



RWS INFORMATIE



Achtergronden Hydraulische Belastingen Vecht en IJsseldelta, BOI 2020

Update WBI2017 in BOI naar aanleiding van de geplande aanleg en openstelling van het Reevediep

Datum 8 juli 2021
Versie 1.0
Status Definitief

Colofon

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat
Auteur	Robert Slomp met medewerking van Marcel Bottema, Jan Stijnen, Matthijs Duits, Arthur Kors, en Wouter Rozier
Informatie	Robert Slomp
E-mail	robert.slomp@rws.nl
Foto titelblad	PDR Rijkswaterstaat, beeldbank
Datum	8 juli 2021
Versie	1.0
Status	Definitief

Samenvatting

In het kader van de Waterwet¹ (aanpassing van 2014) is de nieuwe normering ingevoerd per 1/1/2017. Het Wettelijke Beoordelingsinstrumentarium (WBI2017) en Ontwerpinstrumentarium (OI) hebben daarbij respectievelijk in 2017 en 2014 het instrumentarium geleverd voor de beoordeling en het ontwerp.

Dit rapport gaat over een update binnen het WBI2017 en het OI voor het watersysteem Vecht- en IJsseldelta. In de WBI2017 is alleen het effect van Reevediep fase I (een regelbare inlaat op de IJssel) en een doorlaatmiddel bij Roggebotsluis opgenomen. Daarnaast zijn in WBI2017 alleen de maatregelen opgenomen die vóór het najaar van 2014 het gehele vergunningetraject hadden doorlopen.

De aanleg van het Reevediep zoals nu voorzien (fase II) is een MIRT2 besluit² dat door de minister van IenM genomen is op 12 december 2016 (IenM, 2017). Voorzien is dat deze grote systeemingreep (evenals enkele kleinere maatregelen) vóór 1 januari 2023 gereed is. Een update van het WBI2017 is dus noodzakelijk voor de lopende beoordeling (2017-2022). De omgeving heeft deze informatie ook direct nodig bij ontwerpprojecten langs de Overijsselse Vecht en IJssel.

Er zijn twee instrumenten voor het bepalen van Hydraulische belastingen: Hydra-NL en Riskeer. De vigerende versies staan altijd op de Helpdesk Water. Bij het OI2014 werd Hydra-Zoet aanbevolen. Sinds mei 2018 is Hydra-NL geschikt voor het ontwerpen in heel Nederland en consistent met het WBI (de effecten van onzekerheden zijn uitgeïntegreerd (Geerse, 2016), alle eerdere vaste toeslagen zijn vervallen). Sinds november 2019 is Riskeer ook geschikt gemaakt voor het bepalen van Hydraulische Belastingen voor het ontwerp en voor het controleren van een ontwerp.

Op 1/1/2023 zal Riskeer Hydra-NL geheel vervangen in het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium (BOI). Op dit moment heeft Hydra-NL enkele extra functies die nog niet in Riskeer opgenomen zijn. Dit betekent dat tot einde van de eerste beoordelingsronde Hydra-NL wel beschikbaar blijft.

In mei 2021 zijn de ontwerpdata bases consistent gemaakt met de WBI2017 data bases van november 2020 (inclusief de maatregel Reevediep fase II).

Het Hydraulisch Belastingmodel waarmee de Hydraulische Belastingen (duur, richting en hoogte van waterstanden en golven) per terugkeertijd beschreven kunnen worden van Hydra-NL en Riskeer is in wezen gelijk. Ze hebben dan ook gemeenschappelijke stochasten: de Vecht- en IJsselafvoeren (bij resp. Dalfsen en Olst), de meerpeilstatistiek voor het IJsselmeer, de wind boven het IJsselmeergebied en het land (snelheid en richting), de status van Ramspolstormvloedkering (open of gesloten) en de correlatie tussen meerpeil en afvoer. Riskeer heeft voor de hoogte van dijken en kunstwerken aanvullende stochasten binnen de golfoverslagmodule, omdat deze probabilistisch wordt aangeroepen.

Dit rapport beschrijft hoe de Hydraulische Belastingen voor de Vecht- en IJsseldelta in 2020 zijn bepaald. De volgende onderwerpen worden behandeld:

- de reden voor de verandering;
- hoe het systeem is veranderd;
- de fysische modellen;

¹ [wetten.nl - Regeling - Waterwet - BWBR0025458 \(overheid.nl\)](https://wetten.nl/Regeling-Waterwet-BWBR0025458)

² Staatscourant 2017, 10680

- de statistiek en modelonzekerheden;
- de probabilistische modellen Hydra-NL en Riskeer;
- verschillen met WBI2017 en OI;
- een impactanalyse;
- gevoeligheidsberekeningen.

Over het algemeen zijn de Hydraulische Belastingen ten opzichte van WBI2017 gedaald door een combinatie van factoren: (i) de aanleg van het Reevediep, (ii) de reductie van de windschuifspanning en (iii) het meenemen van verbeteringen ten aanzien van modelonzekerheden waterstanden. Lokaal nemen de Hydraulische Belastingen soms toe, met name door de grotere afvoercapaciteit van de rivier, waardoor de storm ook beter de rivier opkomt. De grootste recent uitgevoerde projecten zijn de zomerbedverdieping van de IJssel (reeds in WBI2017 opgenomen) en het Reevediep (waarvan alleen fase I in WBI2017 was opgenomen).

Alle belangrijke maatregelen en keuzen van de afgelopen 100 jaar ten aanzien van de Vecht en IJsseldelta staan in hoofdstuk 12.

De negatieve effecten van de stormopzet in de IJsseldelta door de rivierverruimingsmaatregelen hebben deels ook een ongunstige negatieve impact omdat stormopzet zich daardoor makkelijker en verder door de IJsseldelta en IJssel voortplant. Deze negatieve impact wordt voor het grootste deel gecompenseerd door de reductie in de windschuifspanning boven de 30 m/s. Voor deze laatste keuze is advies uitgewerkt in (Vledder, 2017), waarbij de laatste kennis van de TU Delft en het KNMI is gebruikt. Het KNMI heeft het advies gereviewd in (Sterl, 2018a en 2018b) en Deltares heeft dit geanalyseerd in Kennis voor Keringen (Groeneweg, 2019).

De introductie van het 2d-golfmodel SWAN op de IJssel en de grote verschillen met (het 1d-model) Bretschneider - meer bijna 75 cm op een locatie (bij Kampen) - voor het Hydraulisch Belastingniveau laten zien dat SWAN een duidelijke verbetering is.

De onderdelen van de Hydraulische Belastingen die geen update gehad hebben zijn de betrekkinglijnen van de Rijntakken (en daarmee de IJssel) en de waterstandsverlooptlijnen. Dit zijn relatieve Hydraulische Belastingen. Ze helpen om Hydraulische Belastingen die men uitrekent met Hydra-NL, Riskeer of in het meetbereik (lage waterstanden) te vertalen naar een tijdsverloop of naar de oever.

Drie andere typen van Hydraulische Belastingen krijgen geen aandacht in dit rapport. Dat zijn snelle val (b.v. door afwaaiing), verval over een verbindende waterkering en seiches. Deze vragen zeer specialistisch onderzoek. De Helpdesk Water kan methodes hiervoor aandragen, maar zal het werk zelf niet doen.

Seiches zijn soms van belang voor buitendijkse terreinen (b.v. Lelystad Haven en bij het gebruik van de stormvloedkering bij Ramspol). Recente seicherapporten staan op puc.overheid.nl. Een voorbeeld het rapport over het IJsselmeergebied³.

³ https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_640399_31/1/,

Summary / Abstract

This document describes an update of the hydraulic boundary conditions, and hydraulic loads (water levels and waves) for the lower reaches of the Vecht and IJssel (a Rhine branch).

According to last version of the Water Act (2014), the minister of Infrastructure and Water Management publishes a method to determine hydraulic boundary conditions every twelve years, to be used for the formal assessment of primary flood defenses in the Netherlands. Hydraulic loads for design purposes are issued as guidelines, including projected climate change.

This report describes the update for the hydraulic boundary conditions of the lower reaches of the Vecht and IJssel. This document covers the available documentation, the data and the software.

Rivers and lakes in the area are managed by Rijkswaterstaat and the regional water authority Drents Overijsselse Delta. The flood defences are managed by the three regional water authorities: Drents Overijsselse Delta, Vallei and Veluwe, Zuiderzeeland and the Rijkswaterstaat department of Midden Nederland.

This report describes the way the hydraulic boundary conditions, hydraulic load levels have been established in 2020 for the lower reaches of the IJssel and Vecht.

The hydraulic loads have generally decreased in comparison with the previous version of Hydraulic Loads of WBI2017, due to the effect of Reevediep (a bypass), lower wind stress in the models and a reduction of parameters for water level uncertainty in the Vecht and IJssel water systems.

Increasing the discharge capacity in an estuary through deepening the river and through a bypass also increases the effects of the storm surge on the river. The effect that the storm surge can penetrate more easily (tens of kilometers) due to Room for the River measures in the estuary had been predicted in 2001.

In the IJssel estuary the net effect of the increase could be reduced using recent knowledge on wind stress.

Hydraulic Loads have also increased to the introduction of the 2d SWAN model which replaces the 1d Bretschneider model. At one location, there is a difference of about 0.75m in the hydraulic load levels of WBI2017 and these results for WBI2023.

For the water system Vecht- and IJsseldelta two probabilistic (software) models, Hydra-NL and Riskeer, have been developed by the 'Directorate-General Rijkswaterstaat, 'the Public Works department'. The hydraulic loads, the desired crest height for design purposes and the exceedance frequency for crest levels (for cross sections and stretches) can be determined with the Hydra-NL software application. Riskeer not only provides the hydraulic loads and desired crest height, but -most importantly- it can also provide information which failure probability is reached for an assessment or a design. In 2023 the software program Riskeer will completely replace the (software)program 'Hydra-NL' for assessment and design purposes. We expect that by then all the important functions of Hydra-NL will also be provided by the software program Riskeer.

Hydra-NL contains the failure mechanisms overflow, 2%-wave run-up and wave overtopping. It can also provide wave information (wave height and wave periods), and water levels for a given return period. The calculation is performed for a dike cross section, with the result depending on the location, the considered exceedance frequency, and the local geometry and roughness of the dike cross section and the foreshore. With Hydra-NL a test for a dike ring or stretch is possible as well: for given heights of dikes along the stretch, Hydra-NL calculates the exceedance frequency of the stretch. Hydra-NL and Riskeer contain the following stochastic variables: the discharges of IJssel and Vecht (respectively at Olst and Dalfsen), the lake water level for the Lake IJssel system, the wind above the area (speed and direction) and the status (open or closed) of the barrier 'Ramspol'. Riskeer also contains stochastic variables for probabilistic use of the run-up module (overslag). In Hydra-NL conservative values are used in the run-up module.

The following subjects have been covered in the report:

- Changes to the water system and the protected areas;
- The physical models which are used;
- The stochastic variables together with their probability and frequency distributions, how uncertainties are taken into account;
- The probabilistic method used in Hydra-NL and Riskeer together with the necessary input of the model;
- Differences with the past (the focus is mainly on the standard water levels), dike height, wave high and probability of failure;
- New information and ongoing research that could not yet be incorporated into the model chain.

Inhoud

Samenvatting 3

Summary / Abstract 5

Inhoud 7

Inleiding 10

Positionering rapportage in WBI-2017 structuur 10

Aanleiding update 10

Gebiedsafbakening 11

Grote fysieke veranderingen 12

Totstandkoming 12

Uitgevoerde en gewenste aanpassingen aan WBI2017 14

1 De productieketens van de Hydraulische Belastingen 17

2 Algemene systeembeschrijving Vecht- en IJsseldelta 20

2.1 Systeembeschrijving en dijktrajecten 20

2.2 Dijktrajecten 22

3 Windmodellering 25

3.1 Windmodellering, een overzicht 25

3.2 Keuze referentie station, Schiphol 25

3.3 Vertaling van het referentiestation naar het watersysteem 25

3.4 Windinvoer voor de productiesommen 26

3.5 Een overzicht van de windkeuzes 27

3.6 Wind bij Ruimte voor de Rivier. 28

4 Waterstandsmodellering 29

4.1 Gemodelleerd gebied 29

4.2 Bouw schematisatie Reevediep fase II en Optimalisatie inlaat 29

4.3 Overzicht uitgevoerde sommen op het Nationaal water model 30

4.4 Lateralen 31

4.5 Tijdsafhankelijkheid (conform WBI2017) 31

4.6 Dragaftopping 32

4.7 Overzicht van de veranderingen in de waterstandsmodellering 33

5 Golfmodellering 34

5.1 Gemodelleerd gebied met SWAN 34

5.2 Gemodelleerd gebied met Bretschneider 35

5.2.1 Het gehele gebied met Bretschneider in 2018 35

5.2.2 Smalle wateren met Bretschneider in 2020/2021 35

5.3 Een overzicht van de uitgevoerde sommen 35

5.3.1 Open kering en gesloten kering 35

5.3.2 Gehanteerde windrichtingen voor SWAN- en Bretschneidersommen 36

5.3.3 Oostelijke windrichtingen 37

5.4 Veranderingen t.o.v. WB2017 37

6 Belastingmodel Vecht- en IJsseldelta WTI 2017 38

6.1 Belastingmodel op hoofdlijnen 38

6.2	Verbeteringen aan rekentijd	39
6.3	Verschillen tussen WBI2017 en de release van BOI in mei 2021, handelingsperspectief	39
7	Statistiek	40
7.1	Uitgangspunten statistiek en modelonzekerheden	40
7.2	Basisstochasten	41
7.2.1	Afvoerstatistiek van de IJssel bij Olst	41
7.2.2	Afvoerstatistiek van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen	42
7.2.3	Meerpeilstatistiek	43
7.2.4	Windstatistiek	44
7.2.1	Beheersituatie Ramspolkering	46
7.3	Correlatie meerpeil-afvoer	46
7.4	Modelonzekerheden	46
7.4.1	Keuze onzekerheid waterstanden	46
7.4.2	Keuze onzekerheid golfcondities	47
7.5	Modellering tijdsverlopen basisstochasten	48
7.5.1	Afvoergolven Olst en Dalfsen	48
7.5.2	Stormduur	49
8	Bouw databases	51
8.1	Testdatabases afregelen inlaat	51
8.2	Testdatabases representatieve locaties	51
8.3	Databases provincie Flevoland voor de Waterwetvergunning N307	51
8.4	Databases Nationaal Water Model waterstand (een bouwsteen voor BOI)	52
8.5	Formele definitieve databases in 2020	53
9	Probabilistische Berekeningen	54
9.1	Probabilistische modellen Hydra-NL en Riskeer	54
9.1.1	Rekentechnieken/rekentijden	54
9.2	Uitgevoerde controles probabilistische berekeningen	56
9.2.1	Controle IJsseldelta	56
9.2.2	Controle Vechtdelta	56
9.3	Controles HKV voor provincie Flevoland	56
9.4	Analyse verschilberekeningen van de databases uit 2021 met die uit WBI2017	59
10	Conclusie ten aanzien van het gebruik van de gegevens	67
10.1	Relevante documentatie	67
10.2	Waterstandsverlopen en betrekkinglijnen	67
10.3	Conclusie ten aanzien de nieuwe databases voor WBI en OI	67
10.4	Hydraulische Belastingen veranderen over de tijd	68
11	Referenties	71
A.	Appendix: Een overzicht van alle grote ingrepen in de Vecht en IJsseldelta	78
A.1.	Afsluitdijk, Splitsingspunt Keteldiep – Kattendiep, een beoogde slibvang?	78
A.2.	Dijkverleggingen in de 20 ^e eeuw	79
A.3.	Wet op de Waterkering	79
A.4.	Ramspol	79
A.5.	Deltaplan Grote Rivieren	80
A.6.	PKB Ruimte voor de Rivier	81
A.7.	Ruimte voor de Rivier maatregelen in WBI2017	82
A.8.	Aanpassing Waterwet, Nieuwe Normering	84
A.9.	WBI2017 aanpassing Bypass Fase 1.	85
A.10.	BOI, mei 2021 aanpassing fase II van de Bypass	85

