 4.5).

Tabel 2.5 Correlatiemodellen in de Oosterschelde.

Afhankelijke variabele	Onafhankelijke variabele	Type correlatie
Windsnelheid Vlissingen	Waterstand OS 11	PC-Ring model (Vrouwenfelder, 2003)
Statistische onzekerheid windsnelheid Vlissingen	Statistische onzekerheid waterstand OS11	Volledig

2.3 Kennisonzekerheden

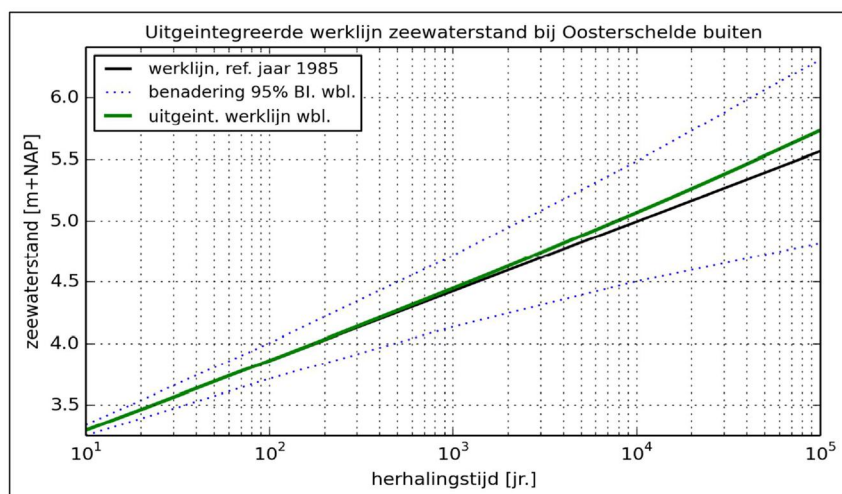
In Tabel 2.6 zijn de variabelen benoemd die de model- en statistische onzekerheden representeren. Tevens is het type onzekerheid en de verdeling weergegeven.

Tabel 2.6 Statistiek van de kennisonzekerheden in de Oosterschelde.

Naam	Eenheid	Tijdschaal voor opschaling in tijd	Type onzekerheid s-model	Type verdeling	μ [-]	σ [-]
Statistische onzekerheid waterstand OS11	m	12 uur	additief	Normaal	Tabel zie Bijlage E Deltares (2016a)	
Statistische onzekerheid windsnelheid Vlissingen	-	12 uur	multiplicatief en afgeknot	Normaal	1	0,042
Modelonzekerheid waterstand	m	Constant in tijd	additief	Normaal	Zie Tabel 2.7	
Modelonzekerheid golfhoogte	-	Constant in tijd	multiplicatief	Normaal	0,99	0,19
Modelonzekerheid golfperiode	-	Constant in tijd	multiplicatief	Normaal	0,96	0,11

2.3.1 Statistische onzekerheid zeewaterstand (OS11)

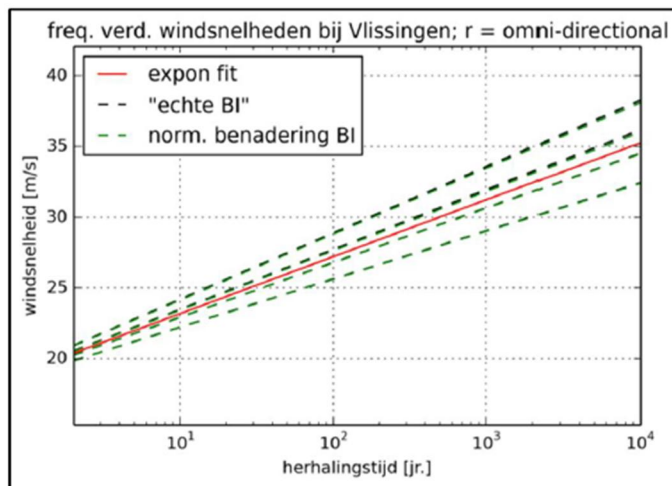
De statistische onzekerheid van de waterstand is weergegeven in Figuur 2.3 door middel van 95% betrouwbaarheidsintervallen (stippellijnen). Het effect van de statistische onzekerheid op de zeewaterstand is beperkt. Een van de manieren om dit inzichtelijk te maken is het uitintegreren van de werklijn en de onzekerheid tot een nieuwe werklijn waarin de onzekerheid is meegenomen, zoals gedaan in Figuur 2.3. Hierin wordt duidelijk dat het effect toeneemt met de terugkeertijd, maar zelfs voor een terugkeertijd van 100.000 jaar maar ca. 15 cm bedraagt.



Figuur 2.3 Effect onzekerheid zeewaterstand station OS11 / Oosterschelde buiten in de vorm van een uitgeïntegreerde werklijn, uit Deltares (2016a).

2.3.2 Statistische onzekerheid windsnelheid Vlissingen

Voor station Vlissingen is de richtings- en terugkeertijdafhankelijke statistische onzekerheid afgeleid en meegenomen in het probabilistische model voor de Oosterschelde. Ter voorbeeld wordt in Figuur 2.4 de omni-directionele statistiek weergegeven.



Figuur 2.4 Omni-directionele werklijn en betrouwbaarheidsintervallen voor de windsnelheid bij station Vlissingen.

2.3.3 Modelonzekerheid waterstanden Oosterschelde

Aan de waterstanden in de Oosterschelde liggen IMPLIC modelberekeningen ten grondslag. Ook bij de IMPLIC resultaten bestaat een mate van modelonzekerheid. Deze modelonzekerheid is niet constant in de ruimte, daarom heeft elk IMPLIC station een eigen waarde voor de standaarddeviatie (zie Tabel 2.7).

Tabel 2.7 Modelonzekerheid waterstand op IMPLIC locaties.

IMPLIC station	X RD [m]	Y RD [m]	Standaarddeviatie [m]
Roompot Binnen (RPBI)	37187,7	403288,5	0,15
Burghsluis (BURG)	42682,4	410889,2	0,15
Wemeldinge (WEME)	60270,6	394085,3	0,15
Rattekaai (RALA)	73535,1	384166,6	0,20
Marollegat (MRG)	71654,3	388541,9	0,20
Stavenisse (STAV)	59063,0	402222,1	0,15
Philipsdam West (PW)	69456,7	410101,6	0,20
Colijnsplaat (CP)	50094,6	402677,5	0,15
Zeelandbrug Noord (ZN)	51777,4	405073,0	0,15

2.3.4 Modelonzekerheid golfparameters

De golfparameters in de Oosterschelde worden afgeleid van een database met resultaten van SWAN berekeningen. De modelonzekerheden voor de golfhoogte en -periode zijn gedefinieerd als een multiplicatief model, volgens $V_{incl} = V_{excl} \cdot (\mu + \sigma \cdot E_N)$. Waarin V_{incl} en V_{excl} de stochasten inclusief respectievelijk exclusief modelonzekerheid zijn. Parameters μ en σ zijn het gemiddelde en de standaarddeviatie van de modelonzekerheid en E_N is een standaard normaal verdeelde stochast. In de Oosterschelde zijn voor de H_s $\mu = 0,99$ en $\sigma = 0,19$ en voor $T_{m-1,0}$ $\mu = 0,96$ en $\sigma = 0,11$ van toepassing.

2.3.5 Onzekerheid faalfrequentie Oosterscheldekering

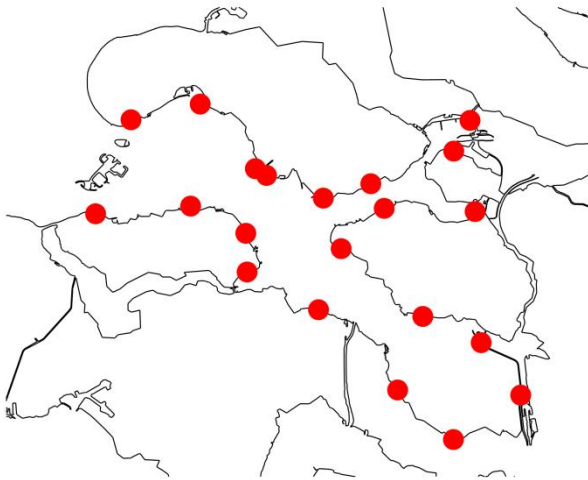
Voor het bepalen van de hydraulische belastingen in de Oosterschelde is een beste schatting van de faalfrequentie van de Oosterscheldekering gehanteerd (faalscenario's Tabel 2.2). In werkelijkheid is deze faalfrequentie onzeker en zou hiervoor een kansverdeling moeten worden toegepast. Uit pragmatisch oogpunt is ervoor gekozen deze onzekerheid te verdisconteren middels een toeslag op de waterstanden in de Oosterschelde van 10cm. Deze toeslag wordt in Hydra-Ring ingebouwd, zodat deze ook doortelt in bijvoorbeeld het HBN. Deze toeslag werd voorheen de beheerruimte genoemd en zorgt ervoor dat bij nieuwe inzichten in prestaties van de OSK de achterliggende HR niet direct gewijzigd hoefden te worden.

Merk op dat deze toeslag op het moment van schrijven nog niet in Hydra-Ring was geïmplementeerd, en als zodanig dus niet in de resultaten in dit rapport is terug te vinden.

3 Verschilanalyse HB Oosterschelde

3.1 Keuze testlocaties

Ten behoeve van de verschilanalyse is er gekozen om slechts een selectie van alle beschikbare uitvoerlocaties te beschouwen. Bij het maken van deze selectie is er zorg voor gedragen dat deze testlocaties goed verspreid door de Oosterschelde liggen, zodat ook de uiterste hoeken gedekt zijn. De ligging van de testlocaties is weergegeven in Figuur 3.1.



Figuur 3.1 Ligging van de testlocaties Oosterschelde t.b.v. de verschilanalyse.

3.2 Rekeninstellingen Hydra-Ring

In Tabel 3.1 zijn de Hydra-Ring rekeninstellingen gebruikt bij HB afleiding samengevat.

Tabel 3.1 Instellingen berekeningen Hydra-Ring.

Berekening Hydra-Ring met / zonder onzekerheden en nieuwe wind statistiek		
Onderdeel	Naam	Bestand & bron
Instrument	Hydra-Ring versie 14 oktober 2016	-
Hydra-Ring databases	Oosterschelde WBI2017	14_2.sqlite; 14_3.sqlite; 14_5.sqlite; 14_7.sqlite; 14_8.sqlite; 14_10.sqlite; 14_11.sqlite; 14_14.sqlite; 14_15.sqlite; 14_95.sqlite; 14_96.sqlite (september, 2016)
Statistiek	Zeewaterstand OS11	WBI 2017, zie Deltares (2016a, par 3.5)
	Windsnelheid per richting Vlissingen	WBI 2017, zie Deltares (2016a, par 3.6)
	Windrichting Vlissingen	WBI 2017, zie Deltares (2016a, par 3.6.3)
	Voorspelfout zeewaterstand	WBI 2017, zie Deltares (2016a, par 3.8.2)
	Duur stormopzet	WBI 2017, zie Deltares (2016a, par 2.3.2)
	Faseverschil stormopzet en getij	WBI 2017, zie Deltares (2016a, par 2.3.2)
	Onz. zeewaterstand OS11	WBI 2017, zie Deltares (2016a, par 5.5.3)
	Modelonz. waterstanden OS	WBI 2017, zie Deltares (2015, par 3.8)
	Onz. windsnelheid	WBI 2017, zie Deltares (2016a, par 5.5.4)
	Modelonz. golfhoogte	WBI 2017, zie Deltares (2015, par 4.4)
	Modelonz. golfperiode	WBI 2017, zie Deltares (2015, par 4.4)
Profiel (tbv HBN en bekledingen)	Dijknormaal	MetalInfo_oosterschelde.xlsx
	ruwheidsparemeter	1.0
	Helling	Standaard 1 op 3
Criteria HBN	Kritiek overslagdebiet	1 l/s/m
Instellingen	TijdsInt.	FBC
	Rekentechneek	DSFI
	Rel.Fact.	0.15
	ϵ_{β}	0.005
	ϵ_{HOH}	0.005
	ϵ_Z	0.005
	Nr. Iter.	150
Uitvoer	belastingparameter	Lokale waterstand, HBN, golfhoogte
	Type 2	Type 2: voor een reeks van vooraf gespecificeerde herhalingstijden berekent Hydra-Ring de bijbehorende waarde van de belastingparameter.
	oeverlocaties	Alle

3.3 Verschillen in rekentechniek Hydra-Ring

Voor een selecte set aan testlocaties zijn twee combinaties van rekentechniek en tijdsintegratietechniek met elkaar vergeleken;

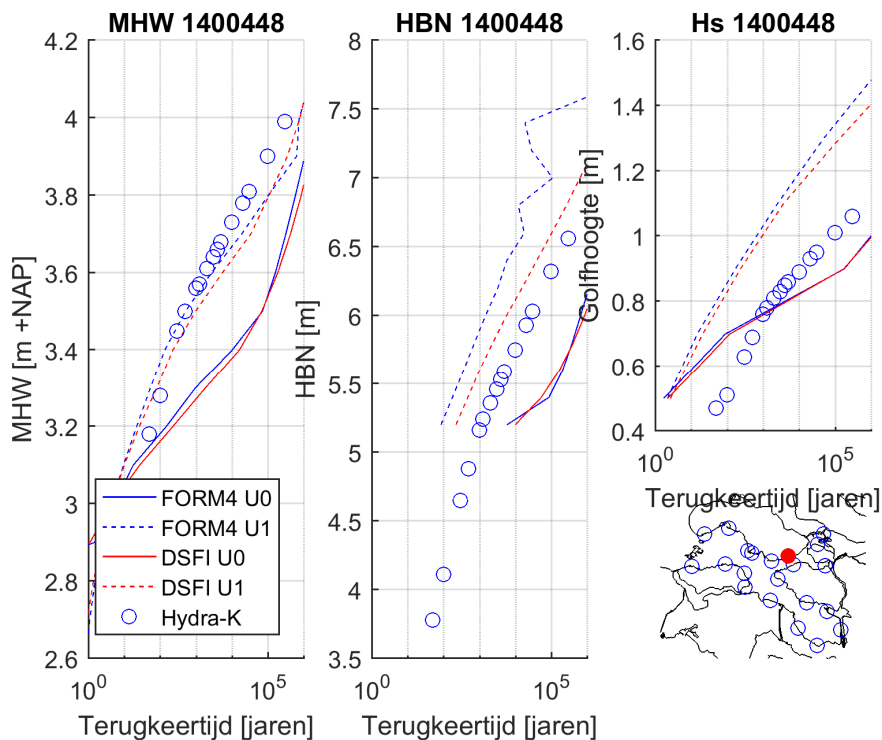
- 1 FORM & FBC (First Order Reliability Method & Ferry-Borges-Castanheta model): minder rekenintensief
- 2 DSFI & FBC (Directional Sampling with FORM Iteration & Ferry-Borges-Castanheta model): meer rekenintensief

FORM is een efficiënte benaderende methode die gebruik maakt van een linearisering van de faalgrens in het ontwerp punt. Onnauwkeurigheden worden doorgaans veroorzaakt door het verkeerd bepalen van het ontwerp punt of doordat er een relatief grote fout wordt gemaakt door de linearisering. Als alternatief is het meer tijdrovende DSFI beschikbaar, waarin Directional Sampling wordt toegepast voor het bepalen van de faalkans met naderhand nog een FORM iteratie om het ontwerp punt te vinden. Deze methode is nauwkeuriger, mits er genoeg samples worden getrokken, omdat er geen gebruik wordt gemaakt van linearisaties en fouten in het bepalen van het ontwerp punt niet van invloed zijn op de berekende faalkans.

De faalgrenzen of overschrijdingsfrequentielijnen zijn berekend (niveau 3 berekeningen) voor het MHW, het HBN en de marginale statistiek van de H_s , allen zowel met als zonder onzekerheden. Door te kijken naar het verloop van deze lijnen, zowel individueel als in relatie tot het meenemen/weglaten van onzekerheden, kan een bepaald worden welke rekentechniek toegepast dient te worden.

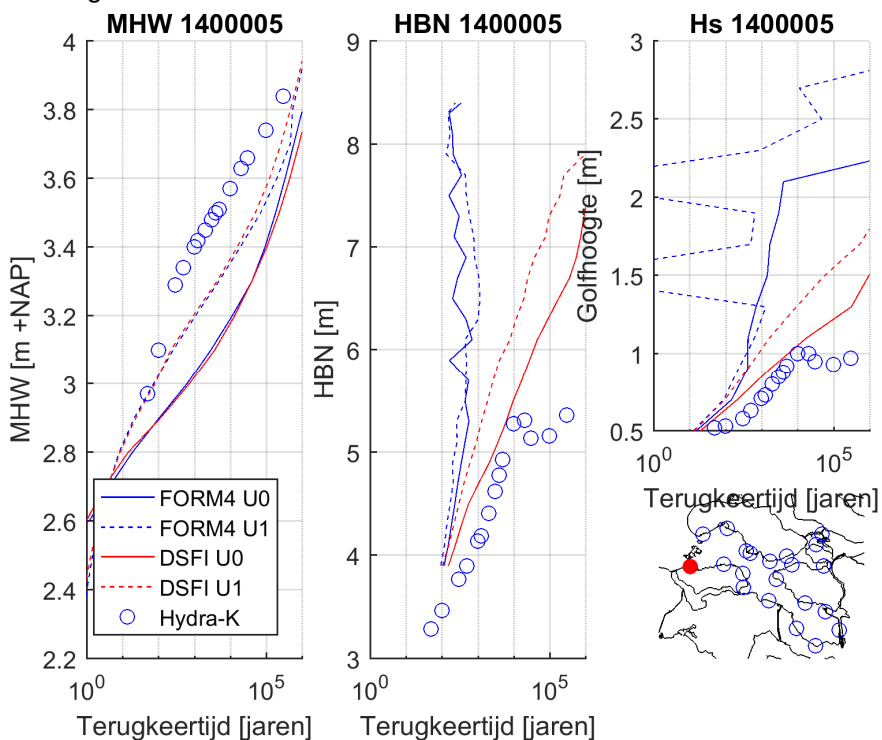
In Figuur 3.2 worden de resultaten van de twee genoemde rekentechnieken voor één locatie weergegeven. Hierbij worden MHW, HBN en H_s getoond in de panelen respectievelijk links, midden en rechtsboven. De lijnen maken onderscheid tussen FORM & FBC (blauw), DSFI & FBC (rood) en zonder (doorgetrokken) en met (gestreept) onzekerheden. Ook de Hydra-K resultaten (blauwe cirkel) zijn weergegeven. In het paneel rechtsonder worden de locaties van de testlocaties (blauwe cirkels) en de geselecteerde locatie (rode cirkel) weergegeven.

Deze locatie in Figuur 3.2 vertoont een voor de Oosterschelde vrij typisch beeld, waarbij er voor het MHW en de H_s geen significante verschillen zijn tussen beide methodes. Echter voor het HBN leidt de combinatie FORM & FBC tot een instabiel resultaat wanneer onzekerheden worden meegenomen. Merk op dat voor de waterstand de invloed van onzekerheden typisch vermindert ('knijpt') voor hogere terugkeertijden. Dit wordt veroorzaakt door een versteiling van de frequentiecurve zonder onzekerheden. Bij een steilere curve is de invloed van een gelijkblijvende onzekerheid kleiner. Doordat de curve steiler wordt bij hogere terugkeertijden neemt de invloed van onzekerheden af.

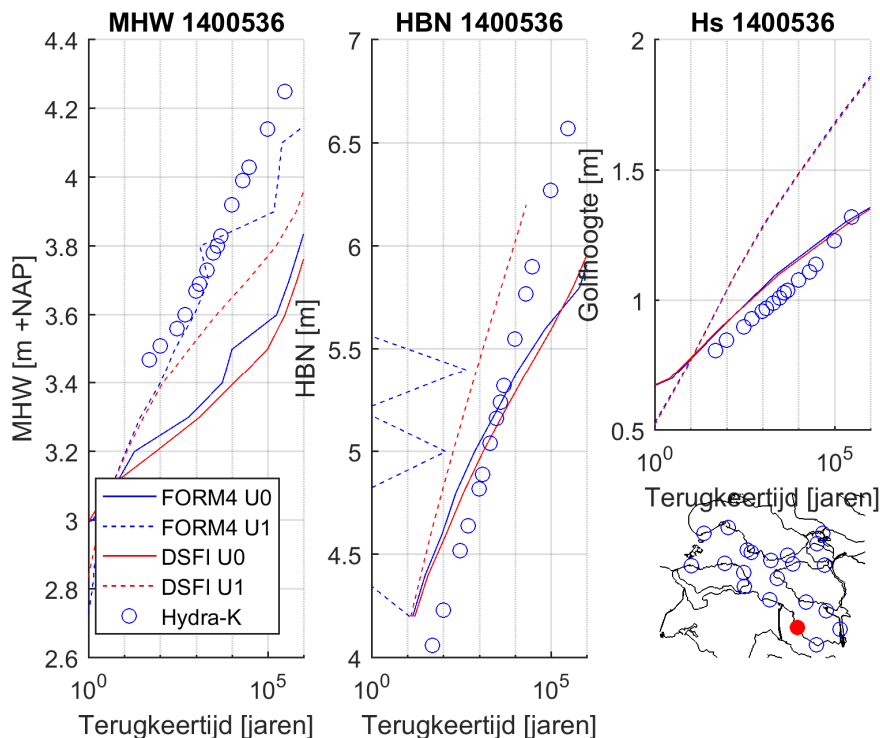


Figuur 3.2 Oosterschelde locatie 1400448 vergelijking tussen rekentechnieken.