- A.11. Referentie lijst van deze appendix 87
- B. Appendix Impact overstap naar SWAN bij Kampen 92
- C. Appendix Overzicht keuzen modelonzekerheden waterstanden en golven 97

Inleiding

Positionering rapportage in WBI-2017 structuur

De Waterwet schrijft voor dat de primaire waterkeringen getoetst moeten worden aan de gestelde veiligheidsnormen. In deze wet is voor de beheerder van een primaire waterkering de verplichting neergelegd om iedere twaalf jaar aan de Minister van Infrastructuur en Milieu (I&M) nu Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) verslag uit te brengen over de toestand van de primaire waterkeringen. De Minister van I&W houdt toezicht op primaire waterkeringen. De beoordeling wordt uitgevoerd aan de hand van het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI). Het WBI bestaat uit een ministeriële regeling (Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017) (IenM, 2017a) met de volgende bijlagen:

- *Bijlage I Procedure beoordeling veiligheid primaire waterkeringen (hierna: Bijlage I Procedure) (IenM, 2017b).*
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 (hierna: Bijlage II Hydraulische Belastingen) (IenM, 2017c).*
In deze bijlage wordt de methode beschreven om de Hydraulische Belastingen (waterstanden en golfcondities) op de primaire waterkeringen te bepalen.
- *Bijlage III Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen (hierna: Bijlage III Sterkte en veiligheid) (IenM, 2017c).*
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.

Deze drie documenten vormen het formele gedeelte van WBI-2017 (en zijn te vinden op de website van de Helpdesk Water).

Naast deze documenten is er de volgende indeling op de Helpdesk Water

- “Comply or explain” (toepassen of uitleggen)
- Handleiding
- Toelichting (focus op HB)
 - Generiek WBI
 - Generiek OI
 - Datamanagement
 - Hydraulische Belastingen
 - Geotechniek
 - Kunstwerken
 - Indirecte Mechanismen
 - Bekledingen
- Achtergrondinformatie

Dit huidige rapport is een achtergrondrapport van het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium (BOI). Dit BOI-programma is de opvolger van WBI2017 en OI2014. Het programmaplan van BOI (Programmateam BOI, 2019) en het deelprojectplan Hydraulische Belastingen BOI (Slomp, 2021) beschrijven dit deelproject (een bouwsteen van BOI #35). Met de verschijning van dit rapport in mei 2021 is het project afgerond.

BOI, Technische Leidraden worden jaarlijks geüpdatet op de Helpdesk Water. Binnenkort (formeel in 2022) wordt deze onderdeel van de site van de omgevingswet:

<https://tl.iplo.nl/>

Een begrippenlijst staat op <https://tl.iplo.nl/begrippen-technische/>.

Aanleiding update

De hydraulische belastingen van de Vecht- en IJsseldelta hebben ten opzichte van het Wettelijke Beoordelingsinstrumentarium (WBI2017) een update nodig vanwege grote veranderingen in het watersysteem door de aanleg van het Reevediep. Het Reevediep is een nieuwe waterverbinding tussen de IJssel en het Drontermeer. Deze hoogwatergeul is aangelegd om in extreme omstandigheden hoogwater van de IJssel af te kunnen voeren via een afgesplitst deel van het Drontermeer en het Vossemeer, naar het Ketelmeer.

Het Reevediep (fase II) is naar verwachting eind 2022 gereed. Eind 2022 is ook de peildatum die in het WBI2017 wordt genoemd als de situatie waarop de beoordeling moet worden gebaseerd. Het MIRT-2 besluit voor het tot stand brengen van Reevediep fase II is in 12 september 2016 genomen, en bekrachtigd in een bestuursovereenkomst (Staatscourant 2017, 10680). De productie van de databases voor de hydraulische belastingen voor het WBI2017 was toen al bijna afgerond (Smale, 2013, Smale 2014, Chbab en de Waal 2017) en de effecten van een open Reevediep (fase II) zijn hierin daarom niet verwerkt.

Het waterschap Drents-Overijsselse Delta (WDOD), werkt op dit moment aan het ontwerp voor drie versterkingsprojecten en aan de beoordeling van zijn trajecten. Hiervoor maakt het waterschap gebruik van de door het WBI uitgeleverde databases voor de bepaling van de Hydraulische Belastingen. Omdat de hydraulische belastingen uit WBI2017 gebaseerd zijn op een grotendeels gesloten Reevediep (fase I), kunnen voor zowel het opstellen van het ontwerp voor de versterking als voor de beoordeling (2017-2022) de effecten van een open Reevediep niet goed worden meegenomen. Dit leidt zonder eigen gekozen⁴ correcties tot een overschatting van de overstromingskans van de keringen en overgedimensioneerde ontwerpen voor de versterkingen.

Het waterschap wil ook de laatste geborgde kennis gebruiken die beschikbaar is bij Rijkswaterstaat en andere partijen om onnodig(e) (grote) dijkversterkingen te voorkomen en om komende jaren herhaalde verandering in opeenvolgende versies van de hydraulische databases te voorkomen. Het waterschap Drents-Overijsselse Delta (WDOD) heeft daarom DGWB gevraagd de databases voor de IJssel-Vechtdelta te actualiseren, zodat de effecten van een open Reevediep en de nieuwe kennis mee kunnen worden genomen bij de huidige beoordeling (2017-2022) en de lopende versterkingsprojecten in de IJssel-Vechtdelta.

Gebiedsafbakening

Dit rapport richt zich op de IJssel-Vechtdelta. Hierin bevinden zich: het Ketelmeer, het Vossemeer, het Dontermeer (noord), het Reevediep, de IJssel vanaf Olst, het Zwarte Meer, het Zwarte Water en de Vecht benedenstrooms van Ommen (zie figuur 3).

Waterstanden in de IJssel-Vechtdelta worden door combinaties van verschillende factoren beïnvloed:

- windopzet;
- hoge IJsselmeerpeilen;
- hoge afvoeren van de IJssel;
- hoge afvoeren Vecht en regionale systemen;
- directe neerslag.

Karakteristiek voor de IJssel-Vechtdelta is dat waterstanden snel reageren op wisselingen in afvoeren en windcondities, waterstanden kunnen daardoor binnen een dag eenvoudig verschillen van meerdere decimeters ondergaan. In extreme omstandigheden kunnen de waterstanden hoog oplopen. Onder ongeveer maatgevende omstandigheden liggen

⁴ Voor een expert lag er voldoende informatie om op een aantal plekken een bias correctie door te voeren in Riskeer en Hydra-NL. Om willekeur te vermijden bij correcties voor de beoordeling en het ontwerp te hebben was een volledige update vanuit Rijkswaterstat zeer zinvol.

waterstanden aan de IJsselmonding in de orde van NAP +2,50 m à +3,50 m, terwijl het streefpeil van het IJsselmeer (in de winter) op NAP -0,40 m ligt. Dit effect van opzet kan binnen enkele uren optreden.

De IJssel-Vechtdelta valt wat betreft waterbeheer en waterkeringen beheer onder 5 partijen: RWS-MN, RWS-ON, Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD) Waterschap Vallei en Veluwe (V&V) en Waterschap Zuiderzeeland (ZZL). De IJssel-Vechtdelta strekt zich uit over 3 provincies: Gelderland, Overijssel en Flevoland.

Grote fysieke veranderingen

Het programma Ruimte voor de Rivier (Rijkswaterstaat) en de Provincie Overijssel hebben de grote systeemveranderingen in gang gezet. Deze maatregelen zijn beoordeeld op basis van de "Methode Westphal" (Hartman 1995 en Hartman et al 2005). Dit is een methode die alleen rekening houdt met de storm op de modelrand niet op het watersysteem zelf. De methode evalueert dus alleen rivierkundige veranderingen en in theorie ook het effect van verhoogde berging op het IJsselmeer (mits men de benedenrand ophoogt)

Alle losse maatregelen in een estuarium werken op elkaar in. Dat is de reden dat in de Benedenrivieren bij Ruimte voor de Rivier altijd probabilistisch is gerekend met de MHW-processor en Hydra-BS⁵ voor zowel storm als afvoer. Met die resultaten is de blokkendoos van Ruimte voor de Rivier gevuld voor de Benedenrivieren. Het instrumentarium hiervoor was sinds 2006/2007 ook beschikbaar voor de Vecht en IJsseldelta⁶. Echter was het instrumentarium geen formeel toetsinstrumentarium. Dat werd het pas in 2017 met de WBI2017. Voor het projectplan waterwet N307, de verwijdering van Roggebotsluis (Stienstra, 2020) is wel gerekend met het WBI2017-instrumentarium.

Totstandkoming

Dit project is het gevolg van een keten van aansluitende projecten die gezamenlijk een doorlooptijd hebben gehad van meer dan 3 jaar. Die projecten worden hieronder één voor één op hoofdlijnen behandeld.

Nieuwe schematisaties

Rijkswaterstaat is vanwege de beoogde aanleg van Reevediep al in 2017 begonnen met een update van de Hydraulische Belastingen van de Vecht- en IJsseldelta door een rekenexperiment op de omgeving van het Nationaal Water Model (Dagenvoorde en Stijnen 2017) en door een onderzoek van de watersysteembeheerder Oost Nederland in 2018 om de inlaat van het Reevediep aan de IJsselzijde te optimaliseren (Paarlberg en Kater 2018a en 2018b). Voor beide bovenstaande studies zijn in 2017 al door Deltares de uitvoerpunten in het Reevediep bepaald en is de maatregel "ingemixt" in de WBI2017 WAQUA schematisatie (Becker en Fujisaki, 2017). Rijkswaterstaat ON heeft op basis van een relatief beperkt aantal probabilistische sommen een keuze gemaakt voor de hydraulische inrichting van de inlaat (met name inlaathoogte) en voor de benedenstroomse uitlaat.

Productiesommen

Het team van het Nationaal Water Model heeft daarna alle maatregelen gezamenlijk doorgerekend via de nieuwe sommen generator (Thonus, 2018) met hetzelfde aantal sommen als WBI2017 ongeveer 9000 (Stijnen et al, 2018).

Nieuw windmodel

Parallel aan de afregeling van de inlaat is het windmodel voor zowel het IJsselmeer de Vecht- en IJsseldelta herzien op basis van een advies Van Vledder (uit 2017) en

⁵ Een versimpelde vorm van Hydra-NL

⁶ Prototypes waren al eerder beschikbaar.

aangevuld door (Bottema, 2018). Als het extreem hard waait (boven de 30 m/s) dan waaien de golf toppen kapot en is de krachtoverdracht van wind op water minder efficiënt. Er is dus een fysieke grens aan deze krachtoverdracht, hetgeen bij windsnelheden hoger dan 30 m/s leidt tot minder waterstandopzet en lagere golfhoogten. In het IJsselmeergebied is binnen het Wettelijke Beoordelingsinstrumentarium (WBI2017) hiervoor via de statistiek gecorrigeerd voor het IJsselmeer. Die correctie is niet gemaakt voor de Vecht- en IJsseldelta omdat men dacht dat de invloed klein was. In de studie (Paarlberg en Kater 2018a) bleek dat het windsnelheden boven de 30 m/s toch invloed hebben in het gebied.

De aftopping van de windschuifspanning (volgens Vledder 2017 en Bottema 2018) is fysisch verwerkt in de WAQUA-berekeningen op het Nationaal Water model (Stijnen et al, 2018), in het SWAN-model (Klein en Boersen, 2019 en Boersen 2020).

Er waren drie tussenstappen voor de productie berekeningen voor waterbeweging en golfbelastingen:

- Door het team van het Nationaal Water Model is eerst in 2018 (Stijnen et al, 2018) een tijdelijke database gemaakt met as en met oeverlocaties (om de km) voor waterstand. Voor golven zijn de effecten van de dragaftopping van de wind verwerkt via de windinvoer van Bretschneider (buiten Hydra-NL om, omdat Hydra-NL daarvoor nog via de windstatistiek extra corrigeert, conform WBI2017).
- De provincie Flevoland (Stijnen et al, 2019b) heeft in het kader van de projectplan Waterwet N307 SWAN-sommen (Klein en Boersen, 2019) laten maken voor het werkgebied van het Reevediep, de IJssel van de monding tot en met de inlaat, het Vossemeer en een deel van Ketelmeer. Op basis hiervan is de database uit Stijnen et al 2018 aangevuld.
- BOI heeft daarna de SWAN-berekeningen ook uitgevoerd voor het Zwarte Meer (Boersen, 2020), voor de situatie met open Ramspolkering.

Fouten/inconsistenties in de WBI 2017

In september 2018 zijn door Deltares inconsistenties ontdekt in de berekening van onzekerheden in golfhoogten en golfperioden (Groeneweg, 2018). Voor heel Nederland zijn de effecten op de Hydraulische Belastingen uitgewerkt (Duits, 2018). Hierover heeft Rijkswaterstaat DGWB in mei 2019 een advies gegeven hoe alle nieuwe kennis uit BOI en Kennis voor Keringen om te gaan (Bake, 2019). Het advies was om de aanpassingen pas uit te voeren als er nieuwe databases met recente productiesommen werden gemaakt en vrijgegeven. Door zowel nieuwe kennis tegelijkertijd met de reparaties van fouten te introduceren worden grote schommelingen voorkomen. Voor de in voorliggend rapport beschreven update van de Hydraulische Belastingen zijn beide aspecten aan de orde: zowel nieuwe kennis en als reparatie van eerdere fouten. De informatie van (Bake, 2019) is ook beschikbaar gesteld aan alle waterkeringbeheerders in Nederland. Bij ontwerpprojecten (in met name windgedreven systemen) wordt deze nieuwe kennis over het algemeen meegenomen in de besluitvorming.

Rijkswaterstaat heeft in 2019 in het kader van BOI door Deltares, HKV en Arcadis (de Waal et al, 2019, de Waal et al, 2020) verbeteracties voorgesteld bij de productie van Hydraulische Belastingen om de problemen zoals hiervoor zijn beschreven te voorkomen. Deze adviezen zijn benut voor de bouw van de databases

Waterstandsverlopen en betrekkinglijnen

De rapporten en data waterstandsverlopen (Chbab en Stapar, 2016) en betrekkinglijnen (Veen, 2018) hebben geen update gehad. Verschillen in waterstanden zijn relatief klein

(minder dan 30 cm) dus verschillen in uitkomsten bij het gebruik van deze methoden samen met de waterstand gegevens uit de laatste versie van Hydra-NL of Riskeer en de databases van mei 2021 is zeer klein.

Uitgevoerde en gewenste aanpassingen aan WBI 2017

Het doel is zoveel mogelijk aan te sluiten op de uitgangspunten van WBI2017 omdat dit ook de basis is voor het Projectplan Waterwet N307/Roggebotsluis (Stienstra, 2020). In de veiligheidsbeoordeling t.b.v dit Projectplan zijn enkele aanpassingen doorgevoerd die passen op de uitgangspunten van WBI maar die afwijken van keuzen uit (Botterhuis et al 2016) zoals toepassen van de windschuifspanningsaftopping op de Vecht- en IJsseldelta en het kiezen van nieuwe geografische grenzen voor modelonzekerheden in de waterstanden die passen op de fysica van het systeem. Ook zijn de getallen van de modelonzekerheden waterstanden aangescherpt.

Er is een belangrijk verschil met de berekeningen voor het Projectplan Waterwet N307. De fouten bij WBI2017- software implementatie van de modelonzekerheden golven (Groeneweg 2018, Duits, 2018, Bake 2019) zijn voor de Vecht-IJsseldelta nu hersteld. Verder wordt de naamgevingssystematiek van uitvoerpunten uit HR2006 hersteld (Botterhuis et al, 2020) omdat deze het controleren van de productieketen, de beoordeling en het ontwerp duidelijker maken. Alle uitvoerpunten hebben nu nieuwe RD-coördinaten en nieuwe namen, bij elke Baseline-versie verandert de ligging van de as van de rivier ("thalweg") en daarmee de ligging van tenminste een deel van de uitvoerpunten.

In tabel 0.1 zijn alle verschillen met WBI2017 gegeven.

Belangrijkste veranderingen Hydraulische Belastingen IJVD van BOI 2020 t.o.v. WBI 2017		
Verandering thema	Samenvatting	Impact op de HB
Fysica		
Geometrie	Een nieuwe riviertak Reevediep is toegevoegd	Over het algemeen een verlaging, op één dijktraject na (#225)
Aanpassing van de windschuifspanning	IJssel en Vecht krijgen een update op basis van fysische gronden	Een verlaging integraal in het hele gebied, maar het meest in de IJsseldelta
Een betere modellering van het overstromen van traject 225	De overlaatformulering in WAQUA en de geometrie zijn veranderd	Onbekend – maar samen met de andere windschuifspanning een verlaging op het Zwarte Meer
Nieuwe inzichten		
Modelonzekerheden waterstand	Grenzen gebieden op basis van nieuwe fysica – grenzen rivier- en meerpeil-gedomineerd veranderen	Soms een verhoging maar meestal een verlaging
	Nieuwe aangescherpte modelonzekerheden waterstanden	Een verlaging in alle gebieden

Modelonzekerheden golven	Inconsistenties databases, software en documenten zijn opgelost	Zowel verlagingen als verhogingen afhankelijk van of SWAN en Bretschneider is benut; sprongen bij grenzen tussen Bretschneider en SWAN resultaten
Pragmatische keuzen		
Een ander correlatiemodel	op trajecten 8-4, 10-2, 10-3, 11-1, 11-2 en 225, bleken de resultaten niet stabiel, daar is het correlatiemodel PCR in Hydra-Ring uitgezet via de HCLD databases	Geen invloed op de resultaten Hydra-NL en Riskeer 21.1 leveren dezelfde uitkomsten op
Naamgeving uitvoerlocaties	Meren op basis van dijkpaalnummers (WS) /hectometer palen (RWS) Rivieren op basis van rivierkilometers	Geen invloed op Hydraulische Belastingen; de traceerbaarheid wordt echter groter.

Tabel 0.1: Overzicht veranderingen en hun impact in de Vecht en IJsseldelta

Diverse zaken zijn nog niet voldoende uitgezocht en zijn daarom nog niet opgenomen in de huidige databases voor WBI en OI. Ze vragen vele maanden of jaren onderzoek, zie tabel 0.2:

Thema	Onderdeel belastingmodel	Impact	Actie
Statistiek afvoeren en meerpeilen	GRADE Rijntakken, GRADE Vecht Meerpeil statistiek Correlatie meerpeil-afvoer	Nog onbekend	In juli 2022 is de update van de statistiek gereed en zal binnen BOI deze worden doorgevoerd.
Modelonzekerheden golven	Correlatie modelonzekerheden golfhoogte en golfperiode meenemen	Zowel verlagingen als verhogingen	Aanvullende golfmodelvalidaties. Het vinden / verkrijgen van representatieve metingen is echter een uitdaging.
windmodellering	Windstatistiek update IJsselmeergebied	onbekend	Maatwerk onderzoek KNMI en Kennis voor Keringen (Brink en Bottema, 2020)
	Onzekerheden windklimaat	Een verhoging	
	Windgradiënt	Een verlaging	

Tabel 0.2: Overzicht lopende onderzoeken, hun impact in de Vecht en IJsseldelta en wie ze oppakt.

Leeswijzer

Dit rapport beschrijft hoe de Hydraulische Belastingen voor de Vecht- en IJsseldelta in 2020 zijn bepaald.

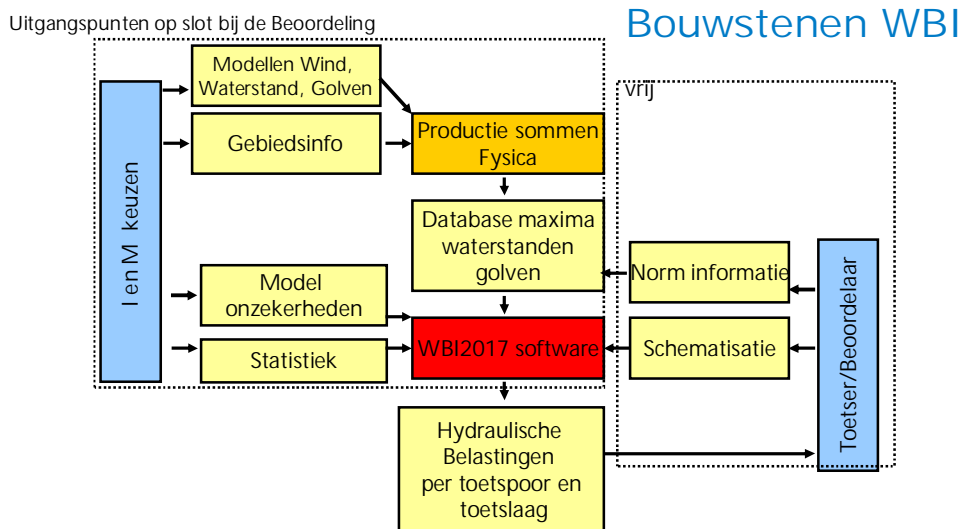
De volgende onderwerpen worden behandeld:

- de reden voor geometrische veranderingen en wijzigingen van uitgangspunten WBI en OI;
- een overzicht van de keten voor WBI en OI;
- systeembeschrijving;
- geometrie: hoe het systeem is veranderd;
- de fysische modellen;
- de statistiek en aanpassingen aan de modelonzekerheden, met een onderscheid in WBI en OI
 - te gebruiken basisstochasten
 - toepassingskader en te beschouwen zichtjaar
 - relevante kansbereik
 - te beschouwen seizoenen, het klimaat en het waterbeheer
- De probabilistische modellen Hydra-NL en Riskeer;
- Verschilanalyses.

1 De productieketens van de Hydraulische Belastingen

Het produceren van Hydraulische Belastingen bestaat uit een groot aantal stappen. Een eerste stap is het formuleren van een Hydraulisch Belastingmodel waarmee de Hydraulische Belastingen (duur, richting en hoogte van waterstanden en golven) per terugkeertijd beschreven kunnen worden. Dit is vaak in de vorm van een of meerdere wiskundige formules (zie Geerse, 2006). Parallel moeten allerlei databestanden gevuld worden en de software (implementatie van de formules) gebouwd.

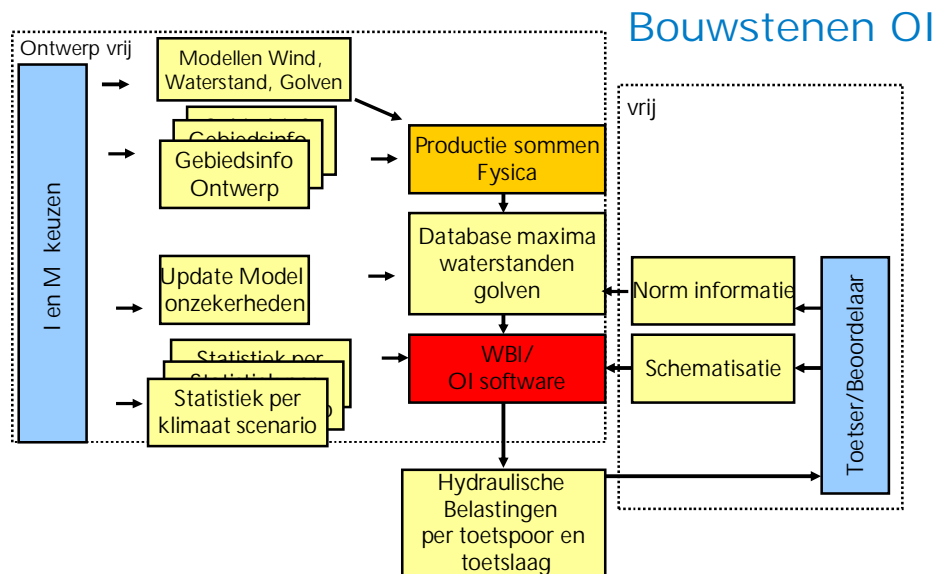
De keuzen voor het vullen van de databestanden (het linker blok in figuur 1) maakt het Ministerie van I en W. Het werken met eigen data en de software inclusief databestanden is een taak van de gebruiker. De gebruiker doorloopt het rechter blok van figuur 1 en levert eigen informatie over de waterkering toe. Bij een gedetailleerde beoordeling zijn de waterstands- en golfdata die het Rijk aanlevert op slot (figuur 1).



Figuur 1: De keten voor de bepaling van Hydraulische Belastingen voor de beoordeling (zowel WBI als OI zijn BOI-producten).

Bij het ontwerpproces zijn er meer vrijheidsgraden (figuur 2). Bij die processen kunnen beheerders de gehele keten opnieuw doorlopen vanaf een nieuw windmodel tot en met de berekening met de WBI2017/OI-software.

Noot: beide figuren vatten het proces van dataverzameling samen, in de Waal et al 2020 wordt dit proces in detail toegelicht voor personen die het linker blok willen doorlopen. Dat is het feitelijke productieproces van Hydraulische Belastingen.



Figuur 2: De keten voor de bepaling van Hydraulische Belastingen voor het ontwerpproces (zowel WBI als OI zijn BOI-producten)

Het proces voor het afleiden van Hydraulische Belastingen (het rechterblok van figuur 1) voor de beoordeling wordt in hoofdlijnen gegeven in Bijlage II bij de ministeriele regeling (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017) en in detail in de twee schematiseringshandleidingen:

- Schematiseringshandleiding hoogte WBI 2017 (de Waal 2019a)
- Handleiding gebruik dam- en voorlandmodule 2.0 (de Waal, 2019b)

Het proces voor het afleiden van Hydraulische Belastingen voor het ontwerp wordt in hoofdlijnen gegeven in (Smale 2018a en Rijkswaterstaat, 2017) aanscherpingen voor diverse projecten zijn gegeven in adviezen van Kennis Platform Risicobenadering (KPR)/Adviesteam dijken.

Het Ontwerpinstrumentarium (OI2014) kan gebruikt worden in de verkenningsfase van HWBP-projecten om relatief snel een aantal alternatieve oplossingsrichtingen met verschillende ontwerpuitgangspunten en tijdhorizonten uit te werken, inclusief gevoeligheidsanalyses. Het OI2014 is geen simpel receptenboek: ontwerpen is en blijft een kwestie van optimaliseren en maatwerk. Het OI2014 geeft geen vigerende Ontwerpinformatie, daarvoor moet Riskeer en/of Hydra-NL gebruikt worden, inclusief de databases die als referentiewaarden door het Rijk beschikbaar gesteld worden. Het OI volgt de kennis en de softwareontwikkeling op de voet, er zijn sinds 2014 5 updates geweest, de vigerende versie staat altijd op de helpdeskwater. Het Adviesteam Dijkontwerp (ADO), voorheen Kennis Programma Risicobenadering (KPR) brengt ook regelmatig "factsheets" uit om een toelichting te geven op het instrumentarium. Op basis van de gevoeligheidsanalyses en nieuwe kennis uit Kennis voor Keringen (of elders vandaan) kan gekozen worden om nieuwe productiesommen te maken, of om de instellingen van de modellen aan te passen. De beheerder stelt zelf de ontwerp-databases voor de betreffende waterkering formeel vast. De ontwerpvoorwaarden volgen dan uit het gebruik van de ontwerp-databases en de geometrie en ruwheid van de aan te leggen waterkering, dit is een iteratief proces. Toepassing van het ontwerpinstrumentarium is dus een iteratief proces net als de beoordeling. Permanent moet je controleren of de informatie en instrumenten geschikt zijn voor het doel, zo nee, moet men nadenken over een vervanging/verbetering.