Het komt echter ook voor dat ook het MHW en Hs instabiel gedrag vertonen met FORM & FBC, zoals te zien in Figuur 3.3 (waar de Hydra-K resultaten voor HBN en H_s niet monotoon stijgend zijn) en Figuur 3.4. In alle waargenomen gevallen van instabiel gedrag biedt DSFI & FBC een stabiel alternatief. Daarom is besloten om voor dit rapport voor zowel MHW, HBN als Hs gebruik te maken van DSFI & FBC.



Figuur 3.3 Oosterschelde locatie 1400005 vergelijking tussen rekentechnieken.



Figuur 3.4 Oosterschelde locatie 1400536 vergelijking tussen rekentechnieken.

3.4 Belangrijkste veranderingen WBI2017

Om inzicht in de plausibiliteit en kwaliteit van de resultaten van Hydra-Ring te krijgen worden deze vergeleken met bestaande berekeningen met het voorgaande instrumentarium (Hydra-K in het geval van de Oosterschelde). Wanneer er bij vergelijking van de resultaten verschillen worden gevonden is het belangrijk om deze te kunnen duiden. Om dit te kunnen doen is kennis vereist van de verschillen tussen Hydra-Ring en Hydra-K m.b.t. de implementatie van het probabilistische model voor de Oosterschelde en de bijbehorende databases.

Een algemeen verschil tussen WBI2017 en haar voorgangers is de introductie van het expliciet meenemen van kennisonzekerheden middels de toevoeging van statistische en modelonzekerheden als stochasten. Het is echter mogelijk om met Hydra-Ring berekeningen uit te voeren zonder deze onzekerheden mee te nemen, zodat er een zuivere vergelijking gemaakt kan worden met de Hydra-K resultaten.

Naast het toevoegen van onzekerheden zijn ook de faalscenario's van de Oosterscheldekering en bijbehorende kansen gewijzigd (er meer scenario's van gedeeltelijk falen bijgekomen, zie Tabel 2.2). Aangezien alle uitvoerlocaties in het watersysteem landwaarts van de Oosterscheldekering liggen, hebben de sluitscenario's invloed op de waterstanden in de Oosterschelde (en dus ook HBN en Q-Variant berekeningen). Dit betekent dat de verwachting is dat er, ook bij vergelijking met Hydra-Ring resultaten zonder onzekerheden, significante verschillen gevonden zullen worden voor alle faalmechanismen waar de waterstand een rol speelt.

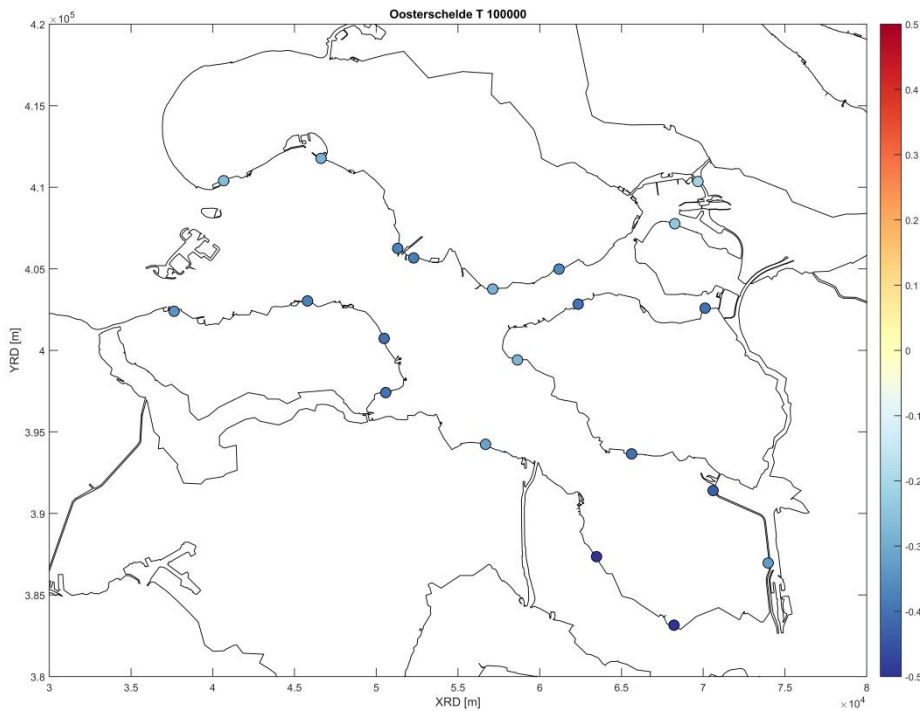
Ten slotte is ook de windstatistiek gewijzigd, wat maakt dat er verschillen zullen optreden wanneer de wind een significante rol speelt.

3.5 Vergelijking resultaten Hydra-K met Hydra-Ring

Onderstaand worden Hydra-Ring resultaten vergeleken met Hydra-K resultaten voor dezelfde terugkeertijd. Omdat in Hydra-K geen onzekerheden zijn meegenomen, wordt een vergelijking gemaakt met de Hydra-Ring resultaten zonder onzekerheden.

3.5.1 Lokale waterstanden

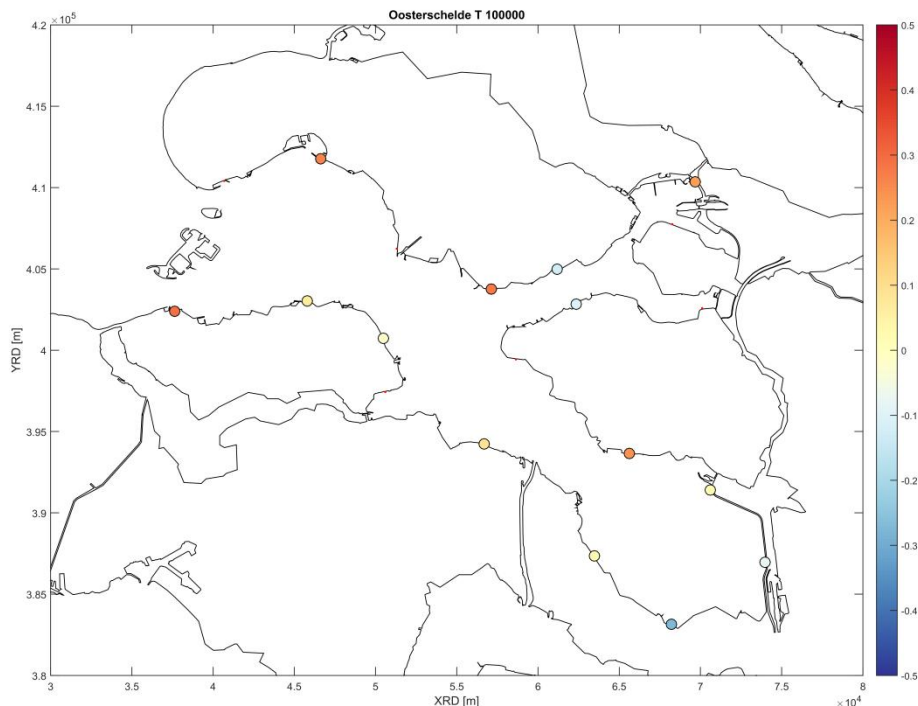
Het algemene beeld aangaande de lokale waterstanden (zie Figuur 3.5) is dat de Hydra-Ring berekening enkele decimeters (tot ca. 0,5 m) lagere waterstanden oplevert dan Hydra-K. Het wijzigen van de beschouwde faalscenario's en bijbehorende kansen heeft, zoals eerder genoemd, significant invloed op de waterstanden en is dan ook een aannemelijke verklaring voor de waargenomen verschillen. Met name het vervangen van volledig falen door verschillende configuraties van gedeeltelijk falen en het gebruik van een andere onderliggende database.



Figuur 3.5 Verschil tussen waterstanden Hydra-Ring en Hydra-K voor een terugkeertijd van 100.000 jaar.

3.5.2 Golfhoogte

In Figuur 3.6 worden de verschillen in golfhoogte weergegeven. Het beeld is gemengd, hetgeen waarschijnlijk wordt veroorzaakt door de wijzigingen in statistiek van de windsnelheid en de windrichting. Afhankelijk van welke windrichting belangrijk is op een bepaalde locatie zal de golfhoogte toe- dan wel afnemen. Neem bijvoorbeeld de locatie in het noordoostelijke uiteinde van het Krammer. De dominante windrichting voor de golfhoogte is 240°N. In Figuur 2.2 is te zien dat voor die windrichting inderdaad een toename in windsnelheid voor hoge terugkeertijden is te zien, hetgeen overeenkomt met de toename in golfhoogte in Figuur 3.6. De verschillen tussen Hydra-Ring en Hydra-K blijven beperkt tot enkele decimeters (uiterste waarde zijn -2 en +3 dm).

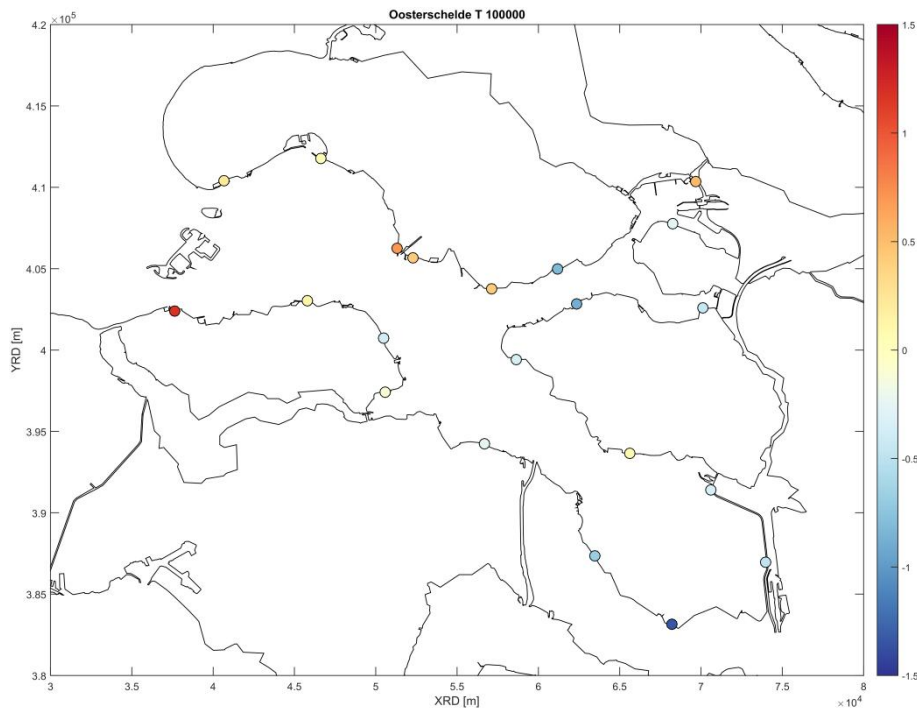


Figuur 3.6 Verschil tussen golfhoogtes Hydra-Ring en Hydra-K voor een terugkeertijd van 100.000 jaar.

3.5.3 HBN

Ook de verschillen in HBN (zie Figuur 3.7) geven een wisselend beeld, hetgeen te verwachten is gegeven dat er voor de golfhoogte ook een wisselend beeld wordt waargenomen. Merk op dat er in Hydra-K en Hydra-Ring beiden een 1-op-3 profiel gebruikt is, dus dat kan geen bron van verschillen zijn. Omdat zowel waterstand als golven bepalend zijn voor het HBN, neemt de grootte van de verschillen ook toe tot soms meer dan 1 m, bijvoorbeeld voor de locatie direct naast de zuidelijke punt van de Oosterschelde kering. Op dezelfde locatie is in Figuur 3.5 te zien dat er een daling van ca. 3 dm in waterstand is, maar in Figuur 3.6 is een stijging van ca. 4 dm in golfhoogte te zien. Ter illustratie, een verandering in de golfhoogte telt vaak grofweg met een factor 2,5 door in golfoploop en dus ook in het HBN. Hiermee is het aannemelijk dat dit, tezamen met veranderingen in golfperiode (hier niet beschouwd, maar het is aannemelijk dat deze toeneemt net als de golfhoogte), leiden tot de waargenomen toename in het HBN.

Anderzijds is er in het zuidwestelijke puntje van de Oosterschelde bij Rilland een flinke afname in het HBN. Deze afname is congruent met de flinke afname in waterstand en golfhoogte, zoals te zien in Figuur 3.5 en Figuur 3.6.

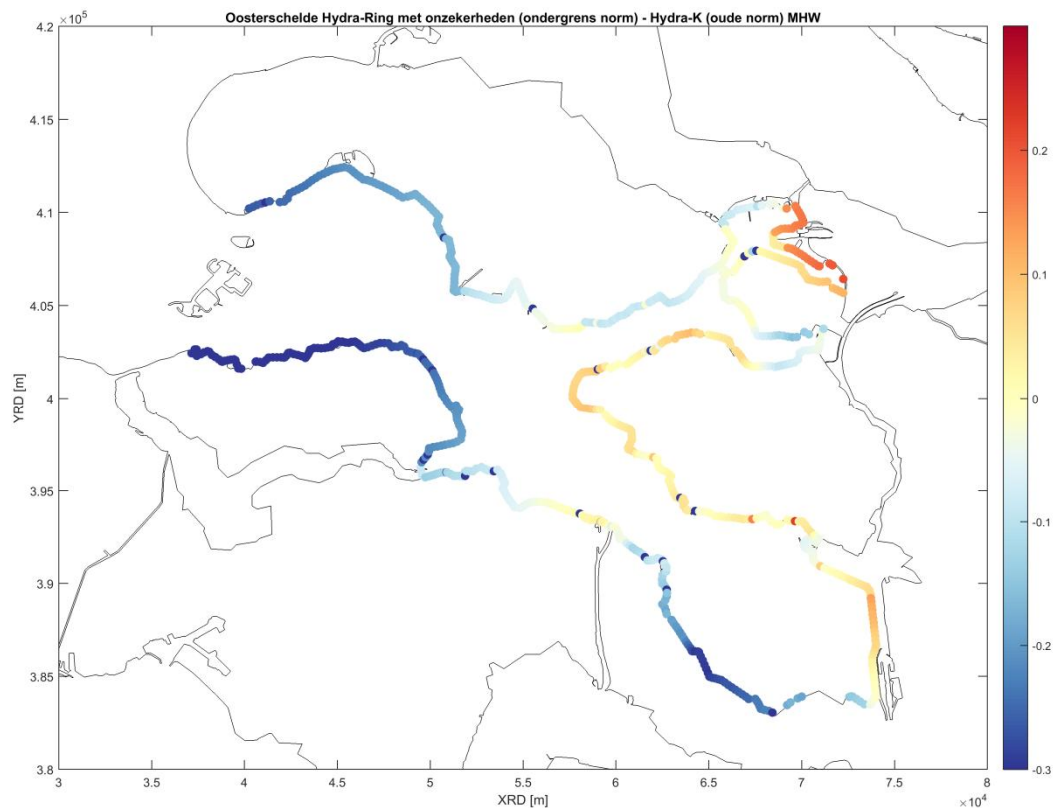


Figuur 3.7 Verschil tussen HBN Hydra-Ring en Hydra-K voor een terugkeertijd van 100.000 jaar.

3.6 Vergelijking bij oude en nieuwe norm

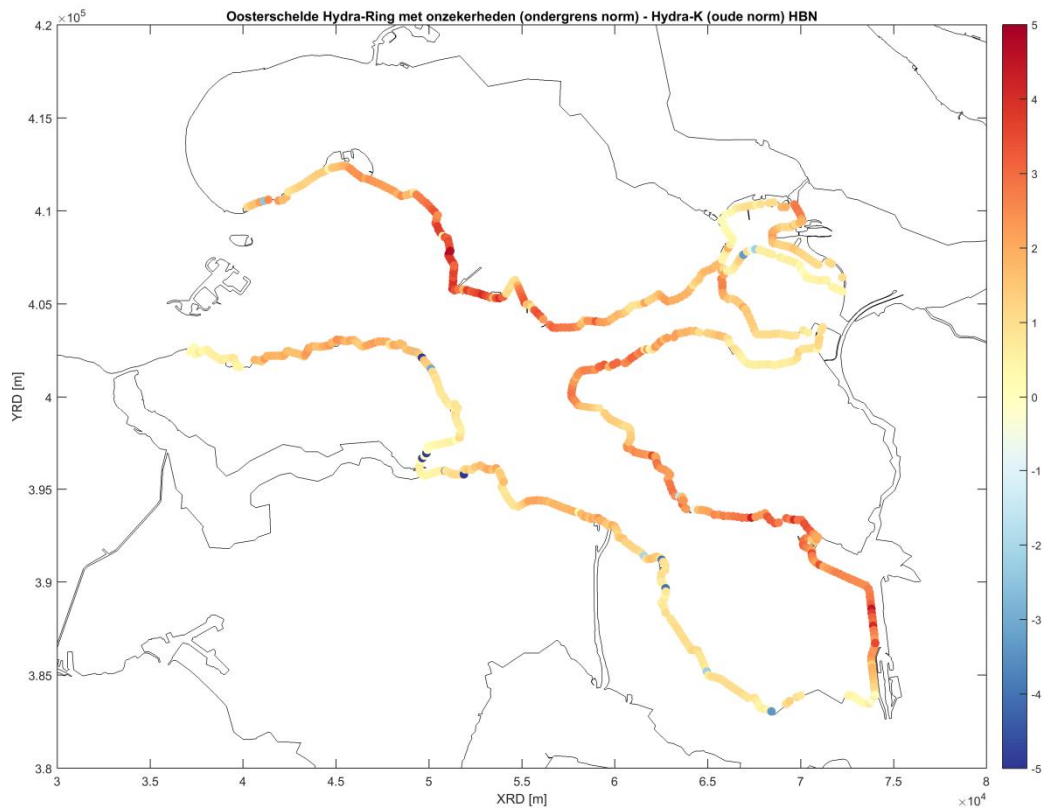
In voorgaande paragrafen zijn de resultaten van Hydra-Ring vergeleken met die van Hydra-K bij een gelijkblijvende herhalingstijd. In Figuur 3.8 en Figuur 3.9 worden respectievelijk de lokale waterstand en het HBN uit Hydra-Ring met onzekerheden bij de nieuwe norm (maximaal toelaatbare faalkans, niet signaleringskans) vergeleken met de Hydra-K uitkomsten bij de oude norm. Merk hierbij op dat de getalswaarde van de norm gewijzigd is van 1/4.000 per jaar naar tussen de 1/300 per jaar en 1/10.000 per jaar, afhankelijk van het beschouwde traject. Daarnaast wordt er nu in de norm waarbij het HBN wordt berekend ook rekening gehouden met het lengte-effect (factor 2) en de reservering in de faalkansbegroting (24%) waar dat eerst niet het geval was. Dat zorgt voor grofweg een factor 8 strengere normen, uitgaande van een gelijkblijvende getalswaarde.

In Figuur 3.8 is te zien dat de verschillen in waterstand beperkt blijven tot enkele decimeters. De grootste verschillen komen overeen met de trajecten waar de norm veel soepeler (Noord-Beveland en Krabbendijke-Yerseke) of zwaarder (Krammer) is geworden. De onregelmatigheden (donkerblauwe stippen) in de figuur worden veroorzaakt door uitschieters in het Hydra-K resultaat, waar het Hydra-Ring resultaat wel een glad verloop vertoont (zoals ook te zien is in Figuur 4.1).



Figuur 3.8 Ruimtelijke verdeling van het verschil tussen lokale waterstand berekend met Hydra-Ring (met onzekerheden) bij de nieuwe norm en met Hydra-K bij de oude norm.

In Figuur 3.9 is te zien dat het HBN vrijwel overal in de Oosterschelde hoger uitvalt of gelijk blijft ten opzichte van het Hydra-K resultaat. De voornaamste oorzaak hiervan is dat in de Hydra-Ring resultaten de faalkansbegroting en de lengte-effect factor is meegenomen. Daarnaast moet men bij de absolute waarden in de figuur bedenken dat voor zowel de Hydra-K als de Hydra-Ring berekeningen gebruik is gemaakt van een fictief 1-op-3 profiel met een kritiek overslagdebiet van 1 l/m/s. Bij gebruik van een werkelijk profiel en hoger kritiek overslagdebiet zal het HBN berekend met Ringtoets veelal lager uitvallen. Voor de uitschieters in de figuur geldt wederom dat er onregelmatigheden zijn in de Hydra-K resultaten.

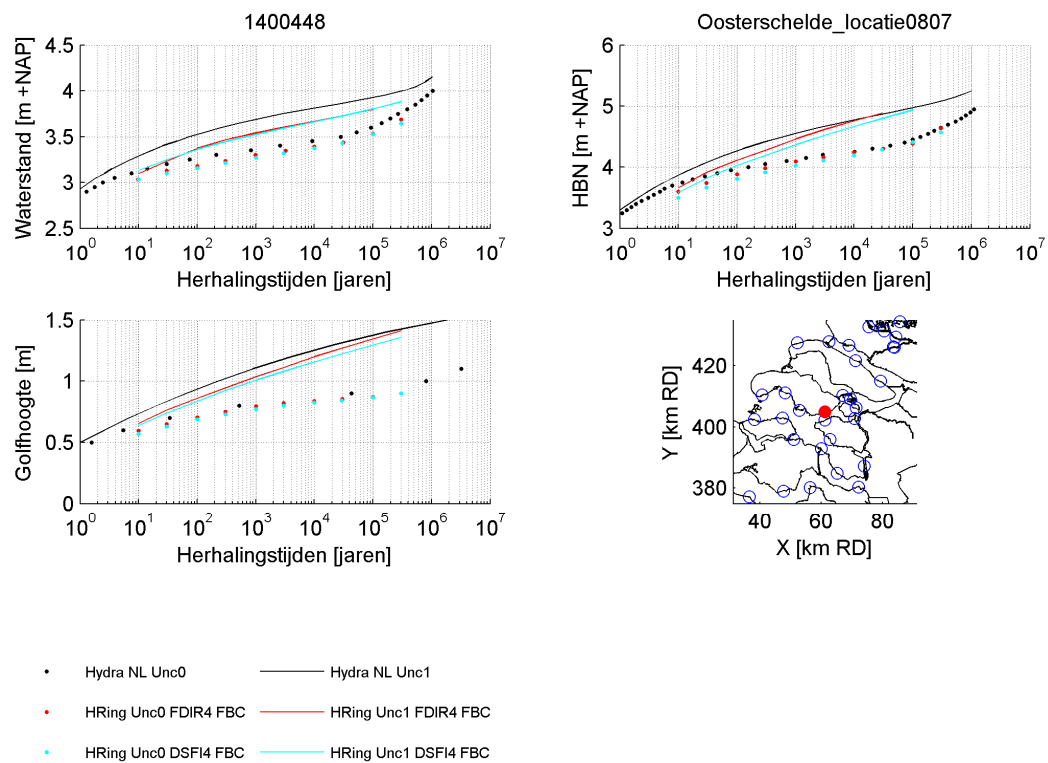


Figuur 3.9 Ruimtelijke verdeling van het verschil tussen HBN berekend met Hydra-Ring (met onzekerheden) bij de nieuwe norm en met Hydra-K bij de oude norm.

3.7 Vergelijking met Hydra-NL

Ten behoeve van de definitieve vaststelling van de rekeninstellingen voor de HB is in Deltares (2017b) ook een vergelijking gemaakt met Hydra-NL. Hieruit blijkt dat de Hydra-Ring resultaten doorgaans enkele decimeters onder het Hydra-NL resultaat liggen, zoals te zien is in Figuur 3.10. Deze verschillen worden veroorzaakt door verschillen in de uitgangspunten. In Hydra-NL wordt bijvoorbeeld gerekend met een andere database en andere kansen voor de faalscenario's van de Oosterscheldekering (dus niet de waarden getoond in Tabel 2.2).

Daarnaast wordt in Deltares (2017b) de aanbeveling voor het gebruik van DSFI – zoals ook gedaan in par 3.3 van dit rapport – nogmaals bevestigd.



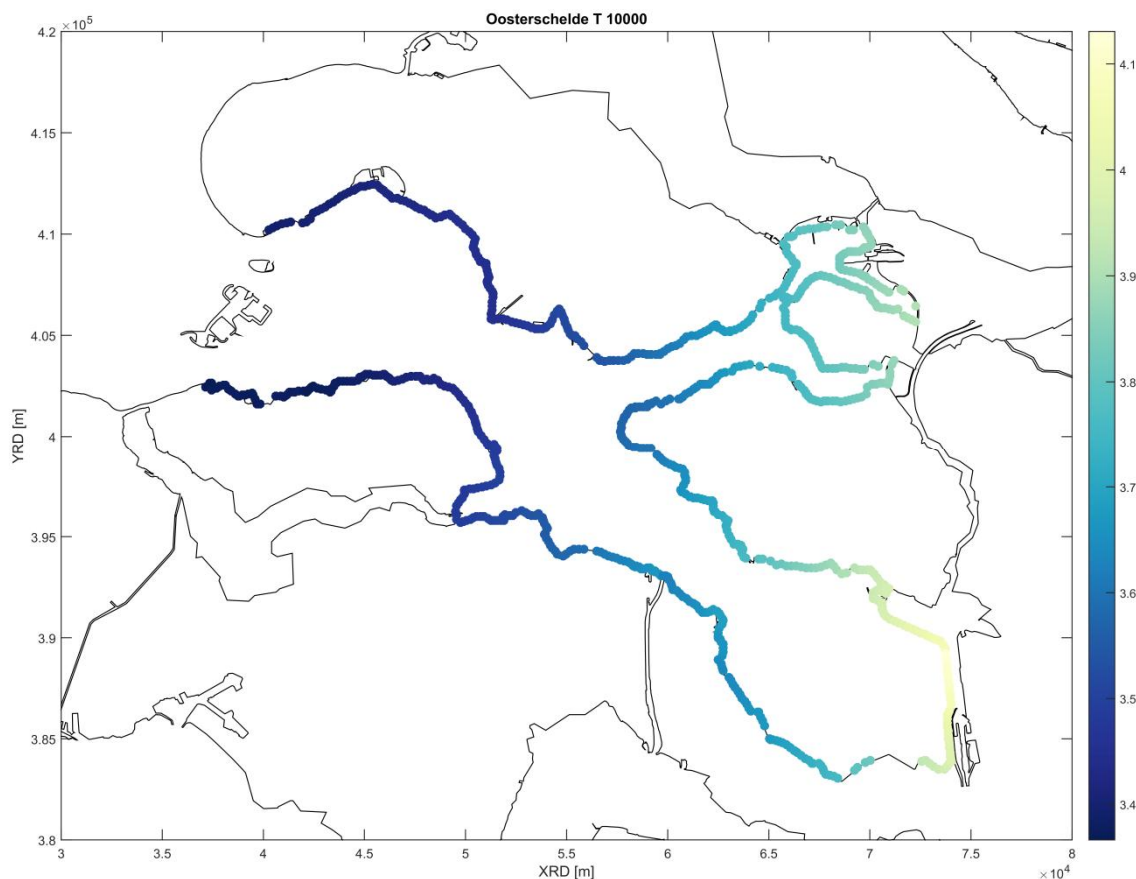
Figuur 3.10 Waterstand, HBN en golfhoogte voor locatie 1400448 in de Oosterschelde.

4 Resultaten HB Oosterschelde

In dit hoofdstuk worden de Hydraulische Belastingen afgeleid met Hydra-Ring voor 7 vooraf gekozen terugkeertijden, te weten; 100, 300, 1.000, 3.000, 10.000, 30.000 en 100.000 jaar. Dit is gedaan voor alle uitvoerlocaties binnen het watersysteem Oosterschelde (met uitzondering van de Q-Variant) en hierbij zijn onzekerheden meegenomen.

4.1 Rekenresultaten lokale waterstanden

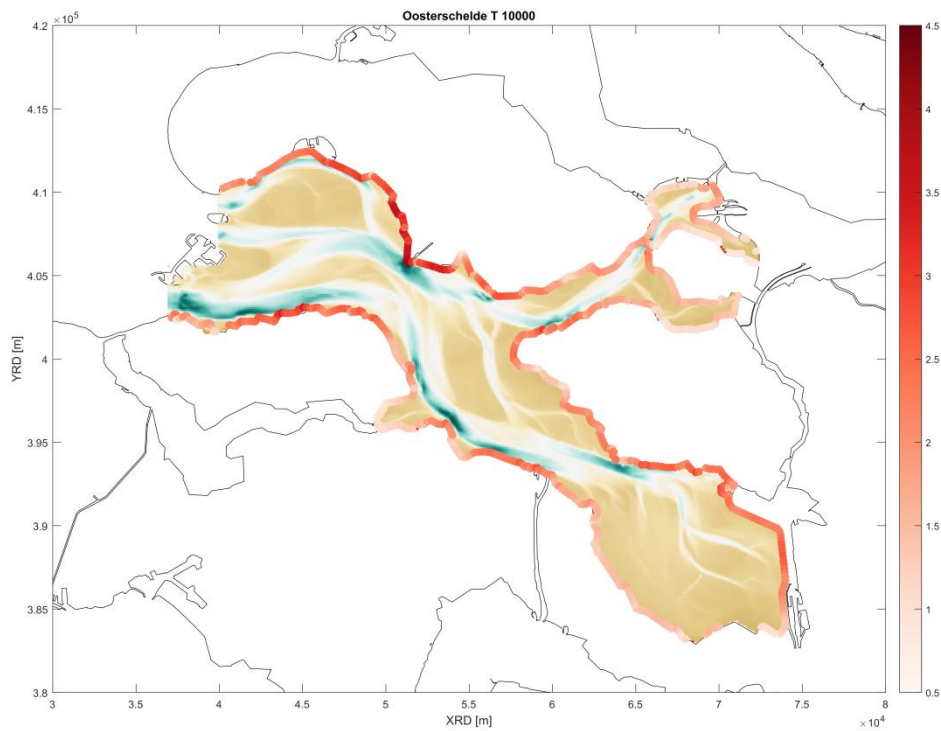
In Figuur 4.1 worden de waterstanden met een terugkeertijd van 10.000 jaar weergegeven. Er is een duidelijk patroon te zien met lagere waterstanden dichtbij de kering en hogere waterstanden in de uiteinden van het bekken, met name aan de zijde van de Oesterdam, maar ook in het Krammer en de Krabbenkreek. Dit patroon is ook representatief voor de overige beschouwde terugkeertijden. In de ontwerpfuncties is te zien dat de westelijke windrichtingen dominant zijn, hetgeen overeenkomt met hogere waterstanden in de oostelijke uiteinden van het bekken. De lokale waterstanden voor alle terugkeertijden zijn opgenomen in Appendix B.



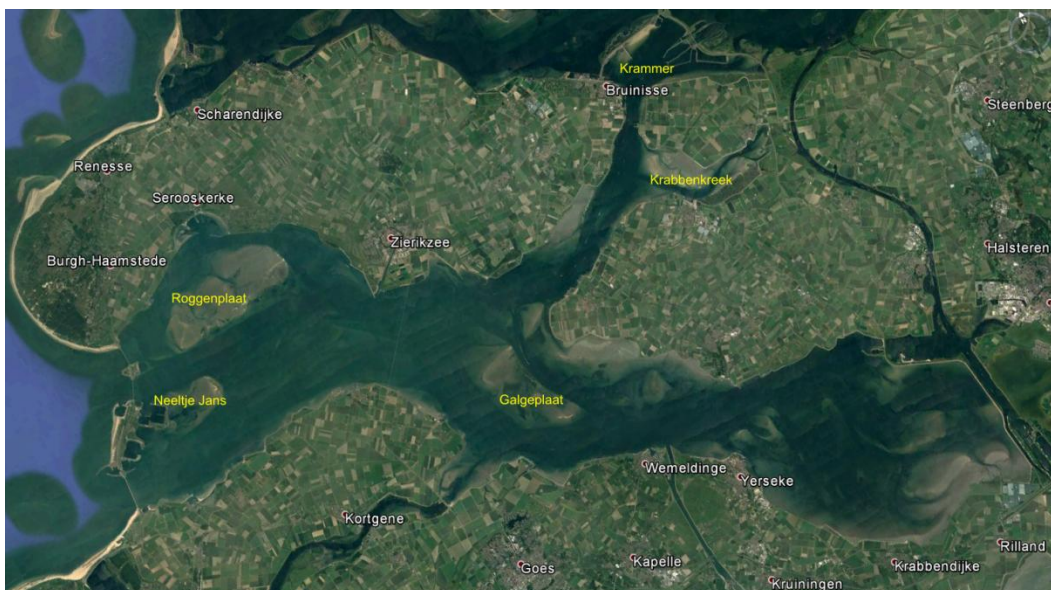
Figuur 4.1 MHW resultaten voor een terugkeertijd van 10.000 jaar.

4.2 Rekenresultaten golfhoogte

In Figuur 4.2 worden de significante golfhoogtes met een terugkeertijd van 10.000 jaar weergegeven. De meest opvallende patronen worden veroorzaakt door de aanwezigheid van platen en ondiepten (zie ook Figuur 4.3). Op locaties die afgeschermd worden door platen is de golfhoogte beperkt, zoals ten noorden van de Roggenplaat. Veruit de grootste golfhoogtes zijn te vinden ten zuidwesten van Zierikzee. De golfhoogtes voor alle terugkeertijden zijn opgenomen in Appendix C.



Figuur 4.2 H_s resultaten voor een terugkeertijd van 10.000 jaar, incl. de gebruikte SWAN bodem schematisatie.



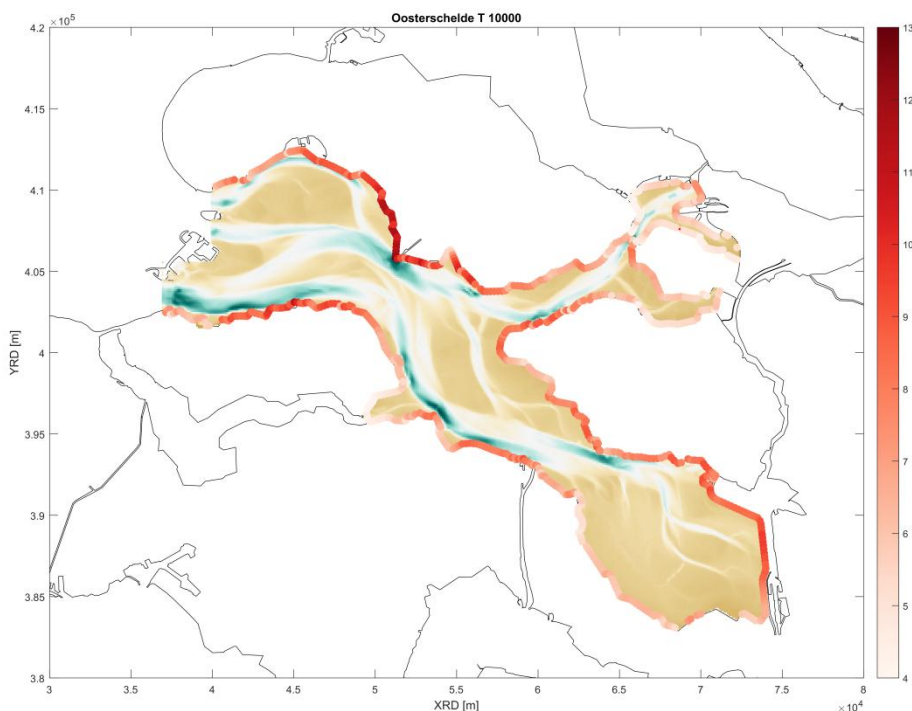
Figuur 4.3 Luchtfoto (Google Earth) van de Oosterschelde met de namen van enkele platen aangegeven.

4.3 Rekenresultaten HBN

Net als bij de golfhoogte speelt ook bij het HBN dat de invloed van de in de Oosterschelde aanwezige platen en ondiepten duidelijk in de resultaten is terug te zien (zie Figuur 4.4). Daarnaast is het effect van de oriëntatie van de dijknormaal zichtbaar. De locaties met een grofweg westelijk georiënteerde dijknormaal vertonen over het algemeen een hoger HBN dan locaties met een andere oriëntatie. Dit effect is bijvoorbeeld zichtbaar langs de kop van Noord-Beveland, waar het HBN afneemt naarmate de dijknormaal meer oostelijk georiënteerd is. Let op: de getalswaarden voor het HBN vallen vrij hoog uit omdat er vrij conservatieve aannames worden gebruikt (overslagdebiet van 1 l/s/m en profiel met een 1:3 talud).

Het effect van de aanwezigheid van platen op het HBN is goed te zien bij het dijktraject tussen Wemeldinge en Yerseke. Bij dit traject veroorzaakt een ondiepte voor de dijk een duidelijk lager HBN dan bij het naastgelegen dijktraject westelijk van Wemeldinge (al zit er ook een bescheiden verloop in de oriëntatie van de dijknormaal).

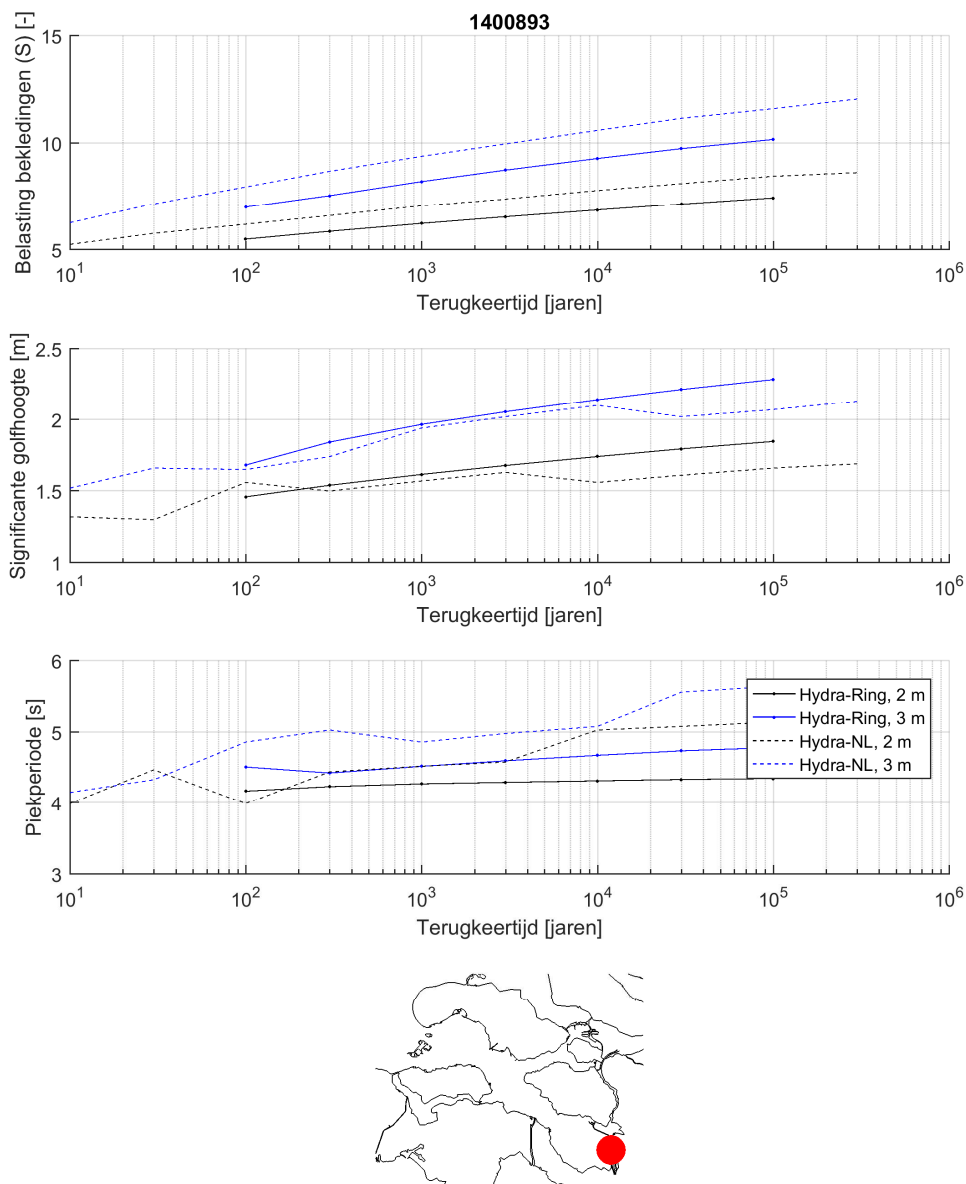
Daarnaast speelt de beschikbare strijklengte een rol. Wanneer deze beperkt is, zoals in het Krammer of de Krabbenbeek, zullen ook voor de westelijk georiënteerde locaties een relatief laag HBN gevonden worden. Zeker vergeleken met andere westelijk georiënteerde locaties met een grote strijklengte, zoals het traject ten westen van Zierikzee. Het HBN voor alle terugkeertijden is opgenomen in Appendix D.