Hydra-NL en Riskeer hebben beide een gebruikershandleiding waar stap voor stap wordt uitgelegd hoe de programma's werken. De meest recente versies zijn steeds beschikbaar via de Helpdesk Water. In mei 2021 zijn dit Hydra-NL versie 2.8.0 en Riskeer versie 21.1. Op de Helpdesk Water staan dan ook alle relevante achtergronddocumenten bij de software.

Zowel bij een toets op maat of een ontwerp kan een beheerder de gehele keten vanaf productiesommen opnieuw doorlopen. Dit document geeft ook informatie waarop men een keuze voor zo'n proces kan maken.

2 Algemene systeembeschrijving Vecht- en IJsseldelta

Dit hoofdstuk bevat een systeembeschrijving van de Vecht- en IJsseldelta zoals gehanteerd in WBI-2017 en grotendeels overgenomen van (Botterhuis et al, 2016). De normen per traject staan in paragraaf 12.8 (een bijlage).

2.1 Systeembeschrijving en dijktrajecten

Vechtdelta

De Vechtdelta bestaat uit het gebied van de Overijsselse Vecht vanaf km 36 (tussen Dalfsen en Ommen) tot de Ramspolkering in het Zwarte Meer, inclusief het Zwarte Water tot de Keersluis Zwolle en het Zwolle-IJsselkanaal. De buitendijkse polders langs het Zwarte Meer (bv. Kampereiland) en de waterlopen die deze polders doorsnijden, maken ook deel uit van de Vechtdelta. Zowel in WBI2017 en in de nieuwe productietrein is stapsgewijs het overlopen van deze polders vanuit het Ketelmeer, de IJssel en het Zwarte Water en Zwarte Meer aanzienlijk verbeterd ten opzichte van de WT12011/CR2011 en HR2006. Dit is beschreven in de impactanalyse Vecht- en IJsseldelta (Rozier en Kors, 2021).

In de Vechtdelta bevindt zich een aantal keersluizen. De belangrijkste kering is de Ramspolkering, welke hoge waterstanden op het Zwarte Meer en Zwarte Water moet voorkomen bij storm uit (noord-)westelijke richting, wanneer sprake is van forse opstuwung van de waterstand vanuit het IJsselmeer/Ketelmeer. Wanneer de waterstand bij Ramspol boven NAP +0,5 m komt en de stromingsrichting oostelijk is (van het Ketelmeer richting Zwarte Meer), gaat de Ramspolkering dicht. Voor de Overijsselse Vecht bovenstrooms van Vechterweerd is voornamelijk de afvoer bepalend voor hoge waterstanden. De wind heeft bovenstrooms op de Vecht op de smalle delen een geringe invloed op de waterstand. Op de brede delen bij Dalfsen, die normaal gesproken afvoergedomineerd zijn, lijkt de invloed van de wind uit de illustratiepunten niet verwaarloosbaar (Van Tol, 2018). Dit gedrag is tegenintuïtief en vraagt daarom in de toekomst nadere aandacht⁷. De keersluizen bij Kadoelen en het Meppelerdiep sluiten alleen bij hoogwater.

Voor zowel het Zwarte Meer als het Zwarte Water geldt dat zowel wind als afvoer van invloed zijn. De invloed van de wind wordt voor een groot deel door de balgstuw geëlimineerd, maar de wind houdt een belangrijke rol omdat de kering ook een faalkans heeft. Bij weinig wind is de Vechtafvoer dominant. Als de Ramspolkering faalt, speelt de wind een grotere rol dan de Vechtafvoer.

Op de Vecht gaat het systeem geleidelijk over van windgedomineerd (benedenstrooms, bij open kering) naar afvoergedomineerd (bovenstrooms en bij gesloten kering ook elders).

Het Kampereiland, de Mandjeswaard en de Pieper vormen bijzondere gebieden in de Vechtdelta. Dit zijn buitendijkse gebieden tussen het Zwarte Meer en de Kamperzeedijk. De regionale keringen die de eilanden van het Kampereiland beschermen tegen hoge waterstanden op het Zwarte Meer hebben in de modellen een gemiddelde hoogte van NAP +1,70 m met variaties van $\pm 0,20$ m. Sommige regionale waterkeringen zijn recentelijk verhoogd om de woningen beter te beschermen. Dit zit nog niet in de gebruikte modellen. Het gebied is zeer complex met vele kleine polders. Twee TU-studenten onderzoeken in

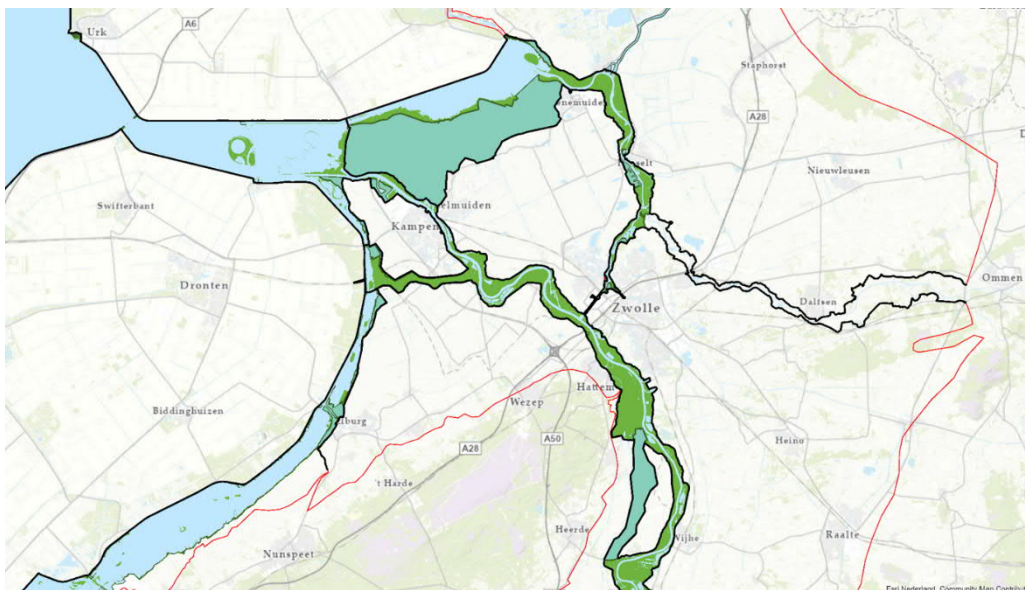
⁷ Bij de ontwikkeling van Hydra-VIJ is dit ook al eerder geconstateerd.

2021 via afstudeeropdrachten hoe dit gebied onderloopt. Die rapporten zijn midden en eind 2021 beschikbaar op de TU-repository.

IJsseldelta

De IJsseldelta omvat nu het gebied van de IJssel benedenstrooms van km 974 tot de IJsselmonding (\pm km 1006) inclusief het Reevediep. Door de inzet van het Reevediep (de impact van de IJsselafvoer op het Vossemeer zijn de grenzen van afvoergedomineerde situaties verschoven in bovenstroomse richting en opzichte van WBI2017. De huidige modelgrens bij Olst lijkt niet voldoende stroomopwaarts. Windeffecten reiken namelijk duidelijk verder stroomopwaarts de rivier op dan Olst. Dit zal na 2023 opgepakt moeten worden.

Hoge waterstanden in de IJsseldelta worden voornamelijk veroorzaakt door hoge afvoeren op de IJssel, hoge meerpeilen al dan niet in combinatie met stormen uit de noordwestelijke richting, of combinaties van beide. Afvoeren spelen voor de meeste locaties in de IJsseldelta direct of indirect een rol. Door de correlatie tussen de afvoer en het meerpeil komen hoge meerpeilen juist eerder samen met hoge afvoer voor. Alleen bij de meest benedenstroomse locaties is de rol van de afvoer beperkt (benedenstrooms van de inlaat van het Reevediep). De wind is in dit gebied bepalend voor hoge waterstanden. In het overgangsgebied (tussen Kampen en Zwolle) en in het Reevediep, speelt de wind ook een belangrijke rol. Ook voor lage waterstanden speelt de wind een belangrijke rol. Enkele jaren geleden ontstond er op de IJssel bij Deventer namelijk een waterstandsverlaging van enkele decimeters door een wind uit het zuidoosten.



Figuur 3: Dijken en buitendijkse gebieden in de Vecht- en IJsseldelta (met dank aan Wouter Rozier, Rijkswaterstaat, 2021)⁸

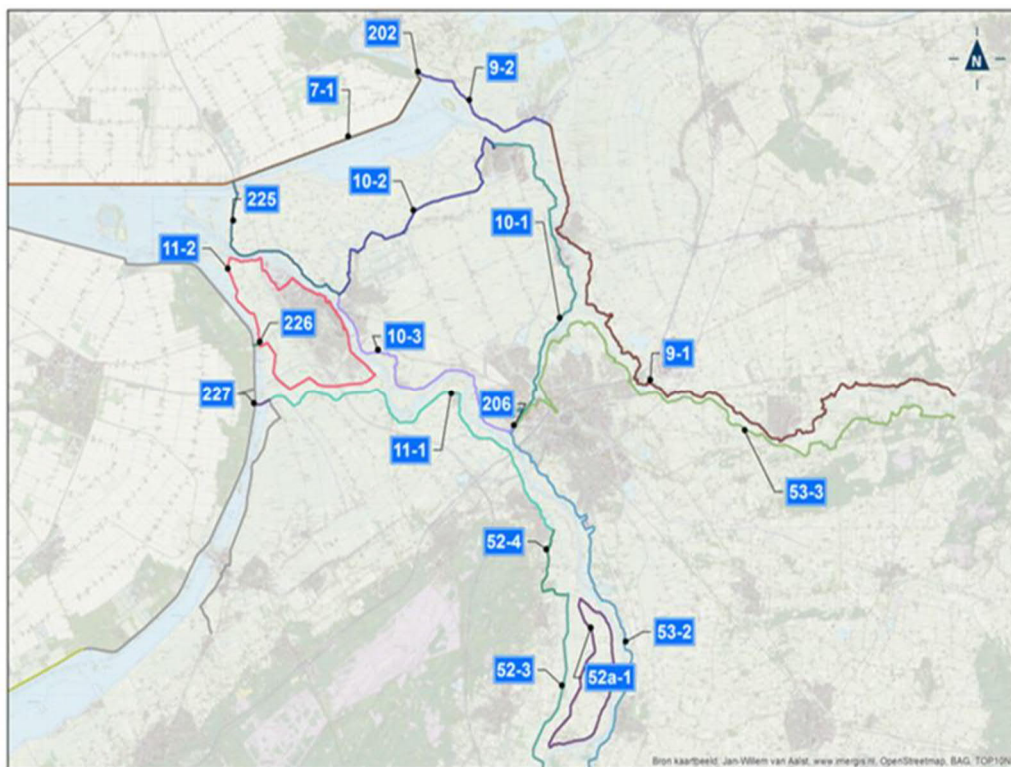
Ook op locaties die in WBI2017 tot de bovenrivieren behoren (bovenstrooms van Zwolle) speelt de windopzet en de windgolven een significante (niet verwaarloosbare) rol. Deze windopzet zit nu niet in de WBI2017 databases bovenstrooms van Zwolle. In de WBI2017 systematiek horen die trajecten namelijk bij de bovenrivieren. Voor de beoordeling (WBI)

⁸ Legenda/Noot: de Vecht is tot Dalfsen/Ommen in het belastingmodel opgenomen. De kleuren voor het water (licht blauw) en buitendijkse gebieden (beschermd licht groen) en onbeschermd (groen) ontbreken daar nu. Het slibdepot IJsseloog in het Ketelmeer heeft een hoge ringdijk. Roggebotsluis is in deze figuur nog niet verwijderd, in de modelresultaten in de databases wel.

is in overleg met de waterschappen in 2020 besloten de grenzen tussen bovenrivieren en Vecht en IJsseldelta niet verschuiven. Voor het ontwerpproces (OI) mag een beheerder deze keuze zelf maken.

2.2 Dijktrajecten

Het systeem van de Vecht- en IJsseldelta omvat volgens de vigerende indeling in dijktrajecten (figuur 4) de trajecten uit Tabel 2.1. De (buiten)wateren van de IJssel- en Vechtdelta zijn: Zwarte Meer, Zwarte Water, Vossemeer, delen van het Ketelmeer⁹, Reevediep, IJssel en Overijsselse Vecht.



Figuur 4: Dijktrajecten langs de Vecht- en IJsseldelta¹⁰

De WBI2017-grenzen tussen bovenrivieren en de Vecht- en IJsseldelta zijn niet aangepast. Voor ontwerpdoeleinden zijn de trajecten bovenstrooms van Zwolle wel vrijgegeven. Deze zijn correcter dan de OI2014 bestanden voor de Rijntakken en de WBI2017 bestanden, omdat ze zowel het Reevediep fase II bevatten, een adequate windmodellering inclusief aftopping van de wind boven de 30 m/s en aangepaste modelonzekerheden.

⁹ Dit betreft traject 225. Dit is een aanpassing t.o.v. WBI2017 waarbij dit gebied deels tot het Ketelmeer behoorde. Het is eenvoudiger voor de gebruiker om een traject in maar één watersysteem te hebben.

¹⁰ Traject 8-4 langs het Vossemeer ontbreekt in deze figuur, maar staat wel in tabel 2.1.