Figuur 4.4 HBN resultaten voor een terugkeertijd van 10.000 jaar en een overslagdebiet van 1 l/s/m voor een 1:3 talud, incl. de gebruikte SWAN bodem schematisatie.

4.4 Rekenresultaten golfbelasting op bekledingen (Q-Variant)

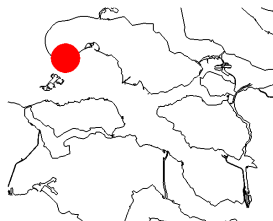
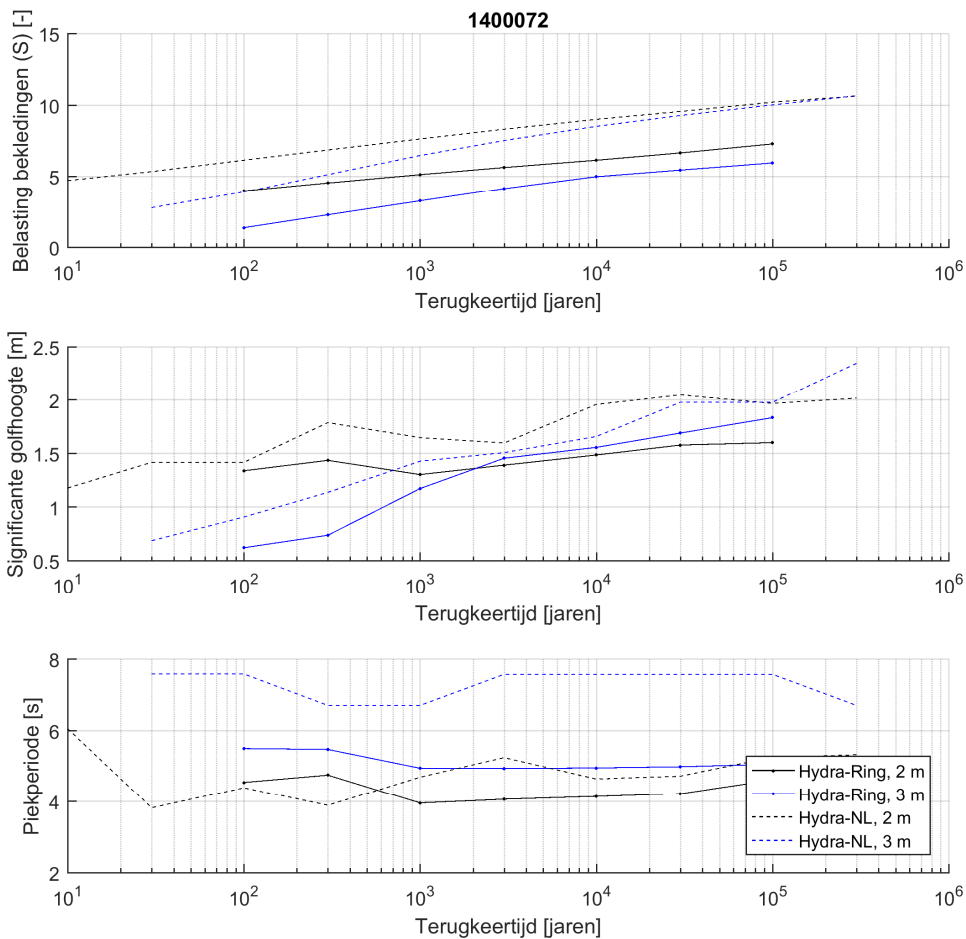
Voor 2 locaties is de golfbelasting op bekledingen berekend, gegeven een bepaalde waterstand. Er zijn drie waterstanden gekozen. Vervolgens wordt een berekening uitgevoerd van de kans op optreden van een bepaalde golfbelasting, gegeven deze waterstand. De golfbelasting wordt voor deze berekening uitgedrukt in een S-waarde, een combinatie van golfhoogte en golfperiode. De resultaten voor deze locaties zijn weergegeven in Figuur 4.5 en Figuur 4.6. Voor de locatie Oesterdam (zie Figuur 4.5) is te zien dat voor hogere waterstanden ook een grotere golfbelasting op de bekleding (hogere waarde voor de belastingparameter S) gevonden wordt voor dezelfde terugkeertijd. Dit betekent dat de situaties die voor hoge waterstanden zorgen tegelijkertijd ook zorgen voor een grote golfbelasting. Dit kan uitgelegd worden aan de hand van de ligging van de locatie en de oriëntatie van de dijknormaal. De locatie ligt achterin het bekken, waar hoge waterstanden optreden bij westenwind. De oriëntatie van de dijknormaal is ook ongeveer westelijk, zodat de golfinval ook nagenoeg recht is. Dit leidt tot een grote golfbelasting.



Figuur 4.5 Resultaten Q-Variant voor de locatie Oesterdam

De locatie bij de Oosterscheldekering (zie Figuur 4.6) vertoont daarentegen een omgekeerde trend; een hogere waterstand leidt tot een lagere belasting voor dezelfde terugkeertijd. Door de oostelijke oriëntatie van deze locatie geven combinaties die tot hoge waterstanden leiden enigszins kleinere golven (bij lagere terugkeertijden) en een lagere golfbelasting.

Merk op dat bij berekening van de golfbelasting op bekledingen in Hydra-Ring dat er uiteindelijk alleen wordt geoptimaliseerd op basis van de getalswaarde van de belastingparameter S en niet direct op de parameters waaruit de S wordt berekend (Golfhoogte, -periode en hoek van inval en bijbehorende onzekerheden). Wanneer meerdere parametercombinaties dezelfde S waarde geven en (ongeveer) even waarschijnlijk zijn, zijn er meerdere (bijna) identieke ontwerppunten wat mogelijk een grillig verloop veroorzaakt.



Figuur 4.6 Resultaten Q-Variant voor locatie bij de Oosterscheldekering.

4.5 Rekentijden

In Tabel 4.1 wordt een indicatie gegeven van de geobserveerde rekentijden bij het afleiden van de Hydraulische Belastingen in dit rapport. Merk hierbij op dat rekentijden sterk afhankelijk zijn van de gebruikte hardware, het type berekening en de gekozen rekentechniek. In dat licht dienen de gepresenteerde rekentijden slechts als grove indicatie.

Tabel 4.1 Overzicht geobserveerde rekentijden voor de verschillende Hydraulische Belastingen.

Type HB	Rekentechniek	Min	Max	Mediaan
Lokale waterstand	DSFI-FBC	12 min	4 uur	1 uur
Golfhoogte	DSFI-FBC	15 min	21 uur	1.5 uur
HBN	DSFI-FBC	1 uur	27 uur	5 uur
Q-Variant	DIRS-FBC	3 min	1 uur	26 min

Eén van de conclusies uit de bovenstaande tabel is dat de DSFI (Directional Sampling met FORM Iteraties) rekentechniek relatief tijdrovend is. Uit de vergelijking van rekentechnieken in paragraaf 3.3 blijkt dat het veel snellere FORM (First Order Reliability Method) op veel locaties goed presteert, maar incidenteel een instabiel resultaat oplevert. Daarom is toch gekozen voor DSFI voor de Oosterschelde.

5 Conclusies

De in dit rapport afgeleide Hydraulische Belastingen laten patronen zien die aan de verwachtingen voldoen; de lokale waterstanden laten opwaaiing zien in de uiteinden van het bekken (in het Krammer en bij de Oesterdam) en zowel de golfhoogte als het HBN worden sterk gestuurd door de ondieptes in de bodem en de oriëntatie van de dijknormaal. Voor opeenvolgende terugkeertijden (opgenomen in Appendices B t/m D) zijn sterk vergelijkbare patronen te zien. Ook de resultaten van de golfbelasting op bekledingen (Q-Variant) voor een kleine selectie aan locaties laten aannemelijke verlopen van de golfbelasting zien.

De waargenomen verschillen tussen de Hydra-Ring resultaten (zonder onzekerheden) en de Hydra-K resultaten zijn goed te verklaren aan de hand van enerzijds de gewijzigde sluitscenario's en bijbehorende kansen, anderzijds de wijzigingen in de statistiek voor de windsnelheid en windrichting. Uit de vergelijking blijkt dat de waterstanden over de hele Oosterschelde afnemen, terwijl de golfhoogte en het HBN afwisselend af- en toenemen, afhankelijk van de beschouwde locatie. De waargenomen verschillen in HBN zijn congruent met de verklaarde verschillen in waterstand en golfhoogte.

Uit een beschouwing van het gebruik van verschillende rekentechnieken blijkt dat het gebruik van FORM voor een deel van de locaties tot instabiele resultaten leidt. DSFI biedt een stabiel maar rekenintensief alternatief dat voor de berekeningen in dit rapport gebruikt is. Deze aanbeveling is in overeenstemming met de bevindingen van Deltares (2017b).

Referenties

Deltares, 2017a. Aanpassing statistiek Hydra-Ring en analyse overgang watersystemen. Auteurs: Houcine Chbab en Joost Beckers. Rapport 1230087-011-HYE-0004.

Deltares, 2017b. Vaststelling van rekeninstellingen voor Hydra-Ring berekeningen van Hydraulische Belastingen (concept). Auteurs: Jacco Groeneweg en Joost den Bieman. Rapport 1230087-011-HYE-0001.

Deltares, 2016a. Basisstochasten WTI-2017 – Statistiek en statistische onzekerheid. Auteur: Houcine Chbab. Rapport 1209433-012-HYE-0007.

Deltares, 2016b. Hydra-Ring 2.0 Probabilistics toolbox for the WTI2017 – Technical Design. Auteur: Wim van Balen. Rapport 1230088-021-DSC-0071.

Deltares, 2015. Modelonzekerheid belastingen – Wettelijk Toetsinstrumentarium WTI-2017. Auteurs: Houcine Chbab en Jacco Groeneweg. Rapport 1209433-008-HYE-0007.

Deltares, 2011. Samenvatting van analyse slachtofferisico's en maatschappelijke kosten-batenanalyse Waterveiligheid. Rapport 1204144-005-ZWS-0002.

Diermanse et al., 2016. Hydra-Ring Scientific Documentation. Deltares & TNO-Bouw. Rapport 1206006-004.

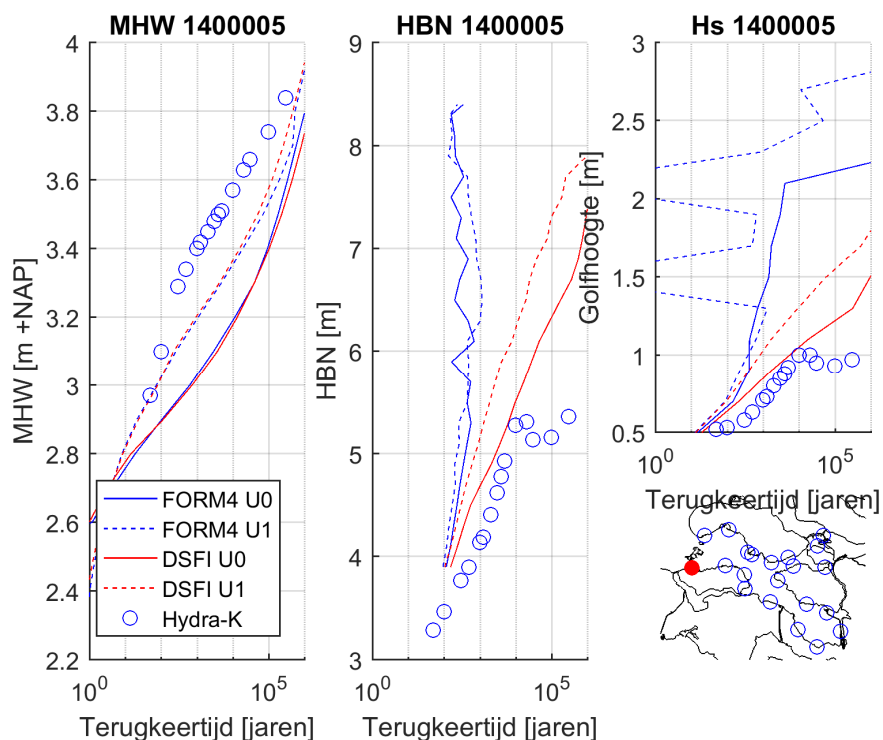
Min. I&M, 2016. Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017. Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen. Rapport Ministerie Infrastructuur en Milieu, versie 22 april 2016.

RWS, 2010. Het gebruik van het model IMPLIC bij het bepalen van de prestatiepeilen Oosterschelde. RWS Zeeland. Auteurs: M. Schrijver, K. Saman en P. Lievense.

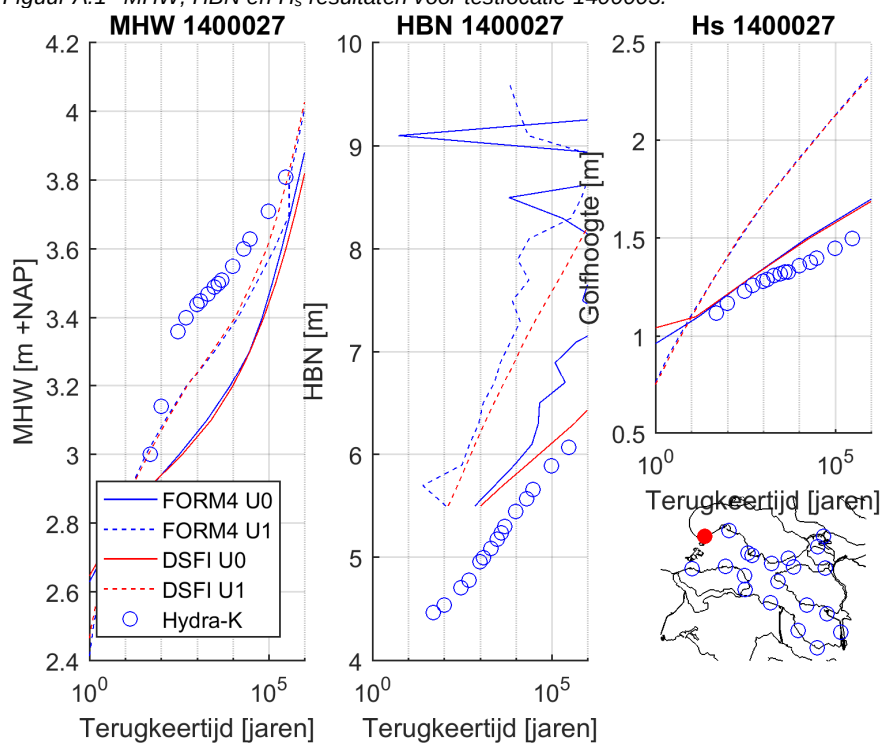
RWS, 2008. Prestatiepeilen Oosterschelde. RWS Bouwdienst. Auteur: S. van Manen.

Vrouwenvelder, A.C.W.M., Steenbergen, H.M.G.M en Diermanse, F.L.M. 2003. Belastingmodellen Westerschelde en Waddenzee. Vergelijking Hydra-K en PC-Ring (inclusief resultaten aanvullende studie).

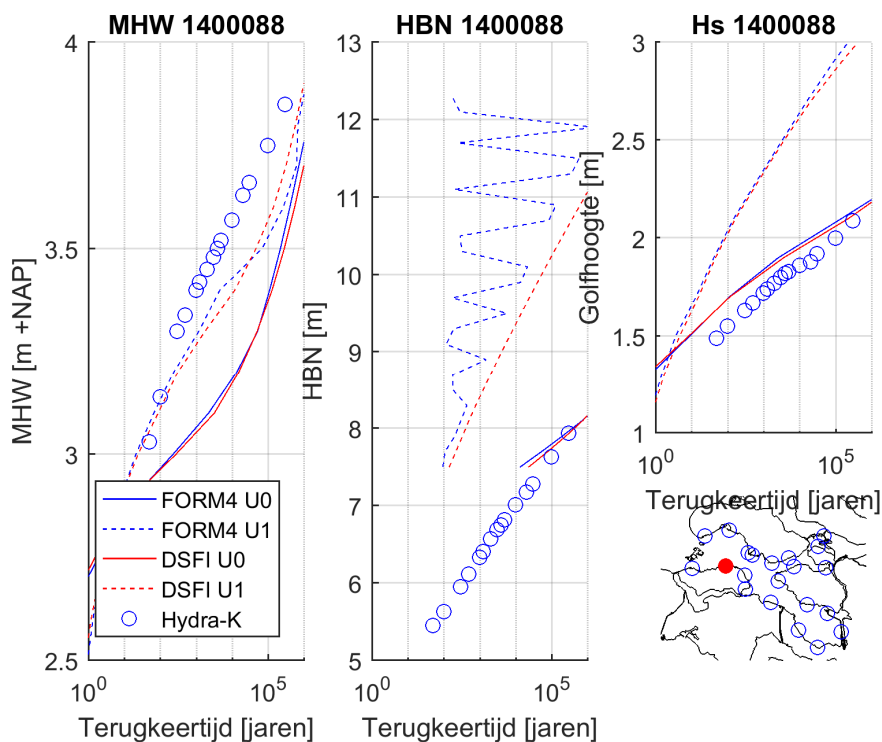
A Resultaten testlocaties



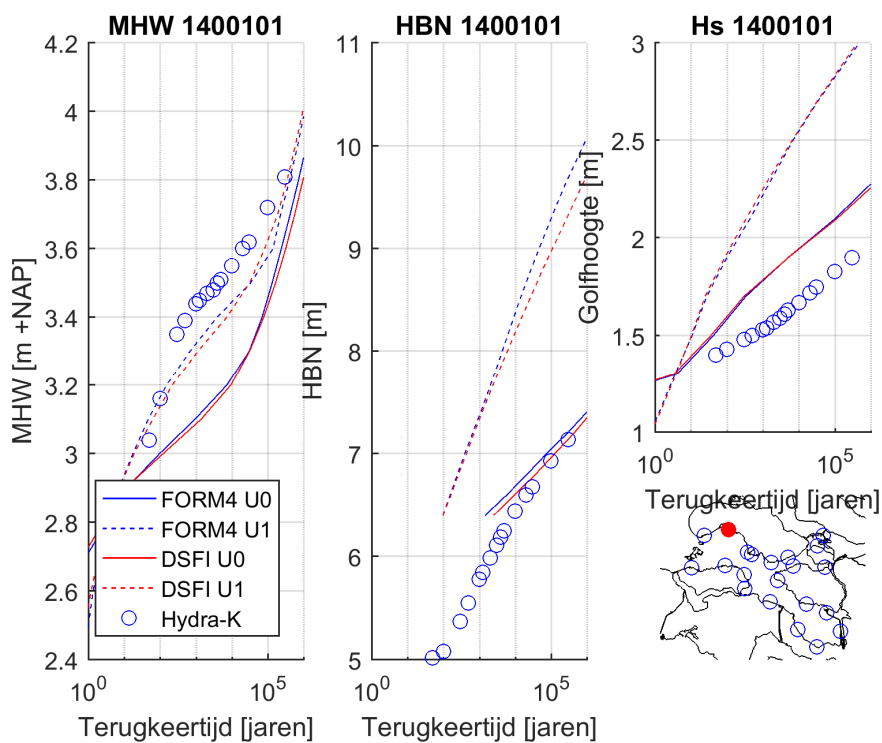
Figuur A.1 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400005.