# traject	watersysteem	beheerder	Update ja/nee
7-1	Zwarte Meer	Zuiderzeeland	Ja, WBI en OI
7-2	Ketelmeer /IJsselmeer	Zuiderzeeland	Nee, onbetrouwbaar ¹¹
8-4	Ketelmeer, Vossemeer	Zuiderzeeland	Ja, WBI en OI, Vossemeer, nee Ketelmeer
9-1	Vecht en Zwarte Water	WDOD	Ja, WBI en OI
9-2	Zwarte Meer	WDOD	Ja, WBI en OI
10-1	Zwarte Water	WDOD	Ja, WBI en OI
10-2 ¹²	Zwarte Meer	WDOD	Ja, WBI en OI
10-3	IJssel	WDOD	Ja, WBI en OI
11-1	IJssel en Reevediep	WDOD en Vallei en Veluwe	Ja, WBI en OI
11-2	IJssel en Vossemeer	WDOD	Ja, WBI en OI
52-a-1 Eiland bij Veessen/Wapenveld	IJssel	Vallei en Veluwe	Nee, voor WBI, keuze waterschap
52-2	IJssel	Vallei en Veluwe	Nee, voor WBI, OI keuze waterschap ¹³
52-3	IJssel	Vallei en Veluwe	Nee, voor WBI, OI keuze waterschap
52-4	<i>IJssel</i>	<i>Vallei en Veluwe</i>	<i>Nee, voor WBI, OI keuze waterschap</i>
53-1	<i>IJssel</i>	<i>WDOD</i>	<i>Nee, buiten de modelschematisatie,</i>
53-2	IJssel	WDOD	Nee, voor WBI, OI keuze waterschap
53-3	IJssel	WDOD	Nee, voor WBI, OI keuze waterschap
202 ¹⁴ Kadoelersluis	Zwarte Meer	Zuiderzeeland	Ja, WBI en OI
206 Spooldersluis	IJssel	Rijkswaterstaat	Ja, WBI en OI
225 Ramspol- IJsselmuiden	IJssel, Ketelmeer	WDOD en Rijkswaterstaat	Ja, WBI en OI
226 Roggebotsluis	Vossemeer	Rijkswaterstaat	vervalt
227 Reevesluis	Reevediep /Dontermeer.	Rijkswaterstaat	Ja, WBI en OI

tabel 2.1 Alle relevante trajecten in deze studie en de conclusie per database¹⁵

Eerst zijn alle wensen voor informatie per dijktraject besproken in de watersysteemgroep. Daarna zijn alle dijktrajecten gegenereerd. Vanwege diverse redenen, maar vooral de

¹¹ Golf data zijn onbetrouwbaar door de knip in het SWAN-model halverwege het Ketelmeer

¹² In 2018 is al een database op basis van de WAQUA-sommen van (Stijnen, et al 2018) geleverd voor traject 10-2, met de WBI-modelonzekerheden en met een conservatieve benadering op basis van Bretschneider voor windgolven.

¹³ Noot: knip halverwege het traject ter hoogte van Olst.

¹⁴ Trajectnummers met 200 of meer zijn verbindende keringen met aan beide zijden water.

¹⁵ De norm of frequentie is beschikbaar in Bijlage I van de ministeriele regeling.

kwaliteit van de data, zijn databases afgekeurd. Dit is het geval bij de databases langs het Ketelmeer. De grens van het SWAN-model loopt namelijk dwars over het Ketelmeer. Het enige traject langs het Ketelmeer dat het team betrouwbaar acht is 225, de dijk van IJsselmuiden naar Ramspol.

Er zijn ook aanvullende wensen voor hydraulische belastingen voor andere processen: normering regionale waterkeringen Kampereiland, bepaling crisismaatregelen Kampereiland, beoordeling en ontwerp regionale waterkeringen Kampereiland, Monitoring Ruimte voor de Rivier maatregelen. Tabel 2.2 geeft een overzicht van deze aanvullende wensen.

# traject	watersysteem	beheerder	Update
Regionale waterkeringen Kampereiland	Zwarte Meer	WDOD,	ja
		wens Provincie Overijssel voor de normering van deze keringen	
Watergangen Kampereiland	Zwarte Meer	Rijkswaterstaat	nieuw
Ketelpolder	IJssel/Vossemeer	WDOD	Ja
Natuurgebieden	Vossemeer, Reevediep, Zwartemeer, Ketelmeer	Rijkswaterstaat	Nieuw
As-locaties	IJssel, Vecht, Zwarte Meer en zwarte Water	Rijkswaterstaat	ja
As-locaties nevengeulen	IJssel	Rijkswaterstaat	Nieuw
Controle locaties IJsselmeer (hoekpunten)	IJsselmeer	Rijkswaterstaat	Nieuw

Tabel 2.2: Extra databases voor andere processen, geleverd op verzoek van Rijkswaterstaat, WDOD of de provincie Overijssel.

3 Windmodellering

3.1 Windmodellering, een overzicht

Bij de windmodellering zijn de volgende zaken van belang:

1. Keuze KNMI-referentiestation voor de windstatistiek
2. De vertaling van het referentiestation naar het watersysteem
3. Windinvoer voor de productiesommen

Ad 1) De windstatistiek is bepaald uit langjarige meetreeksen van KNMI-Schiphol. Het betreft zogenaamde potentiële wind (wind vertaald naar 10m hoogte met in de directe omgeving kort gras zonder obstakels)

Ad 2) Hierbij wordt de zogenaamde openwatertransformatie gehanteerd, zoals beschreven in (Chbab en de Waal, 2017).

Ad 3) Het betreft de modellering van windschematisaties in ruimte en tijd (opgehangen aan de windrichting en maximale windsnelheid uit de windstatistiek), zoals gebruikt in de productiesommen. Daarnaast betreft het de zogenaamde windschuifspanningscoëfficiënt: een maat voor de sleepkracht die wind en water op elkaar uitoefenen.

Hieronder volgt nog een aantal nadere beschouwingen en uitwerkingen.

Het IJsselmeer, de Vecht- en IJsseldelta staan (afgezien van sluiting van de Ramsolkering) in open verbinding met elkaar. Het is dus logisch consistente windkeuzes te maken voor dit hele watersysteem. Rijkswaterstaat hanteert dus de inzichten ten aanzien van wind uit WBI2017 van het IJsselmeergebied voor de Vecht- en IJsseldelta, en verbetert daarop in deze levering.

3.2 Keuze referentie station, Schiphol

Zoals hierboven aangegeven wordt de windstatistiek van KNMI-Schiphol gebruikt, zie ook par. 7.2. Daarmee wordt aangesloten bij de Vecht-IJsseldelta keuzes van WBI2017, en ook grotendeels bij die van WBI2017-IJsselmeer. Het enige verschil is dat voor WBI-IJsselmeer de winddragaftopping¹⁶ via een work-around is verwerkt in de windstatistiek, terwijl deze voor de Vecht-IJsseldelta expliciet in de wind-, waterbewegings- en golfmodellen wordt verwerkt. Wel is er een verschil met de Bovenrivieren, waar het mildere windklimaat beter wordt beschreven met KNMI-Deelen, dat daar dan ook voor WBI als referentiestation is gebruikt.

3.3 Vertaling van het referentiestation naar het watersysteem

Voor de vertaling van de eerdergenoemde potentiële het KNMI-referentiestation op land (in dit geval Schiphol) naar het betreffende watersysteem wordt in WBI2017 gebruik gemaakt van een (open-water)transformatiefactor. Deze varieert van 1,12 (12% extra openwaterwind ten opzichte van Schiphol) bij zwakke wind, tot circa 1,02 bij extreem harde wind. Zie tabel 3.1 van (Chbab en de Waal, 2017). Voor de huidige BOI2020-update voor de Vecht-IJsseldelta zijn dezelfde keuzes gemaakt.

Daarbij moet wel worden opgemerkt dat al geruime tijd wordt gezocht naar een betere ruimtelijke windmodellering. Rijkswaterstaat wil hiervoor samen met KNMI tot een

¹⁶ Winddrag is de windschuifspanning, dit bepaalt de kracht die wind en water op elkaar uitoefenen.

nauwkeuriger, fysisch beter onderbouwde, en landelijk dekkende methode komen, maar deze is op dit moment nog niet beschikbaar (Brink en Bottema, 2017).

3.4 Windinvoer voor de productiesommen

Bij de windinvoer voor productiesommen zijn drie zaken van belang:

1. Windverloop in de tijd
2. Ruimtelijk windverloop
3. Aftopping van de winddrag

Ad 1) De productieberekeningen golven worden stationair uitgevoerd (Hoofdstuk 5); hiervoor is het tijdsverloop van de wind niet relevant. Voor de WAQUA-productiesommen voor de waterbeweging is het tijdsverloop wel belangrijk (Botterhuis et al, 2017). Hiervoor wordt grosso modo een trapeziumvormig windverloop met een basisduur (duur met windsnelheid groter dan 0 m/s) van 48 uur en piekduur van 2 uur gehanteerd, waarbij ook enige winddraaiing is toegepast, dit alles op dezelfde wijze als in WBI2017. Dat betekent dat de wind gedurende het stormverloop ruimt (van bijvoorbeeld zuidwest naar west of noordwest), voor de waterstandmodellering een potentieel relevant aspect.

Ad 2) Voor het ruimtelijk windverloop wordt net als in WBI2017 en de aangrenzende watersystemen een ruimtelijk uniform windveld gehanteerd, uiteraard inclusief eerdergenoemde openwatertransformatie.

Hierbij past een belangrijke kanttekening. Er zijn namelijk diverse aanwijzingen voor een grootschalige windklimaatgradiënt over Nederland, waarbij het windklimaat (en ook het stormklimaat voor extreme winden) van Noordwest naar Zuidoost milder wordt, en dat dan vooral bij stormen uit het Noordwesten. Dit bleek al uit de windstatistieken van Wieringa en Rijkoort (1983), en werd uitgebreid, en ook voor extreme wind, bevestigd door de windstatistiek van (Caires, 2009). Ook in de verschillen tussen de windstatistieken van KNMI-Schiphol (voor WBI2017-IJsselmeergebied en Vecht-IJsseldelta) en KNMI-Deelen (voor WBI2017-Bovenrivieren) is deze klimaatgradiënt duidelijk terug te zien. WDOD heeft HKV een gevoeligheidsanalyse laten uitvoeren naar het verdisconteren van deze windklimaatgradiënt (Stijnen en Daggenvoorde 2019). De invloed bleek groot (decimeters) voor met name de vereiste dijkhoogten en het Hydraulisch Belastingniveau. Desondanks is deze NW-ZO-windklimaatgradiënt nog niet verdisconteerd in de in dit rapport beschreven productiesommen. De reden hiervoor is –in lijn met wat hierboven al is aangegeven- dat Rijkswaterstaat samen met KNMI eerst tot een landsdekkende methode wil komen, voordat er voor één systeem onomkeerbare keuzes worden gemaakt op basis van voorlopige informatie.

Ad 3) Bij (open-water-)windsnelheden boven 30 m/s grijpen wind en water geleidelijk minder effectief op elkaar aan. Dit hangt waarschijnlijk samen met het gegeven dat steeds meer golfkammen dan stukwaaien. In modellen wordt dit verschijnsel weergegeven door het aftoppen van de winddragcoëfficiënt. Zie Van Vledder (2017) en Bottema (2018) voor details.

De methode van Van Vledder (2017) is toegesneden op het verdisconteren van de aftopping via de windstatistiek. Dit is de workaround die in WBI2017 voor IJsselmeer en Markermeer is gekozen. De voor Vecht-IJsseldelta aangedragen methode van Bottema (2018) is toegesneden op het direct in de modellen aanpassen van de dragcoëfficiënt. Omwille van de consistentie moet de aanpassing (de aftopping) worden doorgevoerd in zowel de windmodellen, de waterbewegingsmodellen als de golfmodellen. De methode staat overigens een toekomstige toepassing van niet-uniforme windvelden niet in de weg, omdat deze ook daarvoor toepasbaar is.

3.5 Een overzicht van de windkeuzes

Tabel 3.1 geef een samenvattend overzicht van alle hierboven besproken windkeuzes:

Thema / sommenset	HR1996/ HR2001/ Ruimte voor de rivier	TMR2006 (gebruikt in VNK1 en VNK2)	WBI2017	BOI mei 2021
Open water wind	Mogelijk u* schaling bij de rand bij IJsselmonding conform Hydra-M IJsselmeer	Ja	Ja	ja
Stormduur	9+2 uur voor de rand bij IJsselmonding	48 uur	48 uur	48 uur
Windveld uniform	Boven IJsselmeer niet IJsseldelta	Rand bij Ketelbrug	rand bij Afsluitdijk analoog CR2011/WTI2011	rand bij Afsluitdijk
Wind op de rivier	Nee niet voor waterbeweging wel voor golven	wind op de rivieren IJssel en Vecht	wind op de rivieren IJssel en Vecht	wind op de rivieren IJssel en Vecht
Winddraaiing	Nee	nee	Ja, op IJsselmeer en Vecht en IJsseldelta	Ja, op IJsselmeer en Vecht en IJsseldelta
Drag aftopping	nee	nee	Ja op IJsselmeer Nee op Vecht en IJsseldelta	ja
Windgradiënt	nee	nee	nee	nee
Bronnen	Hartman 1995 Hartman et al, 2005 Hoeven, 2020	Beijk, 2008 en de Waal, 2003	Botterhuis et al, 2016	Vledder, 2017, Bottema 2018, Stijnen et al 2018, Klein en Boersen 2018

Tabel 3-1: overzicht van de belangrijkste keuzen voor de windmodellering

3.6 Wind bij Ruimte voor de Rivier.

In de IJsseldelta worden meerdere varianten van windmodellering naast elkaar gebruikt. Wind wordt bij WBI2017 en BOI anders gemodelleerd dan in het afwegingskader van de Zomerbed Verdieping (van Ruimte voor de Rivier) en de Bypass van Kampen / het Reevediep (ter Hoeven, 2020) dat door het programma Ruimte voor de Rivier en de projectorganisatie IJsseldelta-Zuid is gebruikt. Dat afwegingskader is gebaseerd op de verhanglijjn methode (Hartman 1995, en Hartman et al, 2005). Deze methode kijkt alleen naar waterstanden en niet naar golven. De windinvloed wordt in die methode alleen op de benedenrand op het Ketelmeer (IJssel km 1006) in de WAQUA-schematisatie van de IJssel meegenomen (via een verhoogde waterstand). De invloed van de wind binnen het model zelf is niet meegenomen. In 2001 was namelijk nog geen waterbewegingsmodel beschikbaar dat alle watersystemen omvat die in open verbinding met elkaar staan: IJsselmeer, Ketelmeer, Vossemeer, IJssel, Zwarte Meer, Zwarte Water en Vecht.

Rijkswaterstaat is vanaf 2007 voor andere processen zoals de Risicokaart van Nederland en voor Veiligheid Nederland in Kaart (VNK-1 en VNK-2) overgestapt op een volledig probabilistisch model voor waterstanden en golven in de Vecht- en IJsseldelta, waarbij de wind op het gehele gebied van IJsselmeer¹⁷ en de Vecht- en IJsseldelta doorwerkte. Deze systematiek heeft ook een plek gekregen in het ruimtelijk beoordelingskader van de rivieren sinds 1 januari 2014 (Kroekenstoel, 2014). In het Reevediep en het afgekapte Drontermeer is deze probabilistische methode door het projectbureau gebruikt voor de bepaling van de dijkhoogten. De databases voor het dijkontwerp zijn gemaakt in de opdracht (Wojchichowska 2010).

¹⁷ In TMR2006 (Beijk, 2006) werd waterstands- en golf informatie overgedragen van het IJsselmeer naar de Vecht en IJsseldelta via een modelrand bij Ketelbrug. Dit bleek arbeidsintensief, foutgevoelig en werkte arbitraire keuzen in de hand. Sinds WT12011 is het hele IJsselmeer opgenomen in de modellering van de Vecht en IJsseldelta. Alle gebieden staan namelijk in open verbinding met elkaar.

4 Waterstandsmodellering

De uiteindelijke keuzen voor de waterstandsmodellering zijn gebaseerd op een groot aantal verschillende rekenexercities en tijdelijke databases voor tussentijdse controles. Deze zaken hebben geholpen om stap voor stap het systeem te leren kennen.

De kennis van hydraulische belastingen in de Vecht- en IJsseldelta is laat op gang gekomen. Kors (1994) beschrijft als eerste een probabilistisch model voor de bouw van Ramspol. Op dat moment lag er een harde knip van het IJsselmeermodel bij Kampen. En er lag een harde knip van het Rijntakkenmodel in de IJsselmonding (bij KM 1006 van de IJssel).

Het eerste gezamenlijke waterbewegingsmodel voor storm en afvoer is pas in TMR2006 gereedgekomen. In 2011 is het eerste waterbewegingsmodel gemaakt waarin alle watersystemen staan die in open verbinding met elkaar staan: IJsselmeer, Ketelmeer, Vossemeer, IJssel, Zwarte Meer, Zwarte Water en Vecht. Dat het modelleninstrumentarium zichtbaar is verbeterd is te zien aan de beschrijving van het instromen van het Kampereiland. Dat is stap voor stap elke zes jaar in TMR2006, WT12011 en WT12017 verbeterd (Rozier en Kors, 2020).

4.1 Gemodelleerd gebied

Voor de waterbeweging is de IJssel vanaf km 974, de Vecht vanaf km 37, het Reevediep, het Zwarte Meer, het Vossemeer, het Ketelmeer, het IJsselmeer en het gehele gebied van buitenpolders bij Kampereiland gemodelleerd.

4.2 Bouw schematisatie Reevediep fase II en Optimalisatie inlaat

In deze paragraaf wordt ingegaan op aanpassingen aan het model die na afloop van de WBI2017-release zijn doorgevoerd. Deltares heeft in het kader van regulier beheer en onderhoud de maatregel Reevediepfase II opgenomen in baseline¹⁸ en in de schematisatie van WAQUA. De uitbreiding van de schematisatie is beschreven in (Becker A, Fujisaki A, 2017). De uitvoerpunten in het Reevediep zijn tijdens deze opdracht ook bepaald, na overleg met BOI.

De gevoeligheidsanalyses van Rijkswaterstaat Oost-Nederland voor de inlaathoogte waren noodzakelijk omdat Ruimte voor de Rivier en het projectbureau de regelbare inlaat¹⁹ hadden verwijderd uit het ontwerp van de Reevediep-I na de beslissing van de minister over Reevediep fase II. Als de overlaat niet afgesloten kan worden, treedt een kortsluitstroom op vanuit het Reevediep naar de IJssel bij storm, zie (Slomp, et al 2001 en Wojciechowska, 2010).

Een extra reden om ook te kijken naar de optimalisatie van de inlaathoogte was het vermijden van dijkversterkingen langs de IJssel door meer water richting Reevediep te trekken.

¹⁸ Reevediep fase I, was niet opgenomen in Baseline, maar werd gemodelleerd als een onttrekking bij de inlaat km 990 en toevoeging van hetzelfde volume bij Roggebotsluis.

¹⁹ Tot 2013 (Tauw et al, 2013) is nog sprake van een regelbare inlaat, of deze kortsluitstroom kan voorkomen wordt niet genoemd.

Deze gevoeligheidsanalyses van Oost Nederland om de drempelhoogte te bepalen waren van ook belang om de werking van de IJsseldelta onder storm en afvoer te doorgronden. Er is gekeken een optimale inlaathoogte en naar de benodigde breedte van de uitlaat ter hoogte van de te verwijderen Roggebotsluis. Met het verwijderen van de Roggebotsluis komt er een brug voor de N307. De minimale doorstroombreedte van de riviertak onder de brug moest worden gecontroleerd; een breedte van 100 meter blijkt noodzakelijk.

Er zijn ook gevoeligheidssommen gedaan naar een verandering van de vegetatie in de bypass en de terreinhoogte van de bypass. Daaruit zijn geen adviezen gekomen met wijzigingen.

Het verlagen van de inlaat heeft nagenoeg geen invloed op de waterstanden bij de norm voor de trajecten. Het gebied stroomt al relatief vroeg in (bij T=5 jaar) en het voorland ligt relatief hoog voor de inlaat.

Het verhogen van de inlaat met een halve meter om de kortsluitstroom vanuit het open Reevediep naar de IJssel te verkleinen, verkleint de afvoercapaciteit dermate dat het geen zinvolle beheersmaatregel is.

In sommige gevoeligheidsstudies van (Paarlberg en Kater, 2018) is, anders dan voor de huidige Vecht-en-IJssel-update voor BOI (mei 2021), niet gerekend met winddrag-aftopping boven de 30 m/s.

4.3 Overzicht uitgevoerde sommen op het Nationaal water model

Als voorbereiding op de productie van Hydraulische Belastingen binnen BOI is geëxperimenteerd met een nieuwe rekenomgeving, het Nationaal Water Model (NWM). Een overzicht van de stochastcombinaties is gegeven in tabel 4.1.

Aantal	Keringsituatie	Meerpeil	Afvoer IJssel	Afvoer Vecht	Windsnelheid	Windrichting
	K	M	Q	Q	U	D
	Kering	[m+NAP]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	m/s	graden
1	sluitregime	-0,4	100	10	0	
2	altijd open	-0,1	500	100	10	ZW 225
3		0,4	950	250	16	WZW 247
4		0,9	1400	400	22	W 270
5		1,3	1850	550	27	WNW 292
6		1,5	2300	700	32	NW 315
7			2750	850	37	NNW 337
8			2975	925	42	N 0 / 360
9			3200	1000	47	
10			3400	1067		
11			3600	1133		
12			3800	1200		
13			4000	1267		
totaal per stochast	2	7	13	13	9	7
Totaal (zonder U=0)		8736				
Totaal (alleen U=0)		156				
TOTAAL		8892				

Tabel 4.1 Stochastcombinaties Productiesommen 2018 (Stijnen, et al 2018)

De testcase betrof zo'n 9000 sommen (hetzelfde aantal als bij WBI2017 voor de Vecht en IJsseldelta).

Enkele opmerkingen over deze tabel 4.1,

- De afvoeren van de IJssel en de Vecht zijn aan elkaar gekoppeld (analoog aan de 1-op-1 relatie tussen de Rijn en de Maas in de Benedenrivieren, dit is een versimpeling). De hoogste IJsselafoer correspondeert altijd met de hoogste Vechtafoer.
- De IJsselafoer is de afvoer benedenstrooms van rivierkilometer 957 nabij Olst; de Vechtafoer is de afvoer benedenstrooms van rivierkilometer 35 bij de Vasenerbrug nabij Ommen. We gebruiken daarbij de afvoerstatistiek bij Dalfsen.
- Tot een IJsselafoer van 2300 m³/s wordt gerekend met stationaire afvoeren; daarboven met afvoergolven op de IJssel.
- Het IJsselmeerpeil is gelijk aan de initiële waterstand op het IJsselmeer. Door middel van een afvoeronttrekking bij Kornwerderzand en Den Oever is het meerpeil tijdens de berekening constant gehouden.
- De windsnelheid in de tabel is de potentiële windsnelheid. Bij het maken van de berekeningen is nog een vertaling nodig van potentiële wind (U_{pot}) naar open-water windsnelheid (u_{10}). Ook het meenemen van winddragafkapping moet nog meegenomen worden bij het uitvoeren van de productieberekeningen.
- Windrichting (nautisch): 360 (=0) graden is noordenwind, 90 graden komt uit het oosten, etc.

Opvallend is dat er meer windsnelheden in (Stijnen et al, 2018) zijn doorgerekend dan in WBI2017. De Oostenwind is nu niet meer meegenomen; in de modelinvoer is deze gelijkgesteld aan nul. Dit heeft in de Vecht- en IJsseldelta geen effect op de veiligheid. Dit is door HKV aangetoond via probabilistische berekeningen en illustratiepunten. De Oostenwind is wel van belang op het IJsselmeer. Hierdoor zijn de controlepunten op het IJsselmeer minder bruikbaar voor een vergelijking met WTI2011 waarden uit WAQUA.

Een belangrijk nevendoeel van deze productieset (Stijnen et al 2018) was om te begrijpen hoe het nieuwe watersysteem gaat functioneren en om deze kennis tijdig te delen met alle betrokken waterkering- en watersysteembeheerders.

4.4 Lateralen

De debieten van de lateralen van de IJssel zitten verstopt in de afvoer bij Olst en enkele afvoeren onder vrij verval (zoals het Apeldoorns Kanaal) en gemalen zijn als stationaire afvoeren opgenomen :

- diverse_beken_gemalen_km_975_985
- diverse_gemalen_km_987_1002.

De lateralen van de Vecht zijn afvoerafhankelijk meegenomen. Zedemuden in het Meppelderdiep is het grootste gemaal met een maximum van 117 m³/s daarna volgen Streukelzijl 25 m³/s, Kosterverlorenzijl 6,5 m³/s, Kloosterzijl 5 m³/s en Westerveld 1 m³/s. Gemalen langs de IJssel spelen relatief gezien een minder belangrijke rol dan langs de Vecht. De afvoer vanuit de Zwolse grachten is op 68 m³/s gemaximeerd (Agtersloot en Paarlberg, 2017)

4.5 Tijdsafhankelijkheid (conform WBI 2017)

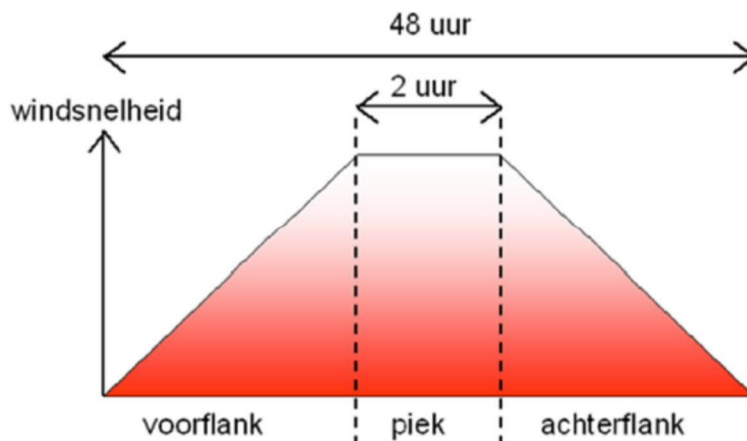
In de Vecht- en IJsseldelta zijn er langzame stochasten zoals meerpeil en afvoer, en daarnaast snelle stochasten zoals wind. Een deel van de tijdsaspecten wordt verwerkt in het belastingmodel (zoals meerpeil, via een trapezium), een deel wordt zowel verwerkt in het belastingmodel (hoofdstuk 6) als in de productiesommen.

Het meerpeil is in de WAQUA-berekeningen constant gehouden door evenveel water uit te laten als binnenkomt.

De IJsselafvoer is in het lage bereik (de eerste 6 afvoerniveaus tot 2300 m³/s) een permanentie en in het hoge bereik een afvoergolf. Dit om het overstromen van het Kampereiland goed te kunnen modelleren. De Vecht is in alle gevallen een stationaire afvoer (Agtersloot en Paarlberg, 2017).

Er is een faseverschil tussen afvoeren (Vecht en IJssel) en meerpeil(verlopen), en daarnaast tussen afvoeren (Vecht en IJssel) en wind. Het faseverschil tussen de Vecht- en IJsselafvoeren wordt op nul gezet (dit is de 1-op-1 relatie). Het begintijdstip van de afvoergolf en een storm is zo gekozen dat de top van de storm en de afvoergolf bij Ketelbrug samenvallen. Dit gebeurt als de top van de afvoergolf bij Olst 8 uur voor de maximale windsnelheid plaatsvindt.

Analoog aan WBI2017 is uitgegaan van een trapeziumvormig windverloop zoals te zien is in Figuur 5 hieronder. Er is ook uitgegaan van een winddraaiing conform WBI2017.



Figuur 5: Trapeziumvormig windverloop

4.6 Dragaftopping

Boven de 30 m/s is de wind afgetopt conform de adviezen van (Vledder, 2017 en Bottema, 2018). Dit is voor de Vecht en IJsseldelta anders dan in WBI2017, maar consistent met het IJsselmeer voor WBI2017. Waar dit in het IJsselmeer (WBI2017) via een statistische correctie werd verwerkt, wordt dit nu direct in de productiesommen verdisconteerd.

De verhouding tussen open-water-wind en potentiële wind U_{ow}/U_{pot} kan nooit verder dalen dan de waarde die bereikt wordt zodra de open-water-wind groter wordt dan 30 m/s. In feite betekent dit dat wordt afgekapt op 28,3 m/s potentiële wind (Bottema, 2018).

4.7 Overzicht van de veranderingen in de waterstandsmodellering

De belangrijkste veranderingen ten opzichte van WBI2017 voor de productiesommen zijn:

- De opname van de maatregel Reevediep, inclusief de bovenstroomse inlaatdrempel op en benedenstrooms ter hoogte van Roggebotsluis een uitlaat van 100 meter breed;
- Het meenemen van de nieuwste kennis uit WBI2017 ten aanzien van de winddragaftopping (Vledder, 2017).
- Aanpassing van de modelonzekerheden in de waterstanden en golven.

Deze productiesommen zijn in de volgende opeenvolgende projecten gebruikt:

- Impact Analyse Vecht en IJsseldelta (Rozier en Kors, 2021) op basis van de analyses van (Van der Tol, 2018)
- Adviezen voor het Projectplan Waterwet (Stijnen en Daggenvoorde, 2018, Stijnen et al 2019a en Stijnen et al 2019b)
- Databases voor het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium BOI (Daggenvoorde en Duits, 2021)

Alle maatregelen van Ruimte voor de Rivier en het Reevediep die zijn opgenomen in dit model zijn te vinden in de bijlagen van het huidige rapport.