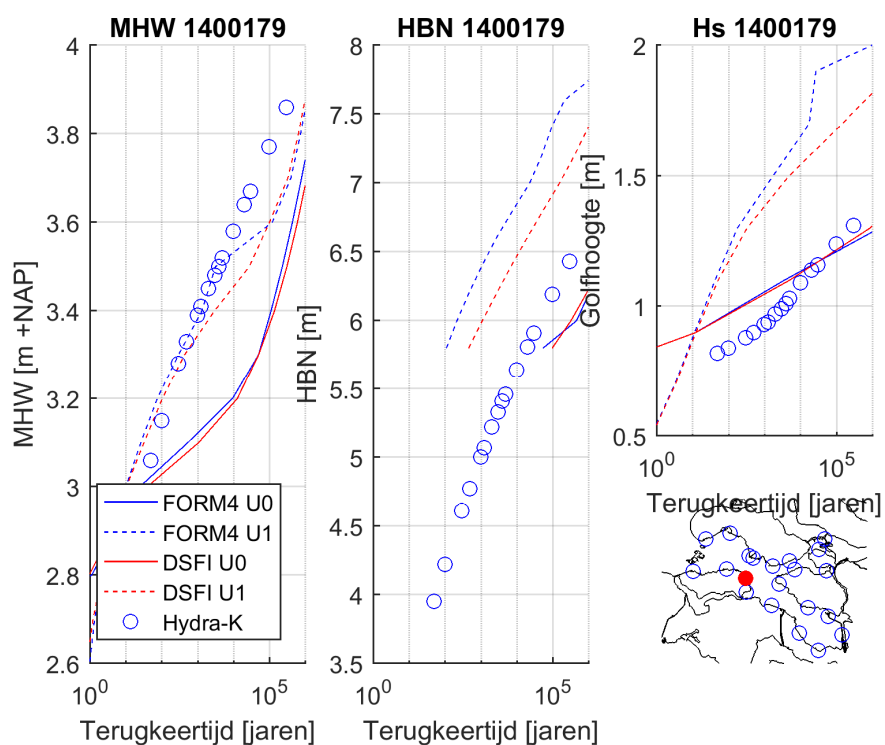
Figuur A.2 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400027.



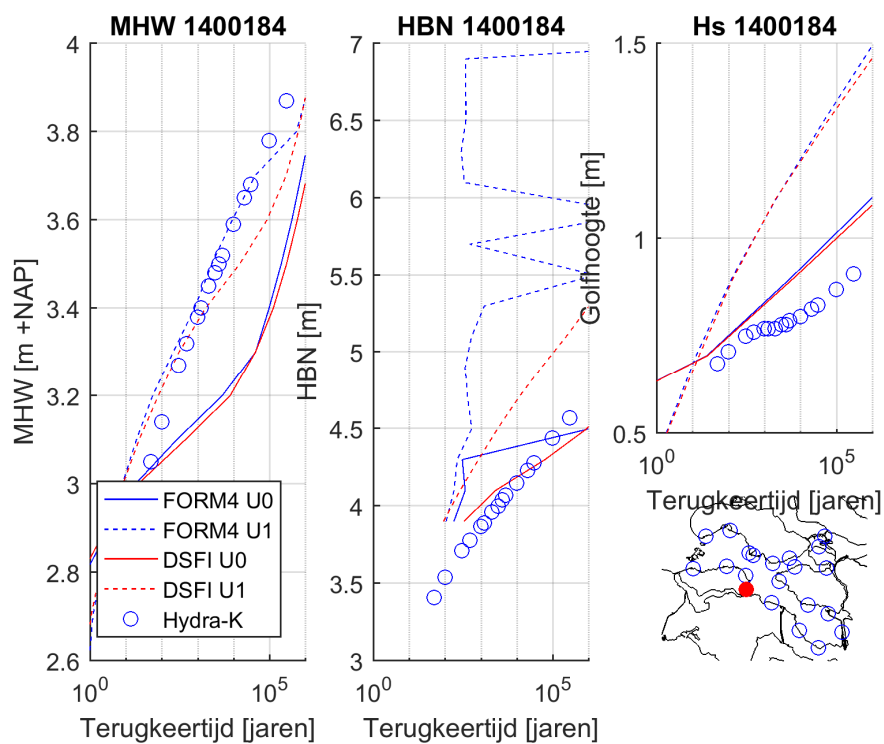
Figuur A.3 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400088.



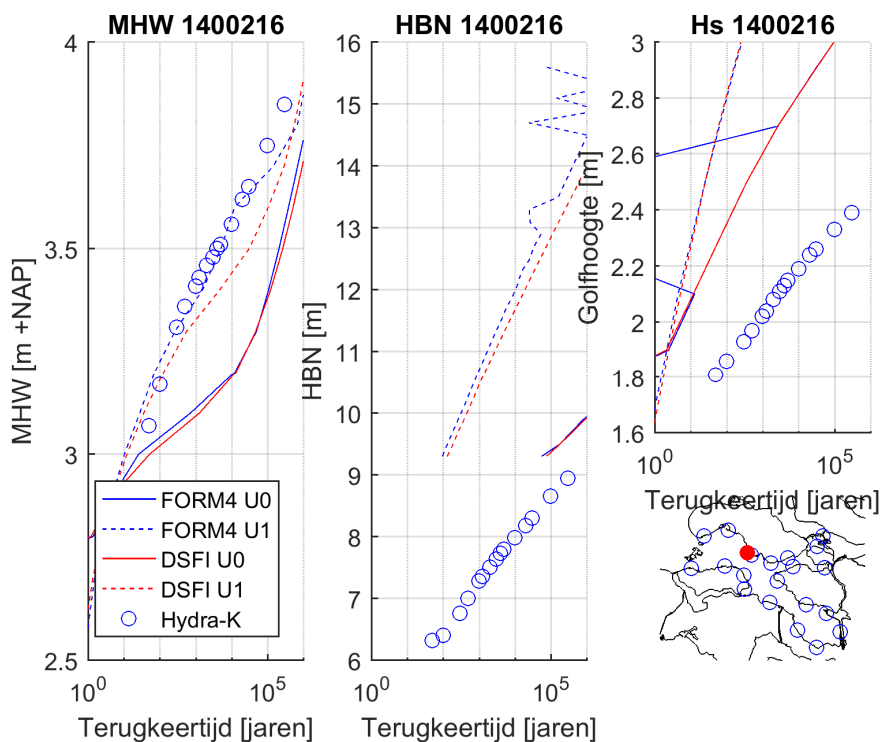
Figuur A.4 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400101.



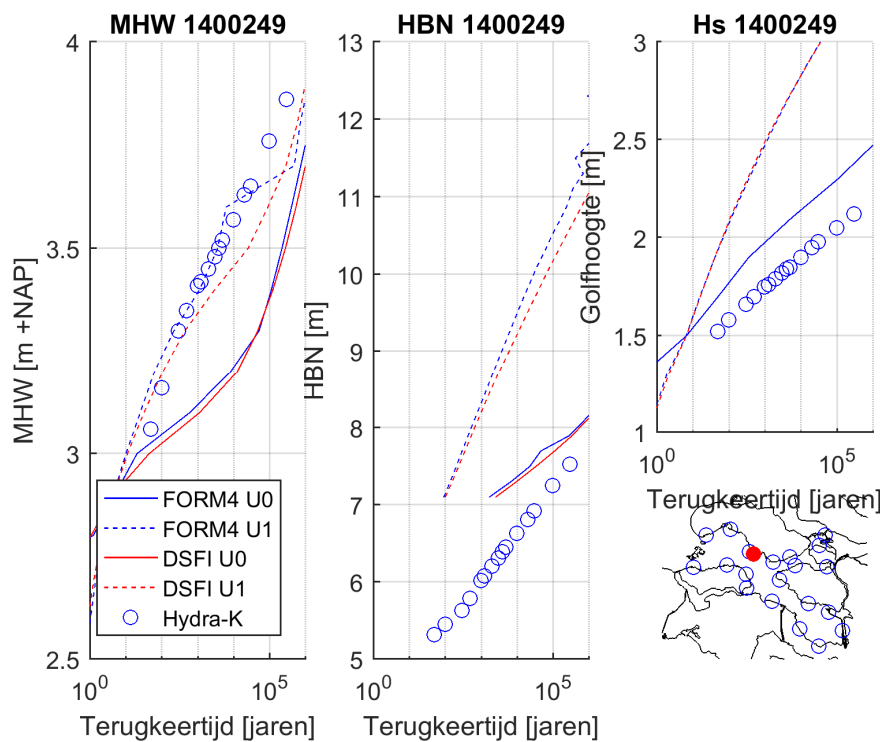
Figuur A.5 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400179.



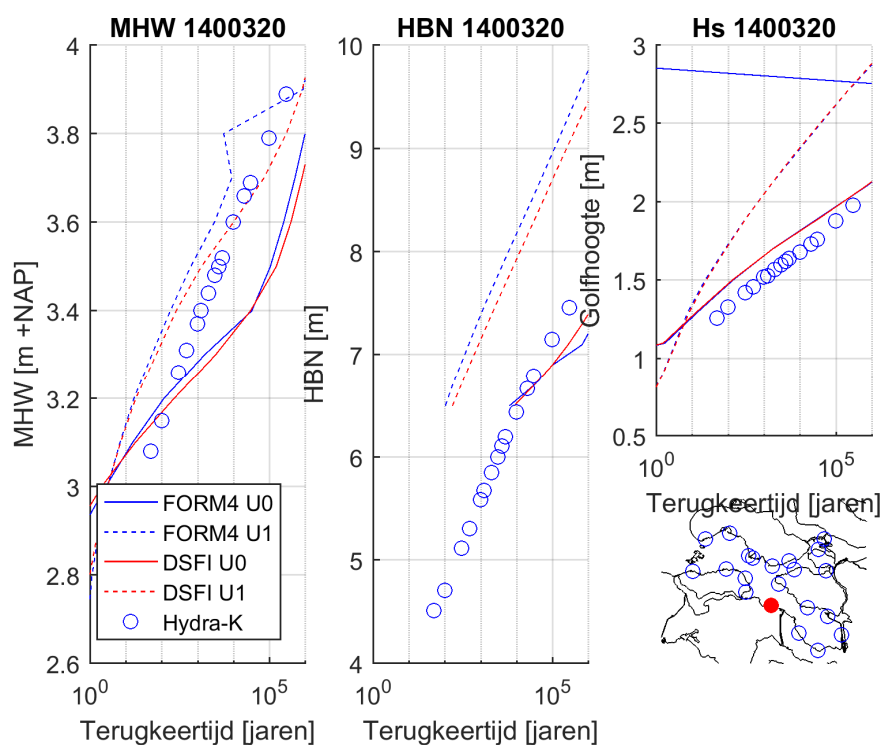
Figuur A.6 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400184.



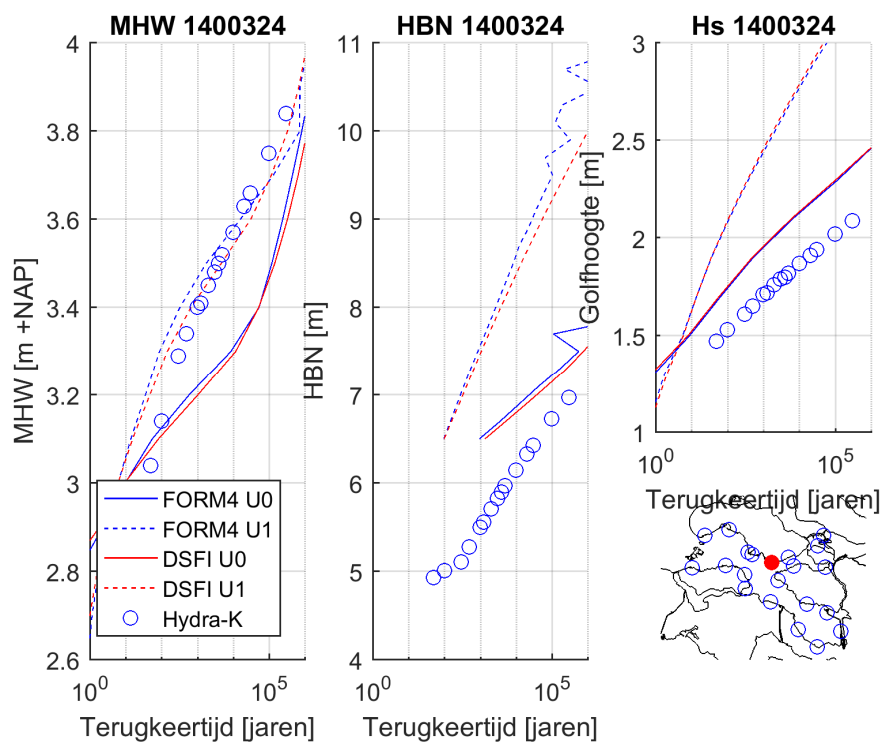
Figuur A.7 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400216.



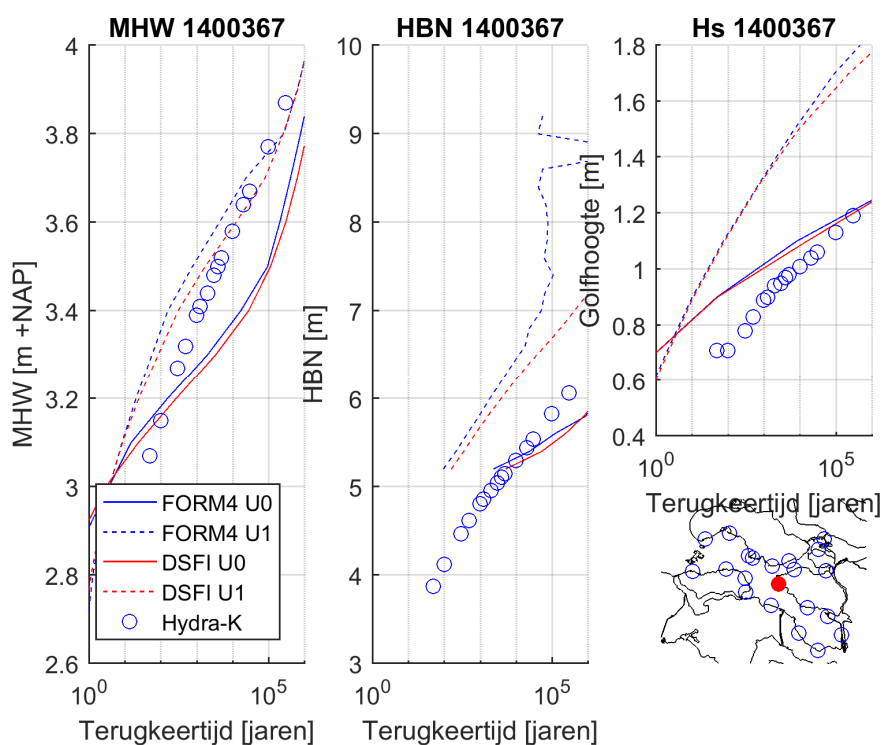
Figuur A.8 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400249.



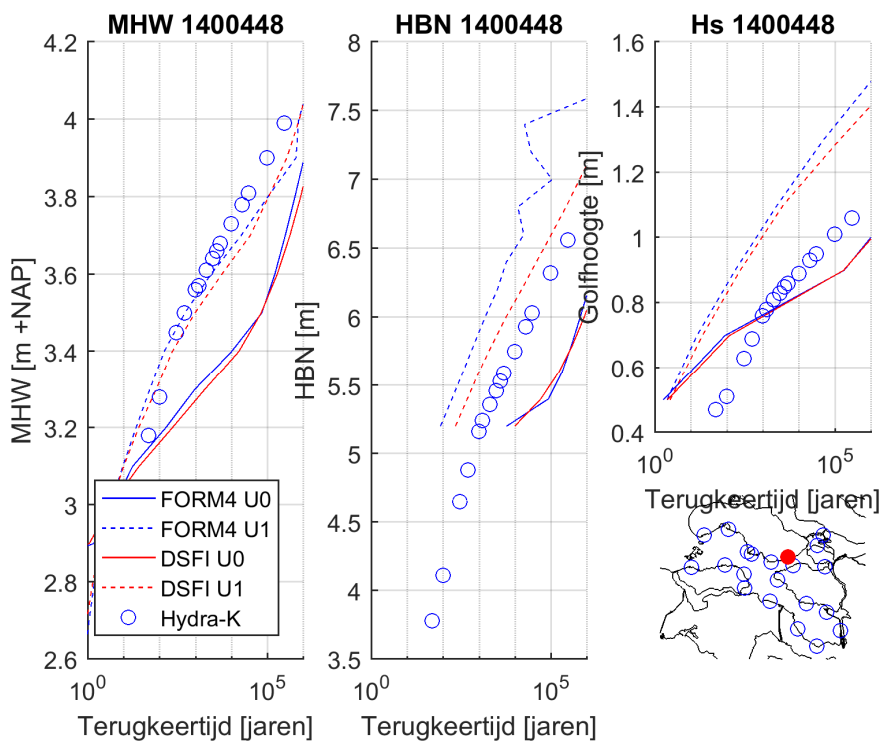
Figuur A.9 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400320.



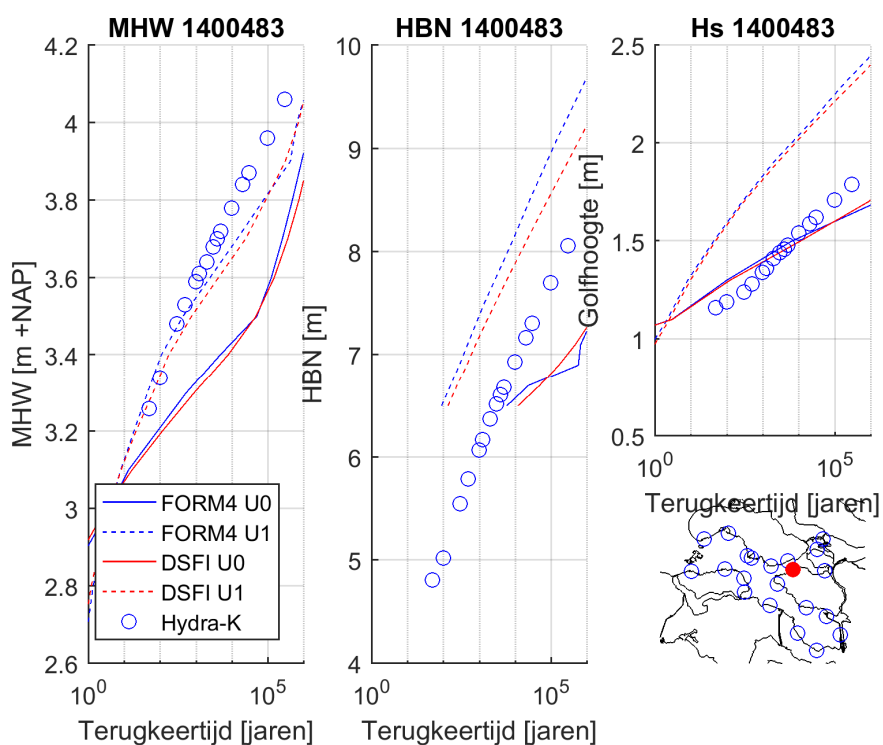
Figuur A.10 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400324.



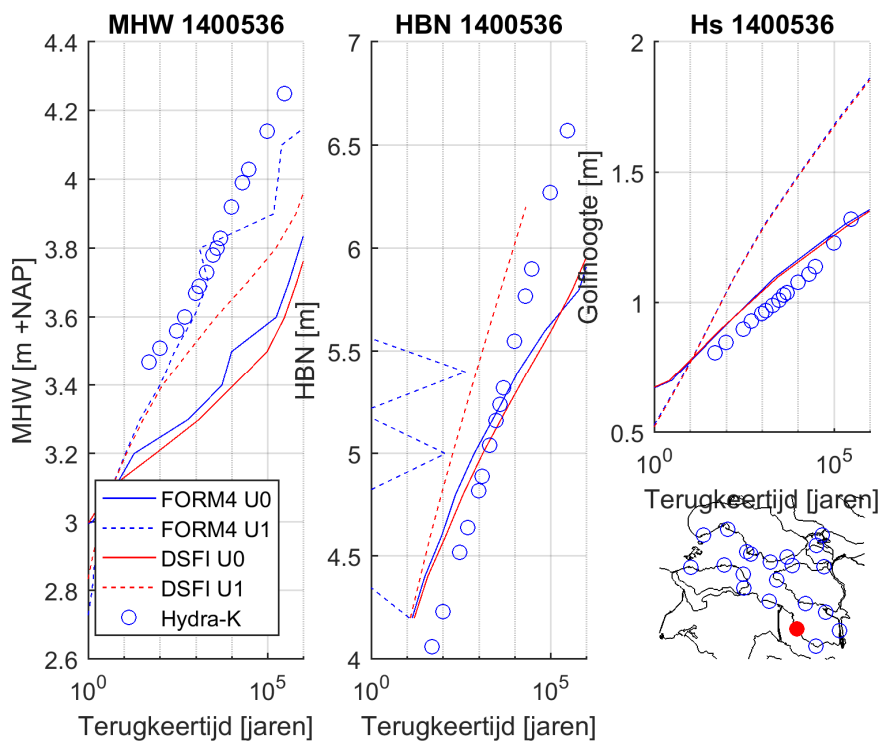
Figuur A.11 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400367.