5 Golfmodellering

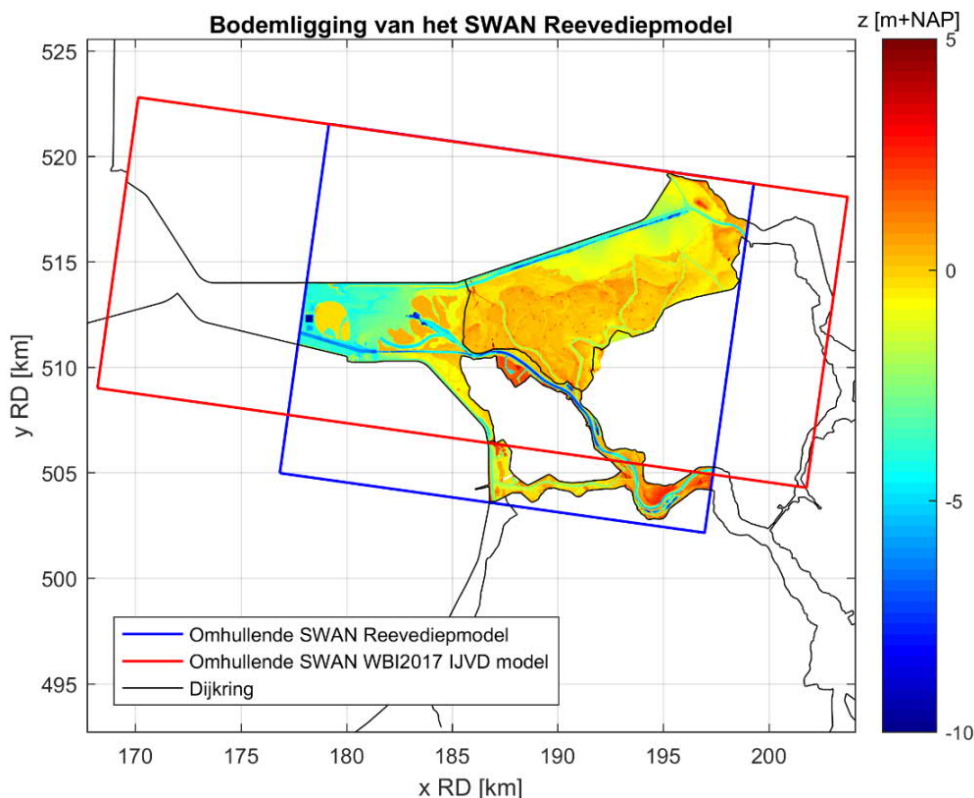
De golfmodellering is stapsgewijs doorgevoerd, net als de waterstandsmodellering. Er zijn meerdere sets databases gemaakt met Bretschneider sommen (inclusief aftopping van windschuifspanning) voordat SWAN sommen zijn gemaakt voor Reevediep, Vossemeer en de monding van de IJsseldelta (in 2019), en daarna voor het Zwarte Meer en Kampereiland (in 2020). Omdat er stap voor stap is gewerkt, kon de impact van de dragaftopping goed in beeld worden gebracht.

Als gevoeligheidsanalyse is nog gekeken of vlakke of hellende waterspiegels de voorkeur verdienen (Daggenvoorde en Vuik, 2021). De uitkomst was dat dit niet uitmaakt voor de Vecht en IJsseldelta. In de huidige productie sommen zijn vlakke waterspiegels gebruikt (Boersen, 2020).

De golfmodellering voor Bretschneider en SWAN hanteren dezelfde stochastcombinaties als voor de waterstanden. Er worden wel minder SWAN sommen gemaakt dan voor WAQUA. Bij de bouw van de databases wordt dit opgelost. In paragraaf 5.3 wordt dit besproken.

5.1 Gemodelleerd gebied met SWAN

De huidige Hydraulische Belastingen update (mei 2021) gaat uit van een ander SWAN model dan dat van WBI2017. In het SWAN model van WBI2017 zitten het Vossemeer, het Ketelmeer en het Zwarte meer. Het SWAN model van WBI mei 2021 (Klein en Boersen, 2019), Boersen (2020) bevat maar een half Ketelmeer, maar wel het gehele Vossemeer, het Reevediep, en de IJssel tot aan de inlaat van het Reevediep.



Verskil tussen gebied in SWAN WBI2017 en SWAN WBI mei 2021

Deltares heeft bij het Consistentie team Hydraulische Belastingen van BOI geadviseerd om voor traject 8-4 en traject 7-2 langs het Ketelmeer niet over te stappen op de nieuwe SWAN-berekeningen vanwege de knip halverwege het Ketelmeer. Hierdoor blijven voor dit gebied de WBI2017 berekeningen geldig. Er is geen invloed van het Reevediep op de waterbeweging van het Ketelmeer.

5.2 Gemodelleerd gebied met Bretschneider

5.2.1 *Het gehele gebied met Bretschneider in 2018*

In Stijnen et al 2018 zijn de WAQUA databases getest met golven bepaald met Bretschneider waar ook de winddragafkapping in is meegenomen. Hierdoor was direct het verlagende effect op het Hydraulisch Belastingniveau zichtbaar.

5.2.2 *Smalle wateren met Bretschneider in 2020/2021*

In Daggenvoorde en Duits (2021) zijn de Vecht (vanaf km 37), het gehele Zwarte Water en de IJssel vanaf km 974 t/m km 980 in Bretschneider gemodelleerd.

De modellering is conform WBI2017

- Van bandijk tot bandijk
- Zonder alle grote objecten in de rivier mee te modelleren

In de Bretschneider sommen is het effect van de winddragafkapping meegenomen via een correctie op de windsnelheid. Dit is anders dan WBI2017.

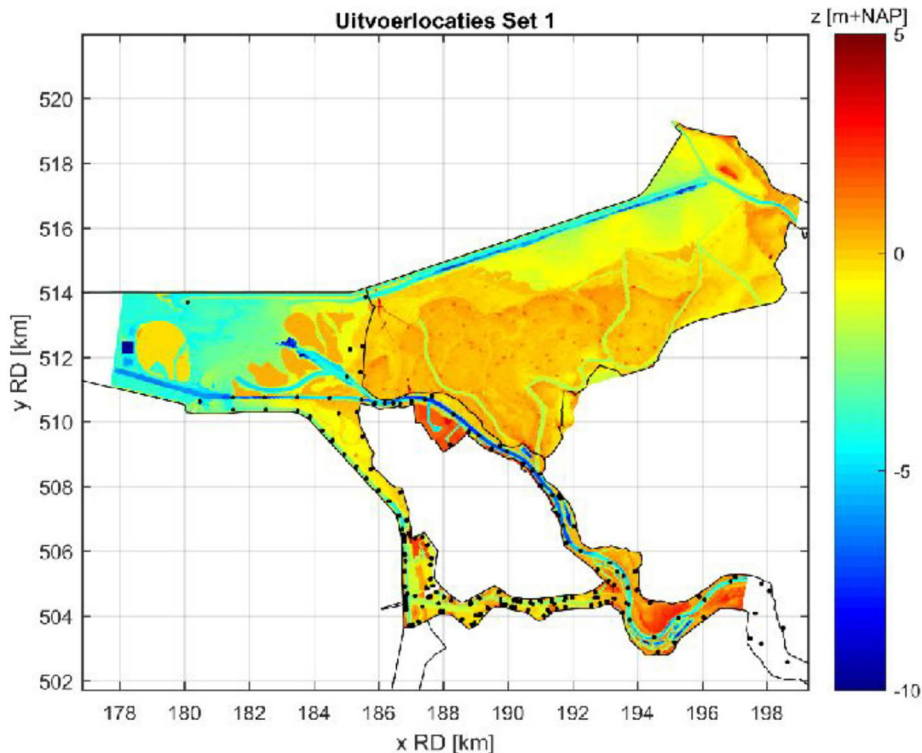
5.3 Een overzicht van de uitgevoerde sommen

5.3.1 *Open kering en gesloten kering*

De SWAN productiesommen zijn in twee fasen uitgevoerd:

- Een focus op het Reevediep, de IJsselmonding en Vossemeer (Klein en Boersen 2018), zie figuur 6 en 7. Voor Zwarte Meer en Kampereiland zijn de sommen relevant voor de situatie met gesloten Ramspolkering.
- Aanvullende sommen voor het Zwarte Meer en het Kampereiland (met open Ramspolkering), Boersen, 2020). De tweede set productieberekeningen is gecontroleerd door Wegman (Wegman, 2020)

Alle SWAN-productieberekeningen zijn gemaakt inclusief het afkappen van de windschuifspanning (volgens Vledder, 2017 en Bottema 2018). Hiervoor werd in WBI2017 nog gebruik gemaakt van een work-around, via de windstatistiek.



Figuur 7: een overzicht waar SWAN berekeningen gemaakt zijn in de IJsseldelta, de 308 uitvoerlocaties, de bodemligging en terreinhoogten (Klein en Boersen 2018)²⁰

Omdat het SWAN-model halverwege het Ketelmeer begint, beschouwen we de uitkomsten als niet volledig voor de waterkeringen langs het Ketelmeer van Zuiderzeeland (7-2 en 8-4). We beschouwen het model als wel betrouwbaar voor traject 225 (IJsselmuiden-Ramspol), voor traject 8-4 langs het Vossemeer en 11-1, 11-2 (IJsseldelta) langs het Vossemeer, de IJssel en het Reevediep)

5.3.2 Gehanteerde windrichtingen voor SWAN- en Bretschneidersommen

De berekeningen zijn gemaakt voor de 7 westelijke windrichtingen en zijn identiek aan de combinaties die gebruikt zijn in de WAQUA-productieberekeningen. Elke SWAN-berekening is uitgevoerd met oplegging van een ruimtelijk variërend waterstandsveld volgend uit de corresponderende WAQUA-berekening met gesloten Ramspolkering (Klein en Westra, 2016a). Voor het projectplan Waterwet is in het kader van voorliggend project een vergelijkbare set aan berekeningen gemaakt met SWAN voor het projectgebied IJsseldelta. Het gedachtegoed uit het WBI2017 is daarbij overgenomen als vertrekpunt. Ook voor het projectplan zijn dus SWAN-berekeningen uitgevoerd voor de 7 westelijke windrichtingen. Dit is in lijn met (Klein en Westra, 2016a), maar er wordt dus afgeweken van WBI2017 (Klein en Westra, 2016b). In (Klein en Westra, 2016b) zijn namelijk wel de oostelijke richtingen meegenomen. Om te kunnen rekenen met de probabilistische modellen moeten de resultaten uit de waterstands- en golfberekeningen worden verzameld in een database met hydraulische belastingen. Hiervoor is het noodzakelijk dat de resultaten voor alle belastingcombinaties

²⁰ In 2020 zijn de sommen herhaald met open kering in het Zwarte Meer en Kampereiland. Dit om de gehele matrix voor de Vechtdelta te vullen

aanwezig zijn in de database. Het is dus zaak om ook voor de oostelijke windrichtingen golfcondities in de database te zetten.

Voor de oostelijke windrichtingen is er binnen de scope van [Stijnen en Daggenvoorde, 2018] voor gekozen om géén SWAN-berekeningen te maken. Uit probabilistische berekeningen met Hydra-NL op diverse locaties in het IJsseldelta gebied is geconstateerd dat de bijdrage van de oostelijke windrichtingen tijdens maatgevende condities verwaarloosbaar is [Stijnen en Daggenvoorde, 2018].

5.3.3 Oostelijke windrichtingen

Er zijn locaties waar op voorhand verwacht mag worden dat oostelijke windrichtingen een rol spelen, bijvoorbeeld de westzijde van het Vossemeer, Drontermeer of langs de westzijde van de IJssel. Deze locaties liggen namelijk vol op het oosten. Aan de hand van een aantal testberekeningen blijkt dat zelfs daar de oostelijke windrichtingen nauwelijks een rol spelen (Stijnen en Daggenvoorde, 2018). Belastingssituaties die relevant zijn komen voort uit opgestuwd water uit westelijke richtingen vanaf het IJsselmeer.

Voor verschillende normfrequenties is in HBN- en golfhoogteberekeningen op basis van beschikbare WBI2017 databases gekeken naar de bijdrage van de oostelijke windrichtingen. Voor de meeste van de onderzochte locaties blijkt dat belasting door wind uit het oosten zeer weinig tot niets bijdraagt. Voor één van de onderzochte locaties (wat verder bovenstrooms op de IJssel) is een maximale bijdrage van ongeveer 5% gevonden, maar ook dit achten we beperkt. De situatie die de belasting op de waterkeringen bepaalt, volgt volledig uit een stormsituatie uit NW- en WNW-richting. Hoge windsnelheden zorgen voor scheefstand van het IJsselmeer, Ketelmeer en Keteldiep en dat zorgt voor de grootste belasting op de waterkeringen in het projectgebied.

5.4 Veranderingen t.o.v. WB2017

De belangrijkste veranderingen ten opzichte van WBI2017 zijn

- Het meenemen van de windragaftopping boven de 30 m/s in SWAN en (indirect in) Bretschneider.
- Een ander toepassingsgebied van het SWAN model: het Reevediep en de IJssel vanaf km 990 t/m 1006 zitten in de SWAN modellering.
- Er is in de IJsseldelta en het Ketelmeer gerekend met vlakke waterspiegels in plaats van maximale waterstandsvelden uit WAQUA (dit heeft geen invloed op de uitkomsten).
- De oostelijke windrichtingen zijn niet meegenomen in SWAN.
- Op de IJssel wordt de Bretschneidermodellering toegepast op een kleiner gebied (alleen tussen km 974 en 990), elders zijn er geen wijzigingen.

6 Belastingmodel Vecht- en IJsseldelta WTI2017

6.1 Belastingmodel op hoofdlijnen

Het WTI2017 belastingmodel in Riskeer en Hydra-NL voor de zoete wateren bestaat uit het WTI2011 belastingmodel Hydra-Zoet (Geerse et al, 2011) aangevuld met modelonzekerheden (zie Chbab en Groeneweg 2017). Het Hydraulisch Belastingmodel is vaak samengevat in formules waarmee hydraulische belastingen (duur, richting en hoogte van waterstanden en golven) per terugkeertijd beschreven kunnen worden.

Wat een belastingmodel in essentie doet, is de kansen van de stochasten combineren met de gebeurtenissen uit de matrix van alle mogelijke gebeurtenissen, door de kansen op te tellen van elke individuele gebeurtenis. Dit gebeurt per faalmechanisme: overschrijding waterstanden, benodigde kruinhoogte/Hydraulisch Belastingniveau (HBN) of een ander faalmechanisme. Het belastingmodel zit in de software (het rode blok van figuur 1) en benut dus de andere data uit de statische bestanden en de matrix van alle mogelijke waterstanden en golven.

De correlaties tussen meerpeil en afvoer vragen correcties. Deze worden verwerkt via het model constante spreiding (CS). Het rapport (Geerse, 2006) geeft de meest uitgebreide uitleg voor de Vecht- en IJsseldelta, het rapport (Geerse 2011) de meest overzichtelijke uitleg.