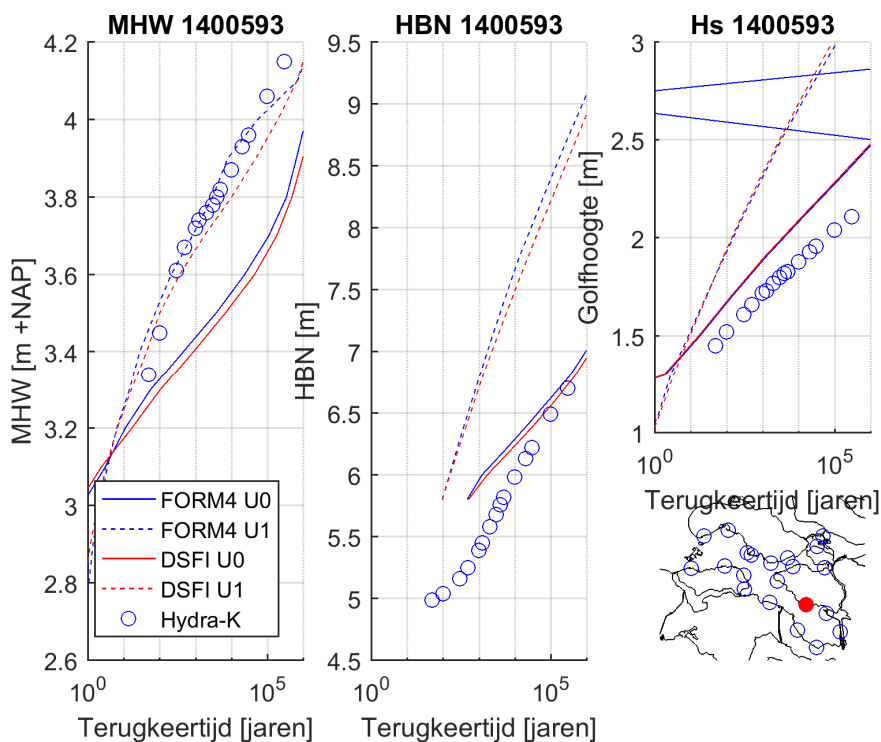
Figuur A.12 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400448.



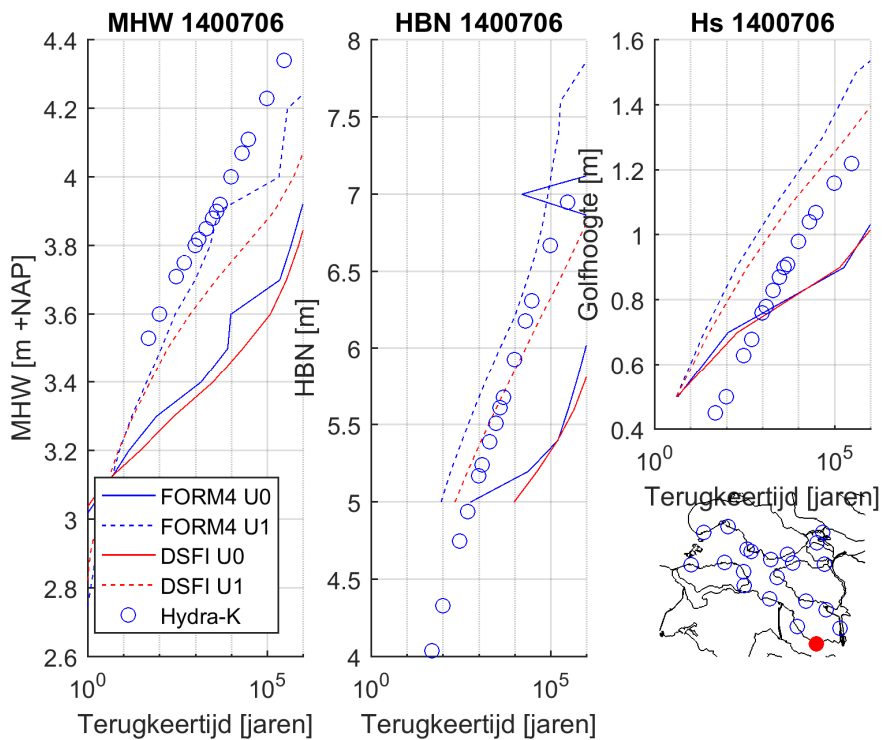
Figuur A.13 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400483.



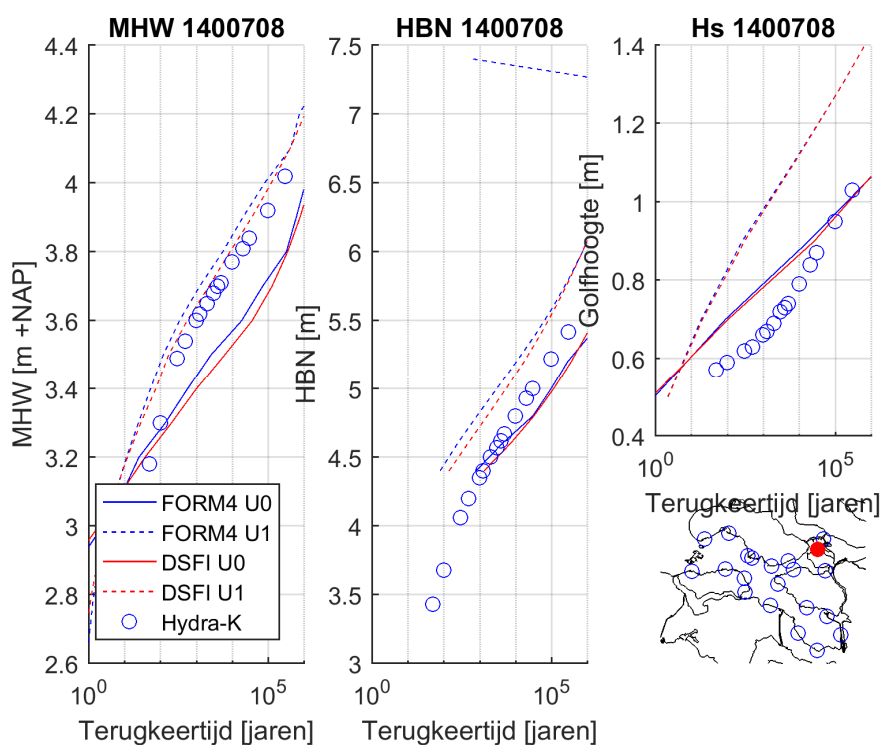
Figuur A.14 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400536.



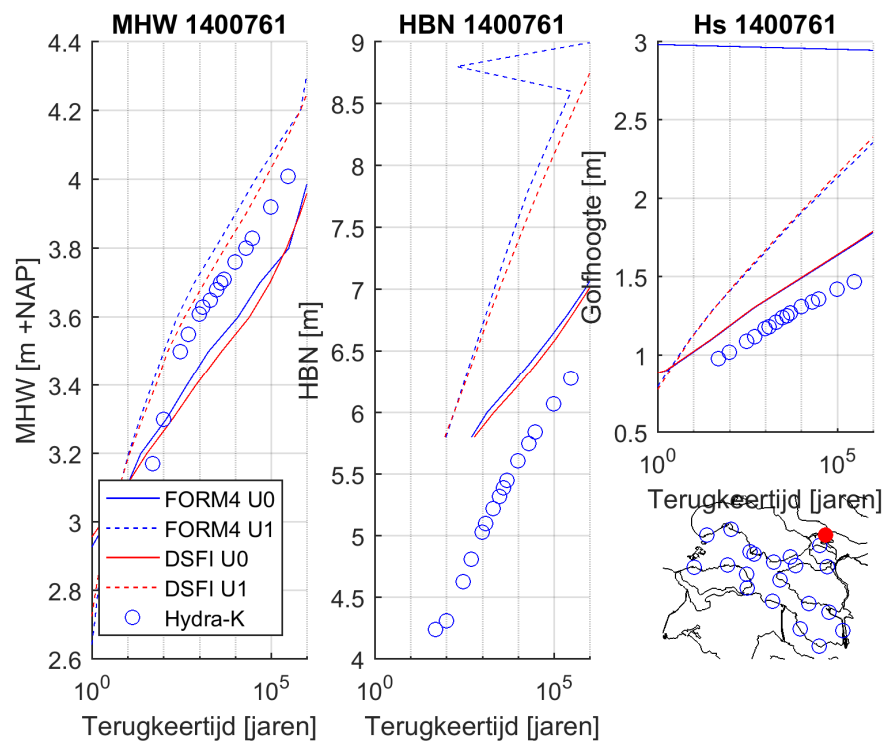
Figuur A.15 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400593.



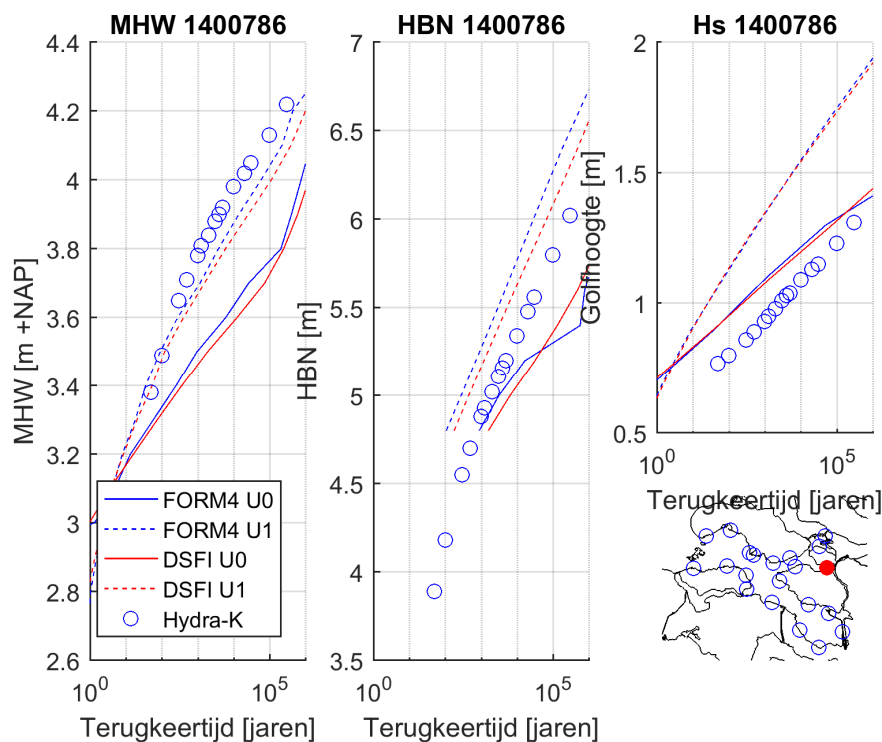
Figuur A.16 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400706.



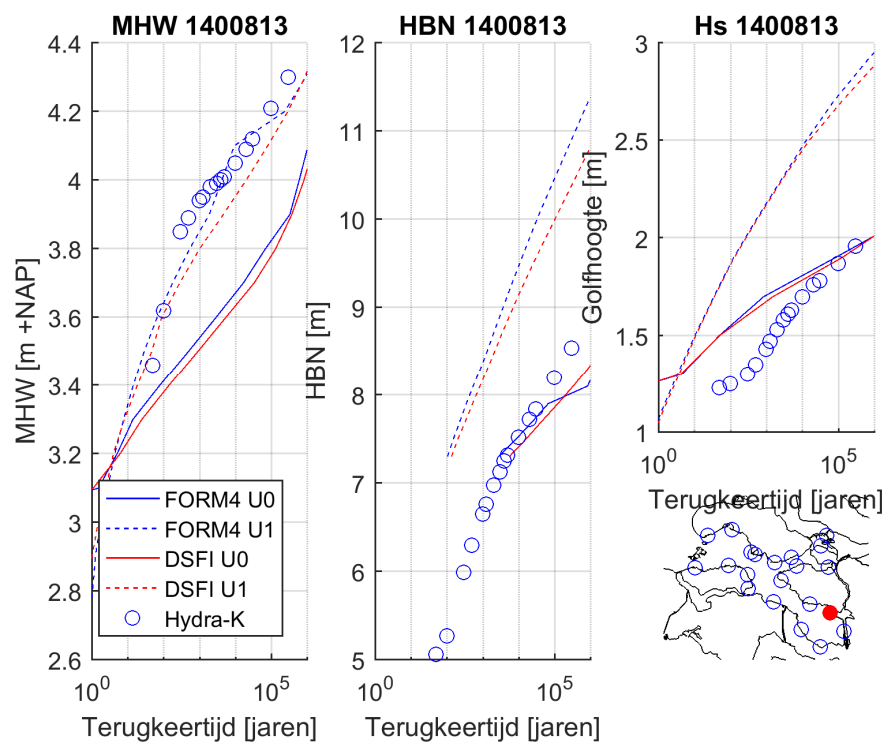
Figuur A.17 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400709.



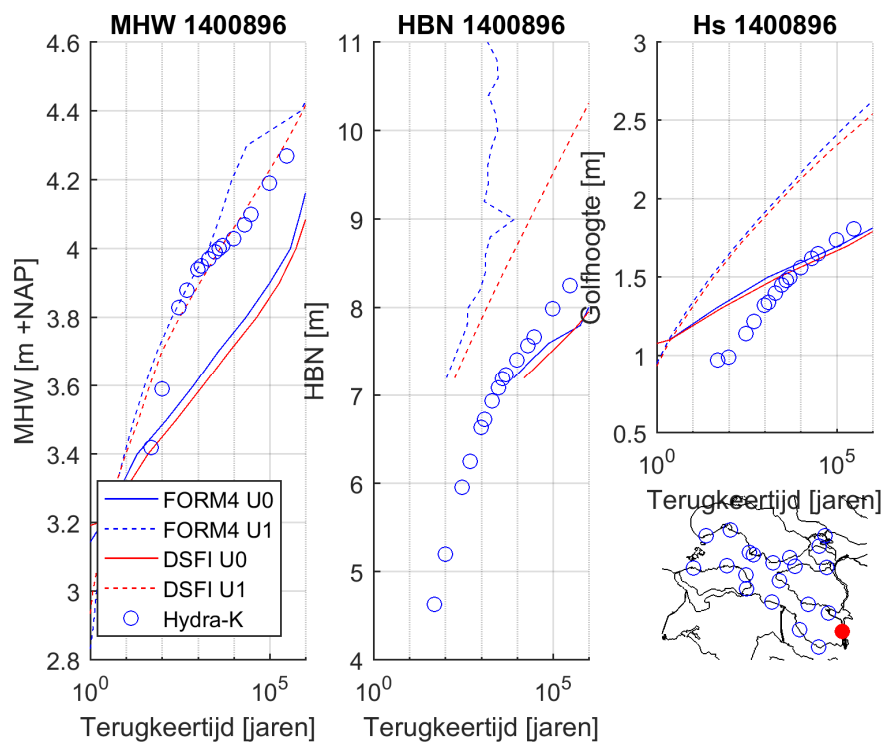
Figuur A.18 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400761.



Figuur A.19 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400786.

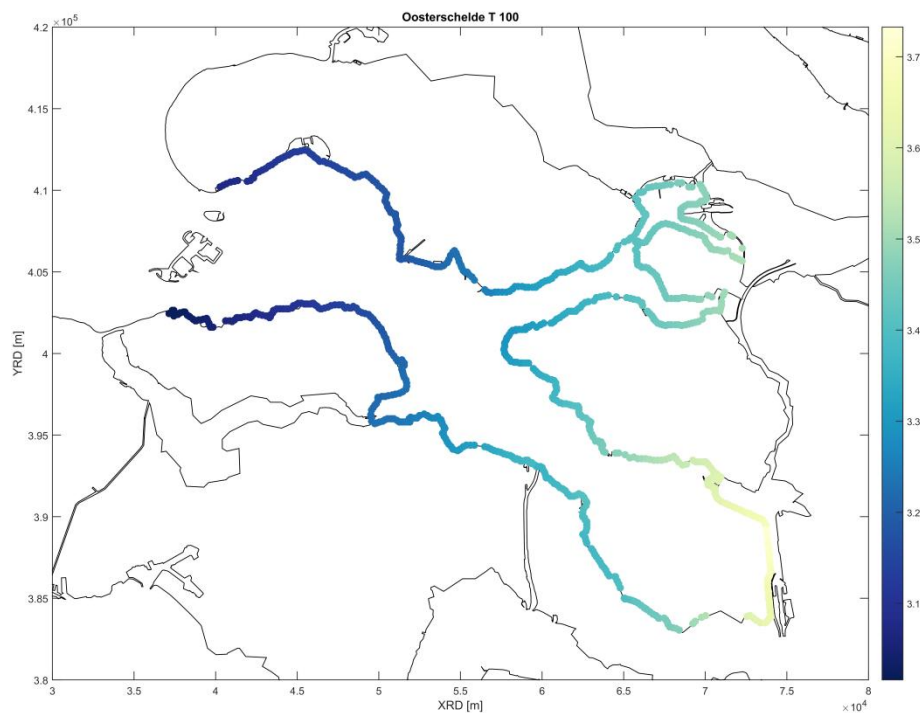


Figuur A.20 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400813.

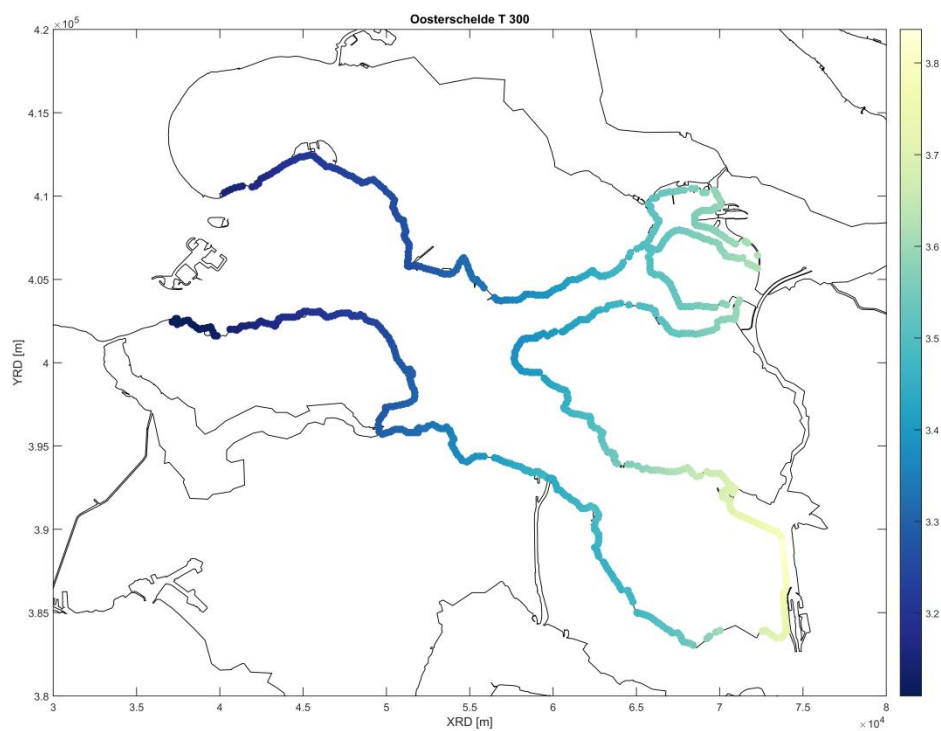


Figuur A.21 MHW, HBN en H_s resultaten voor testlocatie 1400896.

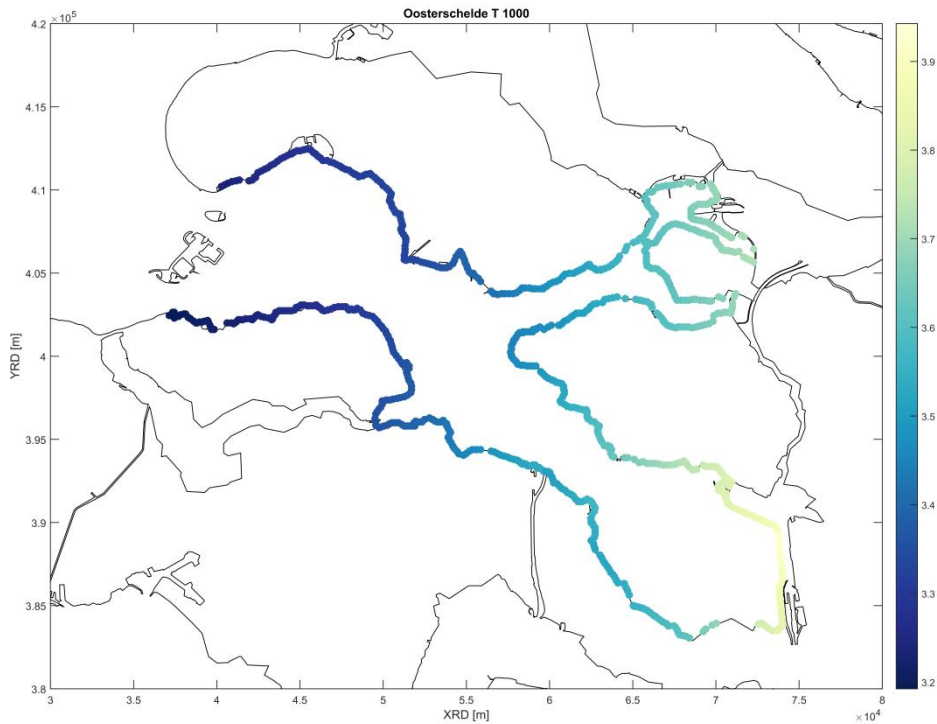
B Resultaten lokale waterstand alle terugkeertijden



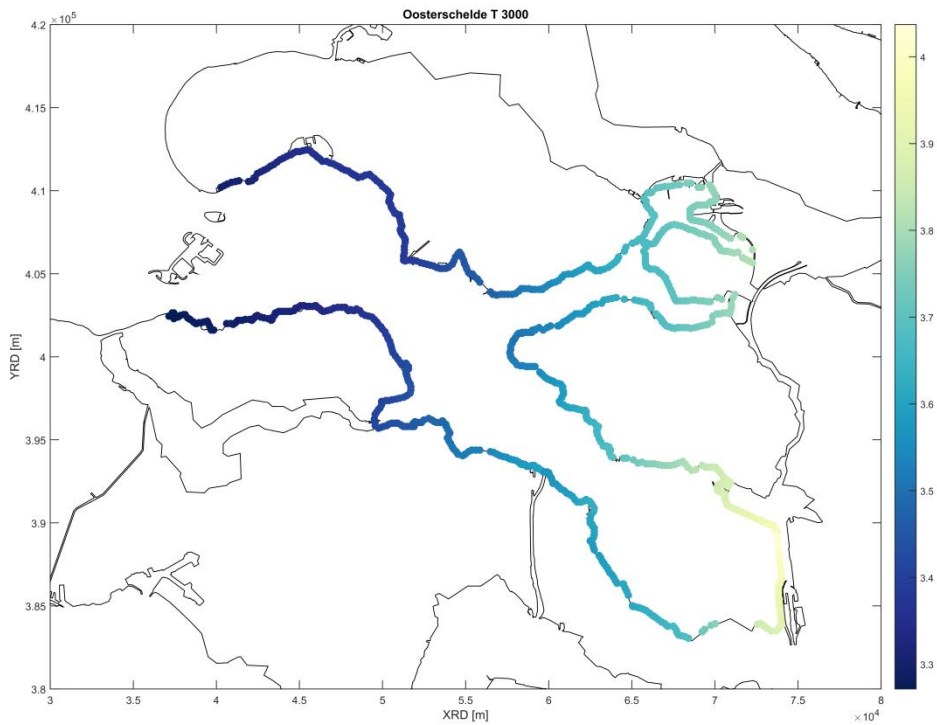
Figuur B.1 MHW resultaten voor een terugkeertijd van 100 jaar.



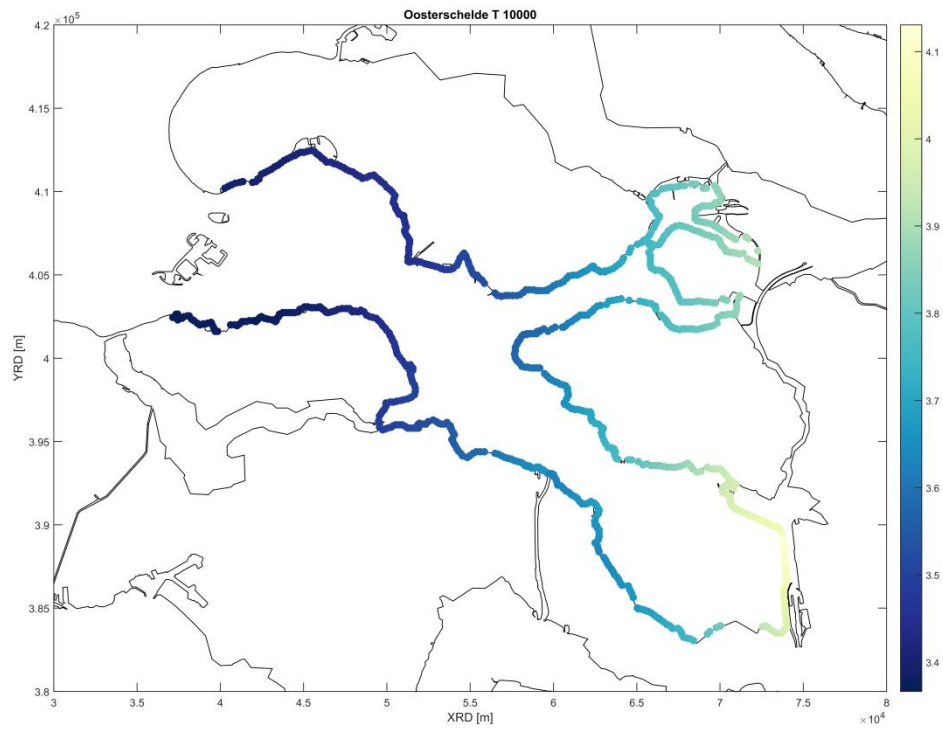
Figuur B.2 MHW resultaten voor een terugkeertijd van 300 jaar.



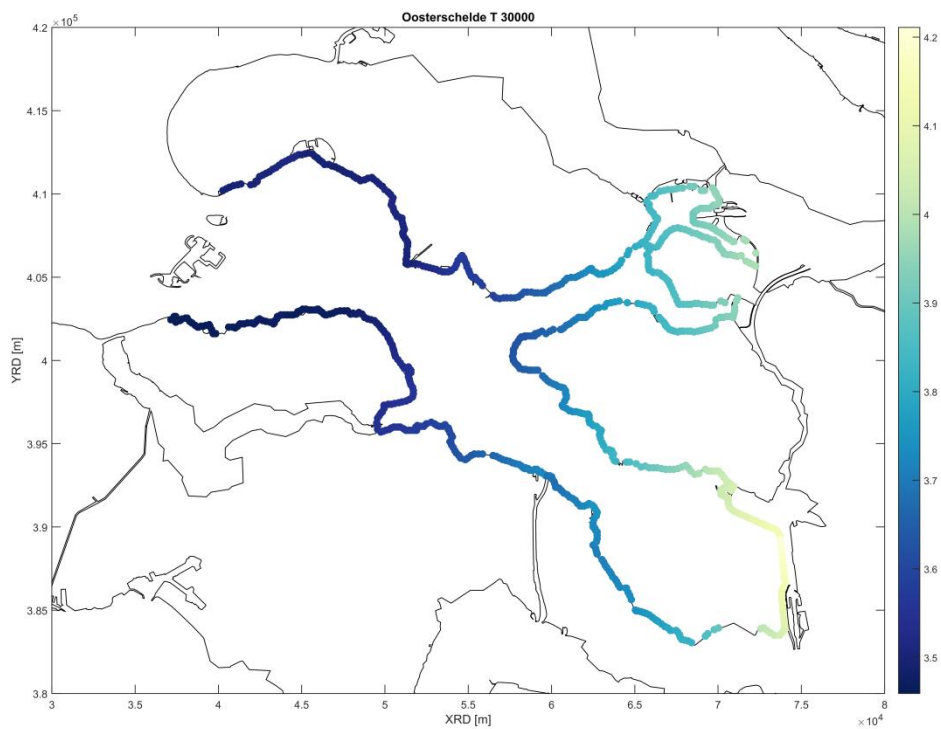
Figuur B.3 MHW resultaten voor een terugkeertijd van 1.000 jaar.



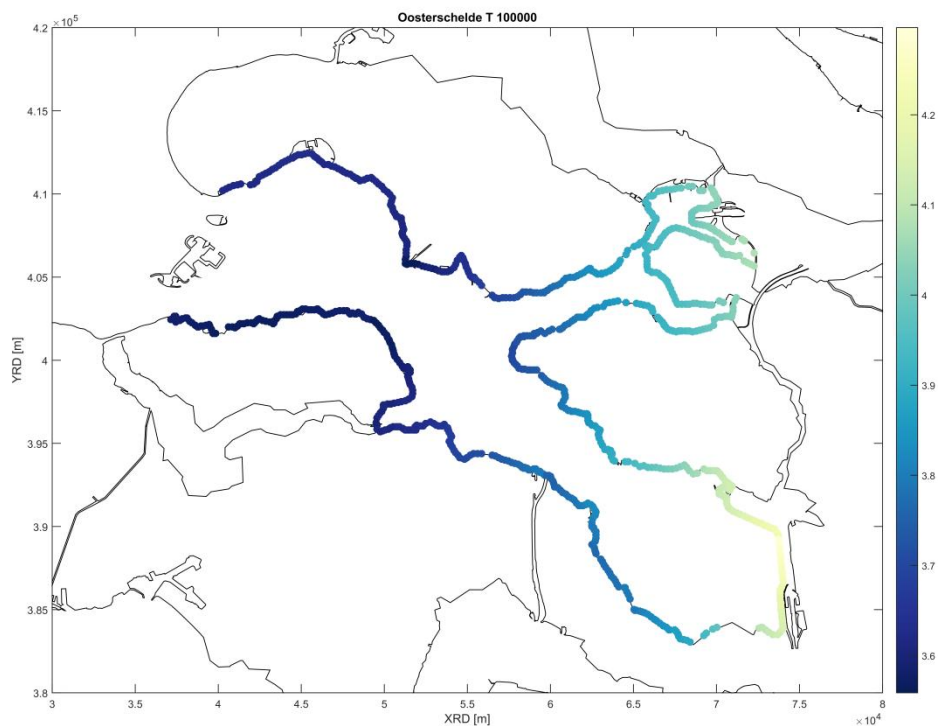
Figuur B.4 MHW resultaten voor een terugkeertijd van 3.000 jaar.



Figuur B.5 MHW resultaten voor een terugkeertijd van 10.000 jaar.

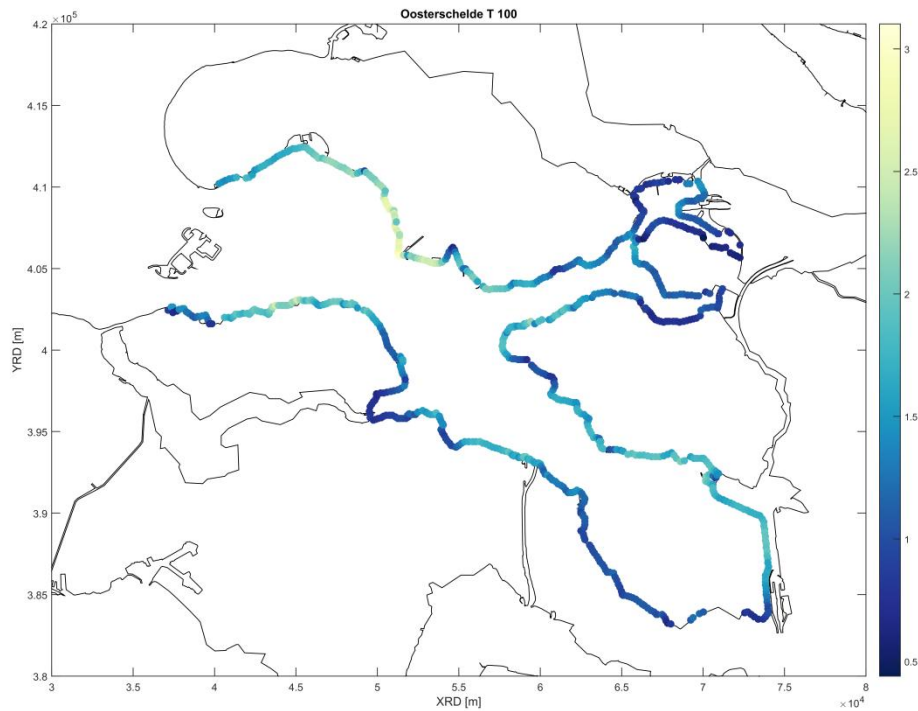


Figuur B.6 MHW resultaten voor een terugkeertijd van 30.000 jaar.

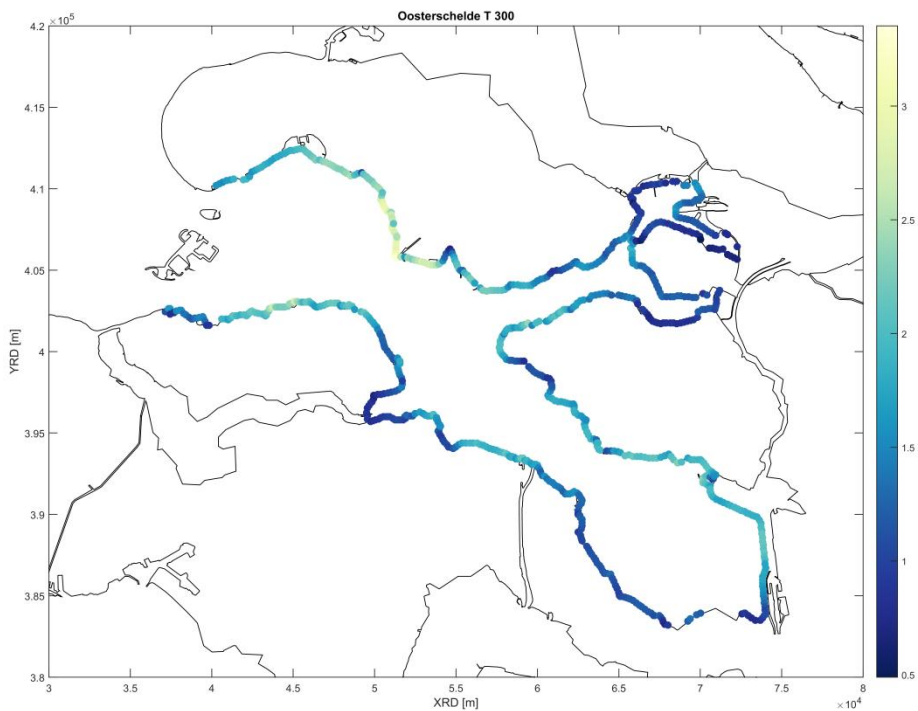


Figuur B.7 MHW resultaten voor een terugkeertijd van 100.000 jaar.

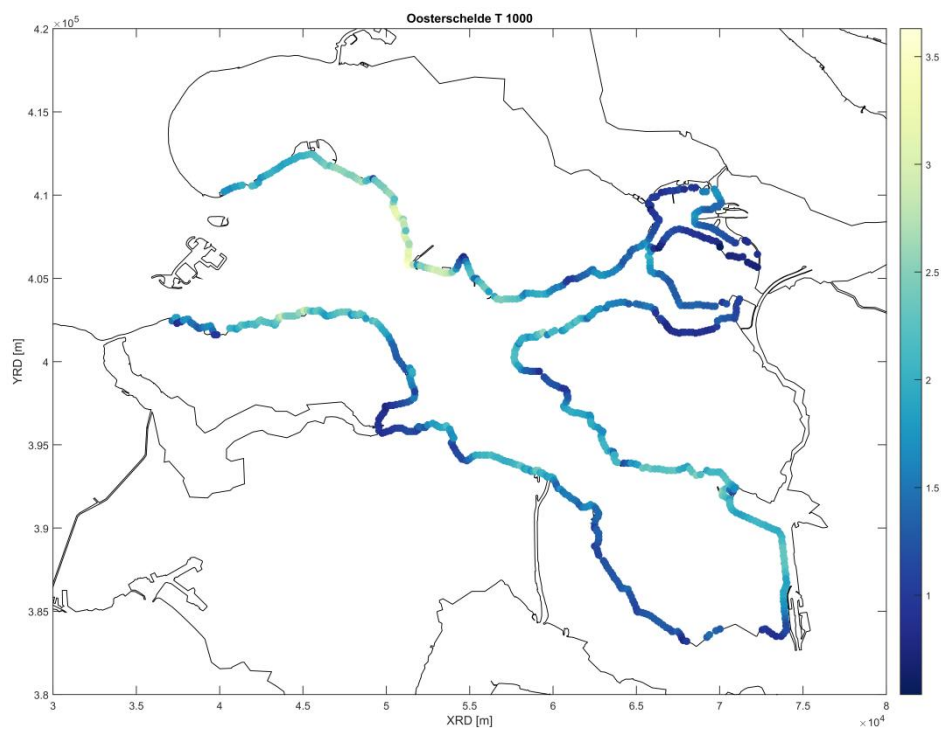
C Resultaten golfhoogte alle terugkeertijden



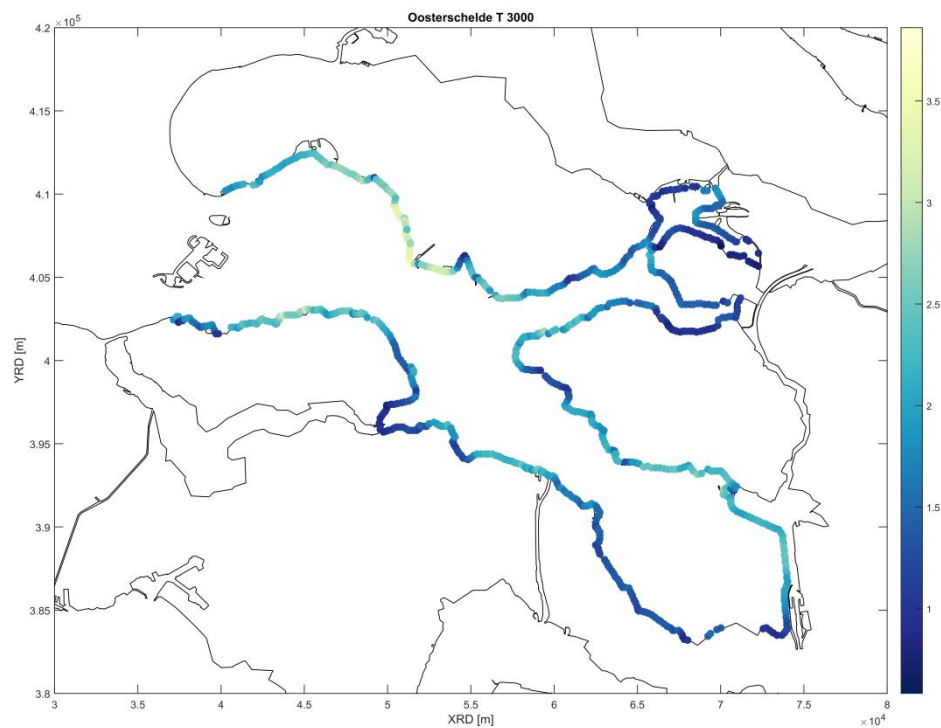
Figuur C.1 H_s resultaten voor een terugkeertijd van 100 jaar.



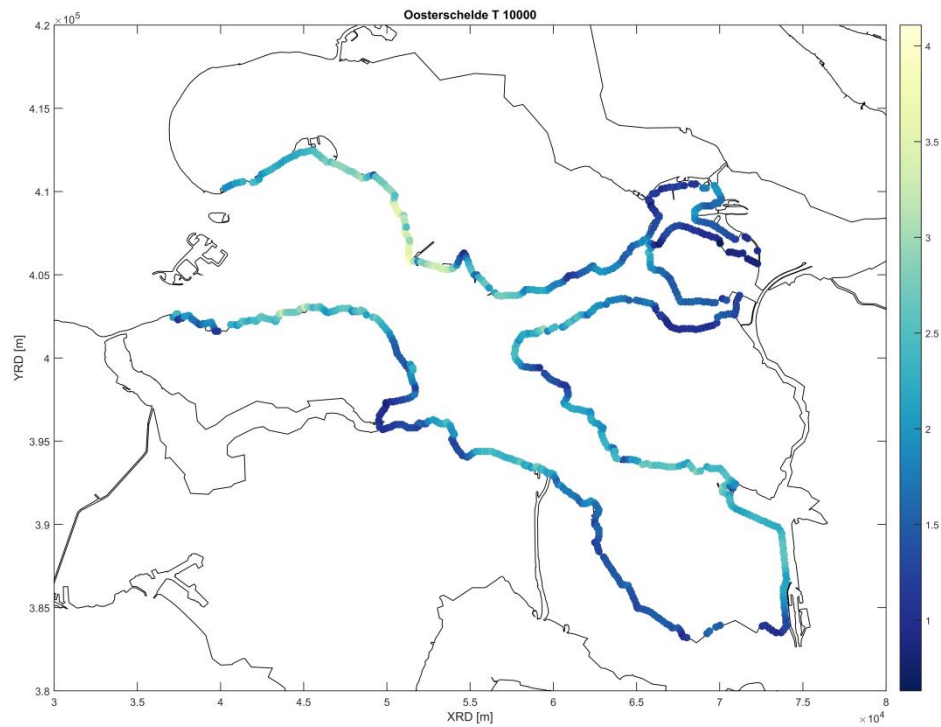
Figuur C.2 H_s resultaten voor een terugkeertijd van 300 jaar.



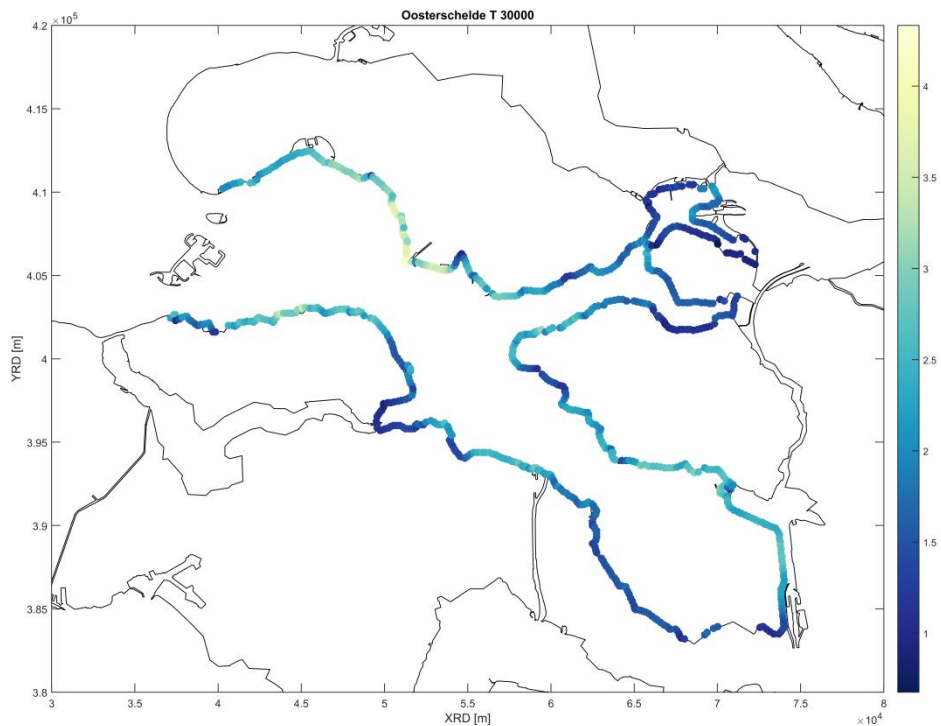
Figuur C.3 H_s resultaten voor een terugkeertijd van 1.000 jaar.



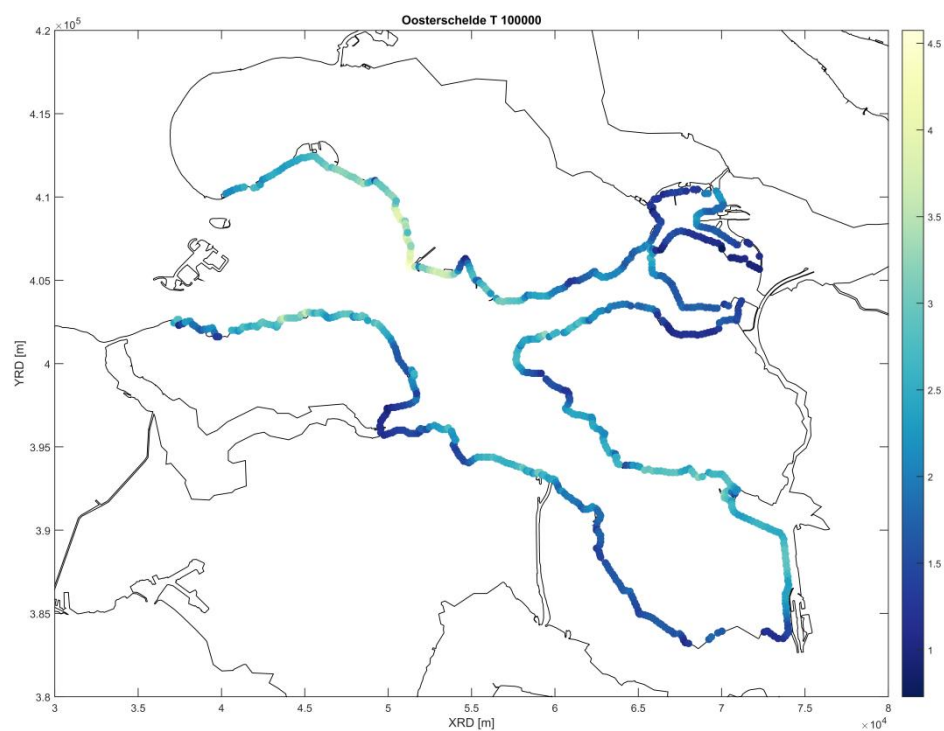
Figuur C.4 H_s resultaten voor een terugkeertijd van 3.000 jaar.



Figuur C.5 H_s resultaten voor een terugkeertijd van 10.000 jaar.

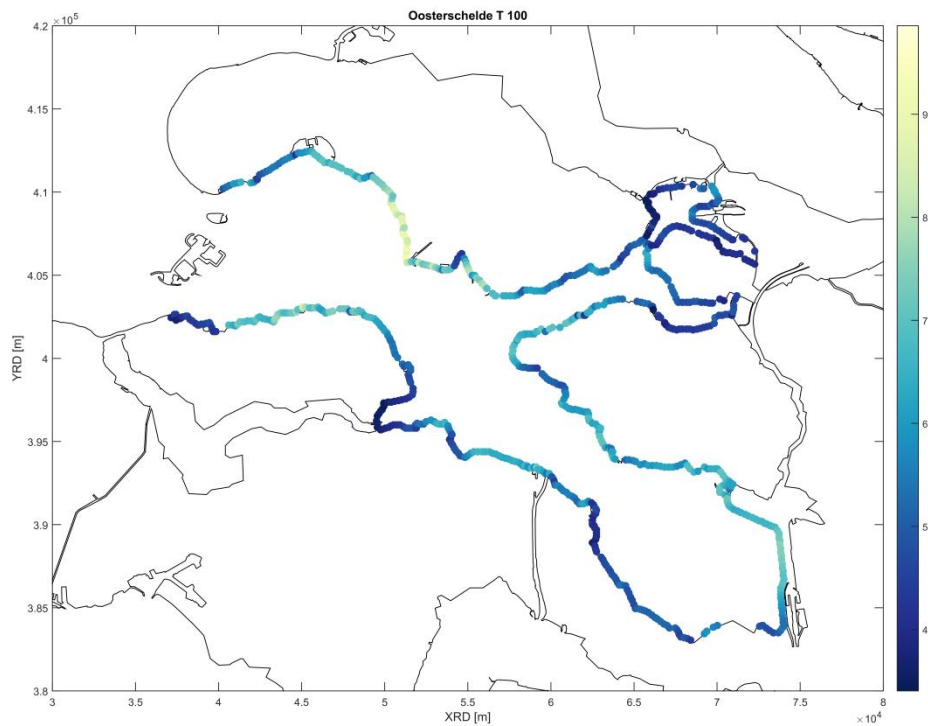


Figuur C.6 H_s resultaten voor een terugkeertijd van 30.000 jaar.

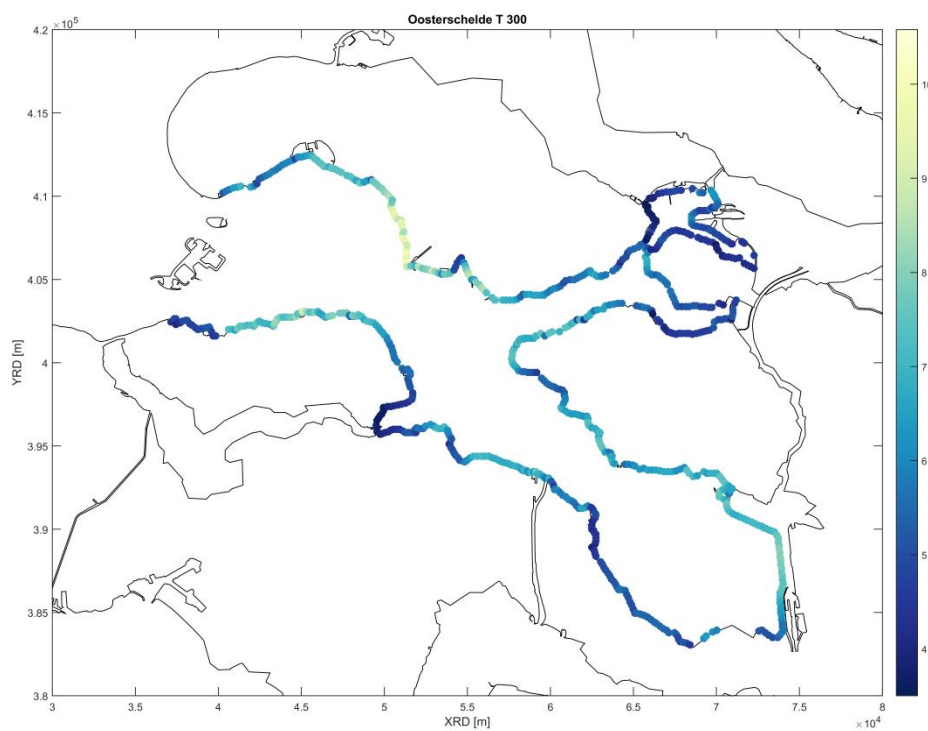


Figuur C.7 H_s resultaten voor een terugkeertijd van 100.000 jaar.

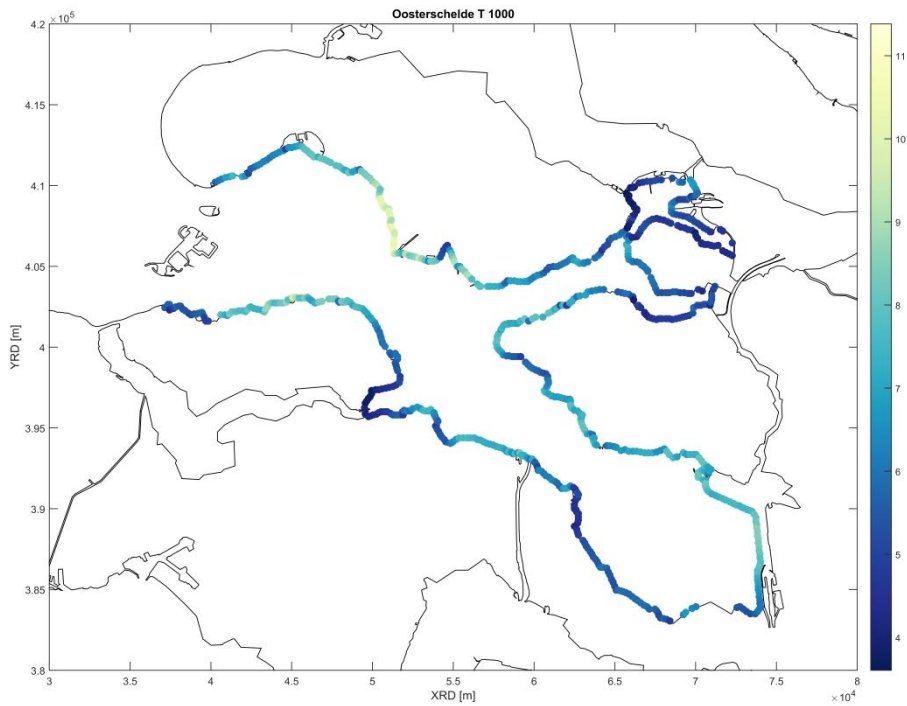
D Resultaten HBN alle terugkeertijden



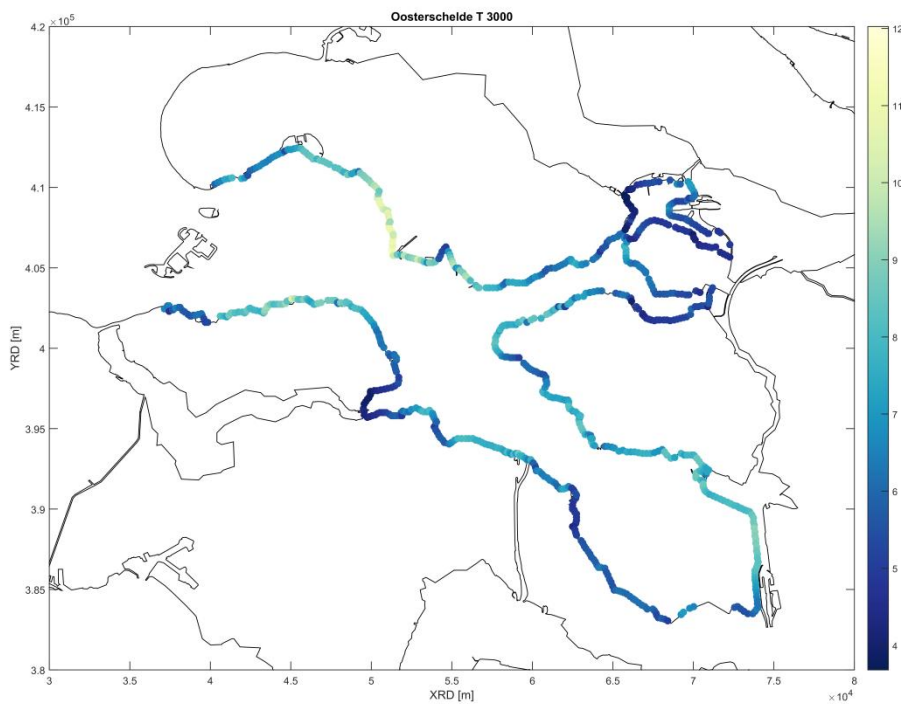
Figuur D.1 HBN resultaten voor een terugkeertijd van 100 jaar.



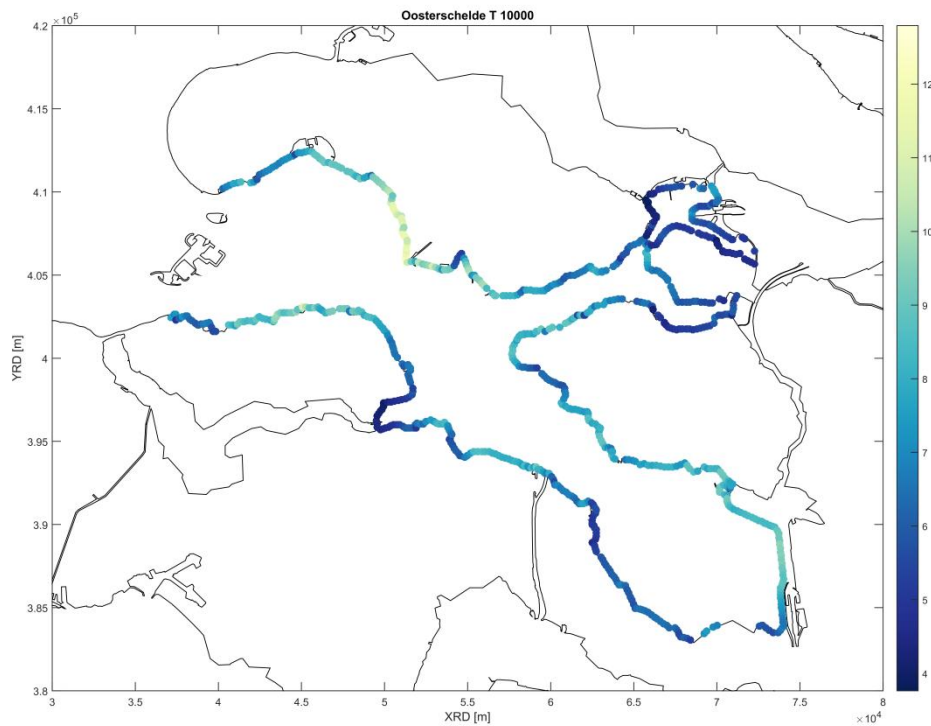
Figuur D.2 HBN resultaten voor een terugkeertijd van 300 jaar.



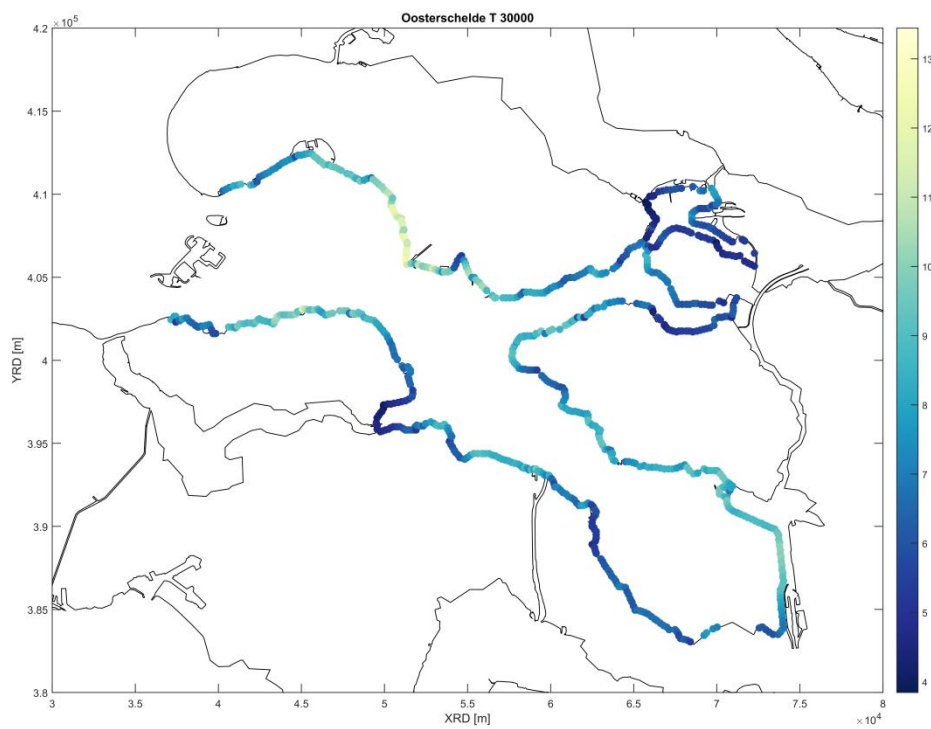
Figuur D.3 HBN resultaten voor een terugkeertijd van 1.000 jaar.



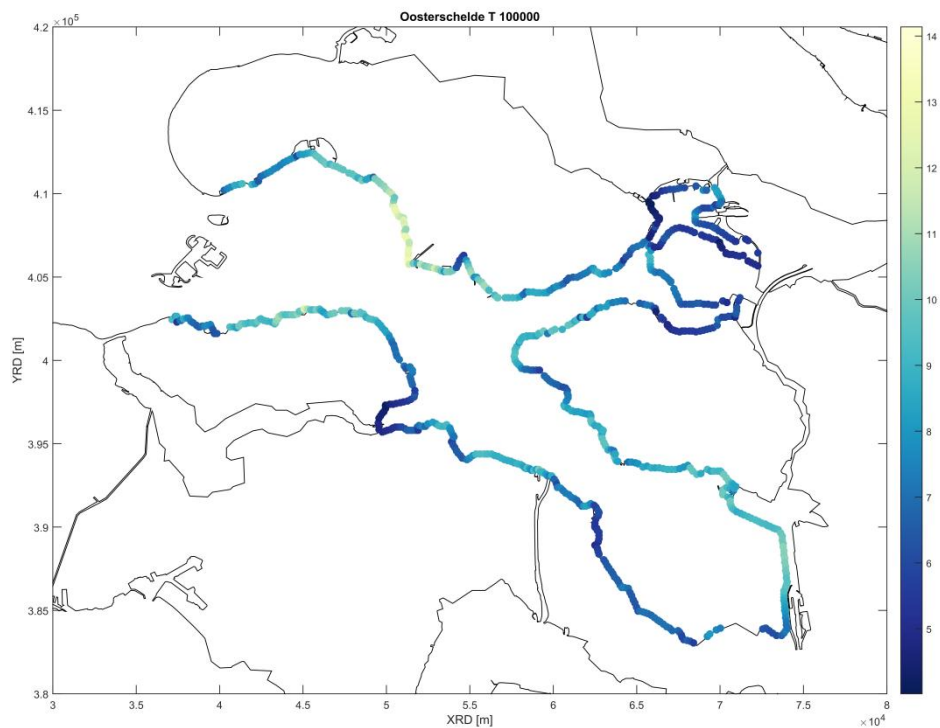
Figuur D.4 HBN resultaten voor een terugkeertijd van 3.000 jaar.



Figuur D.5 HBN resultaten voor een terugkeertijd van 10.000 jaar.



Figuur D.6 HBN resultaten voor een terugkeertijd van 30.000 jaar.



Figuur D.7 HBN resultaten voor een terugkeertijd van 100.000 jaar.