In WBI2017 zijn de statistische- en modelonzekerheden voor waterstanden en golven als extra stochasten toegevoegd. Dit was de grootste verandering. Deze verandering staat op hoofdlijnen beschreven in het Basisrapport WBI (de Waal, 2017). Hoe BOI omgaat met onzekerheden is verwerkt in (Diermanse, 2017)

Alleen de waarden voor de modelonzekerheden zijn nog diverse keren aangescherpt voor WBI2017 in (Geerse 2016a, Geerse 2016b) en voor de huidige databases in (Strijker et al Geerse 2019). De belastingmodellen zijn niet aangescherpt.

In Riskeer (met het rekenhart Hydra-Ring) zijn de Vecht- en IJsseldelta respectievelijk de gebieden 6 en 5. De wetenschappelijke achtergronden van Hydra-Ring zijn beschreven in (Diermanse et al, 2013 en Wojciechowska, 2021b)²¹

De afvoer van de IJssel bij Olst is gecorreleerd met die van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen. In dit rapport spreken we daarom van het belastingmodel voor de Vecht- en IJsseldelta. Dit belastingmodel gaat uit van de volgende basisstochasten:

- Afvoer van de IJssel bij Olst,
- Afvoer van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen,
- Meerpeil van het IJsselmeer
- Windsnelheid bij Schiphol
- Windrichting bij Schiphol
- Beheersituatie Ramspolkering

²¹ Voorgaande versies heten Hydra-Ring, Scientific Documentation, Diermanse et al 2013 is de eerst van de serie. PC-ring code is grotendeels gekopieerd in de versie van 2013, inclusief alle bekende fouten en onvolkomenheden. In 2021 is alle code van PC-ring vervangen en zijn er nog enkele onvolkomenheden die aangepast moeten worden zoals gebruik van het PCR (PC-ring correlatie model). Dit wordt in dit rapport behandeld. Het PCR model moet worden vervangen door het CS model.

De belastingmodellen voor de Vecht- en IJsseldelta zijn identiek, alleen is de invoer anders. In Hydra-Ring geldt voor regio 5 de afvoerstatistiek van de IJssel bij Olst en voor regio 6 die van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen.

Het falen van de Ramspolkering zit verwerkt in het belastingmodel, er is een maximaal toelaatbare (norm)kans van $1/100^e$ per sluitvraag. De productiesommen bevatten data met het normale sluitproces en voor de situatie met een altijd open kering. Het belastingmodel verwerkt dit in de probabilistische berekening.

Het aantal stochastcombinaties wordt besproken in hoofdstuk 3. Hoe de statistiek per stochast wordt gemodelleerd wordt besproken in hoofdstuk 7. De stochasten meerpeil en afvoer zijn daarbij gecorreleerd.

6.2 Verbeteringen aan rekentijd

Om de rekentijd te reduceren worden bij zowel Hydra-NL en Riskeer vaak stochasten vooraf uitgeïntegreerd (dit reduceert het aantal door te rekenen stochasten). Dit proces levert bij een werklijn voor de afvoerstatistiek en de statistische onzekerheden (μ en σ) dan een nieuwe werklijn inclusief statistische onzekerheden (Geerse, 2016a).

6.3 Verschillen tussen WBI 2017 en de release van BOI in mei 2021, handelingsperspectief

De belastingmodellen van Hydra-NL en Hydra-Ring verschillen met name in de correlatiemodellen. Dit zal pas na 2023 gesynchroniseerd worden. Hydra-NL gebruikt het model met constante spreiding (CS) en Hydra-Ring gebruikt het model PCR. Waar Hydra-Ring tot problemen (instabiliteiten) leidde met het PCR²²-model is dit correlatiemodel "uitgezet" in de databases van mei 2021. Dit gaat om de trajecten 8-4, 10-2, 10-3, 11-1, 11-2 en 225. Dit heeft geen effect op de uitkomsten (maar zorgt ervoor dat Hydra-Ring stabiel blijft). De resultaten van Hydra-NL en Hydra-Ring zijn nagenoeg gelijk. Bij twijfel over de uitkomsten is het advies om altijd de uitkomsten van beide modellen met elkaar te vergelijken en bij openstaande vragen contact op te nemen met de Helpdesk Water.

Extra informatie over deze release van mei 2021 is te halen uit de consequentie-analyse (Wojciechowska, 2021), de Gebruikershandleidingen van Riskeer (Boers et al, 2021) en Hydra-NL (Duits, 2021) en de releasenotes op de Helpdesk Water²³. Normaal krijgen Riskeer en Hydra-NL jaarlijks een update vanuit het BOI programma, vanuit Beheer en Onderhoud Veiligheidsinstrumentarium of beide programma's tegelijk. Het is dus verstandig altijd op de Helpdesk Water te kijken voor de laatste informatie.

In hoofdstuk 10 staan de openstaande onderzoeksvragen over dit gebied genoemd.

²² PCR betekent correlatie model uit PC-Ring, Diermanse et al, 2013

²³ <https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/132763/riskeer-release-notes-v21-1-1.pdf>
<https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/132762/hydra-nl-release-notes-v2-8-2.pdf>

7 Statistiek

7.1 Uitgangspunten statistiek en modelonzekerheden

De statistiek van de basisstochasten van WBI2017 wordt ook voor de huidige update gehanteerd. BOI zal pas in juli 2022 nieuwe statistiek uitleveren voor afvoeren, meerpeilen en correlaties tussen meerpeil en afvoer. Dit voor zowel Beoordelen als Ontwerpen.

Er is wel een verschil tussen de statistiek van Beoordelen (nu WBI2017) en Ontwerpen (nu OI2014) in verband met verwachte klimaatverandering en vanwege fysieke maatregelen:

Statistiek	WBI	OI	
zichtjaren	2023	2050	2100
Wind	Schiphol	WBI	WBI
Meerpeil	WBI	WBI (geen verhoging)	Verhoogd meerpeil
Correlatie afvoer-meerpeil	WBI	WBI	WBI
Afvoer; Olst	Uit GRADE	Uit OI (GRADE)	
Afvoer: Ommen/Dalfsen	Uit WBI	Uit OI	

Tabel 7-1: Verschil in zichtjaren en statistiek WBI en OI

De grootste verandering tussen WBI en OI die is meegenomen betreft het meerpeil. Het meerpeil is stabiel tot 2050 en stijgt dan met ongeveer 1 cm per jaar tussen 2050 en 2080. Daarna is het weer stabiel, omdat er in principe steeds meer pompen zullen worden geplaatst.

De modelonzekerheden hebben een grote aanpassing gekregen. De waterstands-modelonzekerheden zijn aangescherpt via nieuwe kennis uit Kennis voor Keringen (Strijker en Geerse, 2019) en een analyse van de illustratiepunten (de grenzen tussen rivier en stormgedomineerde delen van de rivier wijzigen met de aanleg van het Reevediep in combinatie met de zomerbedverdieping). Bij de modelonzekerheden voor de golven zijn de bij WBI-2017 gemaakte fouten in de software implementatie (Groeneweg, 2018) hersteld.

In (Strijker et al 2018 en Strijker en Geerse 2018) wordt voorgesteld de modelonzekerheden anders te modelleren, meer gebaseerd op de fysica. Nu tikken de modelonzekerheden te hard door in gebieden met relatief lage decimeringshoogten (Strijker, 2018). Voorlopig zijn de modelonzekerheden verlaagd volgens (Strijker en Geerse, 2019) om dit probleem in Riskeer en Hydra-NL te compenseren. Dit is een tijdelijke oplossing.

Omdat de SWAN modellering wordt toegepast op het gehele Reevediep, het Ketelmeer, Vossemeer en de IJssel vanaf de inlaat tot en met de monding veranderen de modelonzekerheden op dat deel van IJssel. Ze horen nu bij SWAN en zijn een slag kleiner dan de Bretschneider-modelonzekerheden.

Modelonzekerheden	WBI en OI
Golven (SWAN en Bretschneider)	Inconsistenties oplossen
Golven (grenzen gebieden)	Gebieden aanpassen km 990-1006 benedenloop IJssel wordt SWAN
Waterstanden (IJssel)	Getallen en grenzen aanpassen
Waterstanden (Vecht, Zwarte Meer, Zwarte Water)	Getallen aanpassen

Tabel 7-2: Overzicht aanpassingen modelonzekerheden

Hoofdsysteem	H_{m0}		$T_{m-1,0}$		T_p	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
I. Kust, IJsselmeer	-0,01	0,19	-0,04	0,11	-	-
II. Brede wateren in rivierengebied/randmeren	-0,06	0,15	-0,11	0,04	-0,01	0,07
III. Smalle wateren in rivierengebied, Eemvallei	-0,04	0,27	-	-	+0,03	0,13
IV. Markermeer - IJburg	-0,05	0,11	+0,04	0,08	-0,04	0,05
V. Markermeer - overig (excl. IJburg)	-0,02	0,20	-	-	+0,16	0,11

Tabel 7-3: Modelonzekerheden significante golfhoogte H_{m0} en periodematen $T_{m-1,0}$ en T_p voor vijf gedefinieerde hoofdsystemen: gemiddelde (μ) en standaardafwijking (σ) van de relatieve verschillen [Chbab en Groeneweg, 2017]]. Een negatieve waarde van het gemiddelde is bedoeld als een onderschatting van de werkelijkheid door het gehanteerde model.

7.2 Basisstochasten

Er zijn geen andere basisstochasten opgenomen dan in WBI2017, ook de waarden uit (Chbab, 2017) worden gehanteerd. Deze getallen zijn opgenomen in de csv- bestanden van Hydra-NL en in de HLCD-bestanden van Riskeer²⁴.

7.2.1 Afvoerstatistiek van de IJssel bij Olst

Consistent met de in WBI2017 in het kader van de Benedenrivieren ontwikkelde methode voor Lith en Olst zijn ten behoeve van de statistiek van de IJssel bij Olst 13 afvoergolven bij Lobith doorgerekend met de WAQUA-Rijntakken modelschematisatie (in WBI2017). Deze doorberekening heeft geresulteerd in 13 afvoergolven bij Olst. Deze 13 afvoergolven zijn gebruikt om de statistiek te Olst te bepalen. Er is dus een directe correlatie tussen de afvoer bij Lobith en bij Olst. De afvoer bij Olst is ten opzichte van het splitsingspunt IJsselkop aangevuld met afvoeren van de zijrivieren (Oude IJssel, Twente Kanaal en Schipbeek).

²⁴ Vanaf midden 2021 worden alle HLCD-statistiek bestanden gemaakt inclusief de meta data (literatuurverwijzingen met name) die in Hydra-NL al zichtbaar is.

T [jaar]	Afvoer Olst, werklijn WBI -2017 [m ³ /s]
2,5	1044
5	1297
13	1582
70	2107
300	2436
900	2643
10287.5	3191
19369.0	3526
73270.5	3880
244809.5	4086

Tabel 7-3: Relatie afvoer Olst en herhalingsstijd, (Chbab, 2017)

Piekafvoer bij Lobith [m ³ /s]	Piekafvoer bij Olst [m ³ /s]
6.000	889
8.000	1.120
10.000	1.483
13.000	1.989
16.000	2.557
16.500	2.947
17.000	3.073
18.000	3.311
20.000	3.812
22.000	4.380
24.000	4.942

Tabel 7-4 Relatie tussen de piekafvoer van Lobith en Olst (WBI2017)

In de afvoeren van Olst zit een stuk topvervlakking en de toestroming van zijrivieren verwerkt. Er is dus meer water in de IJssel te Olst dan bij het splitsingspunt IJsselkop.

In mei 2021 verwacht Rijkswaterstaat nieuwe informatie uit het GRADE project voor de Rijn bij Lobith. Deze zal in juli 2022 verwerkt worden.

7.2.2 Afvoerstatistiek van de Overijsselse Vecht bij Dalfsen

In WBI2017 is de afvoerstatistiek op verzoek van WDOD geactualiseerd volgens Geerse, 2016. Deze is ongewijzigd overgenomen. De werklijn houdt pragmatisch rekening met overstromingen bovenstrooms van Dalfsen, in Duitsland en daarnaast bij regionale waterkeringen in Nederland.

T [jaar]	Afvoer Dalfsen, werklijn WBI -2017 [m ³ /s]
2	216
5	264
10	300
20	335
50	383
100	419
250	459
500	490
1250	530
2000	551
4000	582
10 000	609
20.000	623
50 000	637
100 000	643

Tabel 7-4: Afvoerstatistiek Vecht WBI2017 (Chbab, 2017)

In juli 2022 verwacht Rijkswaterstaat nieuwe informatie uit het GRADE-project voor de Vecht bij Dalfsen.

7.2.3 Meerpeilstatistiek

De basis van de meerpeilstatistiek vormen de metingen uit de periode 1932 tot en met 2002. De periode van na 1976 (aanleg Houtribdijk) tot 2002 is met name van belang. Dit is dus inclusief de laatste twee hoge meerpeilsituaties van 1998 en 2002. In WBI2017 (Chbab, 2017) heeft geen update plaatsgevonden van het werk ten behoeve van Hydra-VIJ voor TMR2006. De meerpeilstatistiek van Hydra-VIJ is uitvoerig beschreven in (Geerse, 2006) en is gebaseerd op statistische extrapolatie van meet- en modelgegevens.

De werklijn van het IJsselmeerpeil bestaat uit drie rechte lijnstukken en is o.a. gebaseerd op een extreme-waarden analyse op basis van de zogenoemde Peaks Over Threshold (POT) series; dergelijke series bevatten onafhankelijke pieken die boven een bepaald niveau uitsteken, de drempelwaarde.

Daarnaast wordt voor de selectie van pieken een zichtduur toegepast om onafhankelijkheid te garanderen tussen opeenvolgende pieken. Voor het meerpeil geldt een drempelwaarde van -0,20 m+NAP met een zichtduur van 15 dagen, zie (Geerse, 2006). De werklijn van het IJsselmeerpeil voor het hele bereik wordt gegeven door:

$$m = \begin{cases} 0,25 * \ln(T) + 0,05 & \text{voor } -0,40 \leq m < 0,05 \\ 0,152 * \ln(T) + 0,05 & \text{voor } 0,05 \leq m < 0,40 \\ 0,097 * \ln(T) + 0,177 & \text{voor } m \geq 0,40 \end{cases}$$

Hierin geldt: T is de terugkeertijd in jaar en m het meerpeil in m+NAP.

T [jaar]	Meerpeil [m+NAP]	95% ondergrens [m+NAP]	95% bovengrens [m+NAP]
10	0,40	0,33	0,45
100	0,62	0,50	0,77
1.000	0,85	0,62	1,16
10.000	1,07	0,71	1,63
100.000	1,29	0,78	2,19

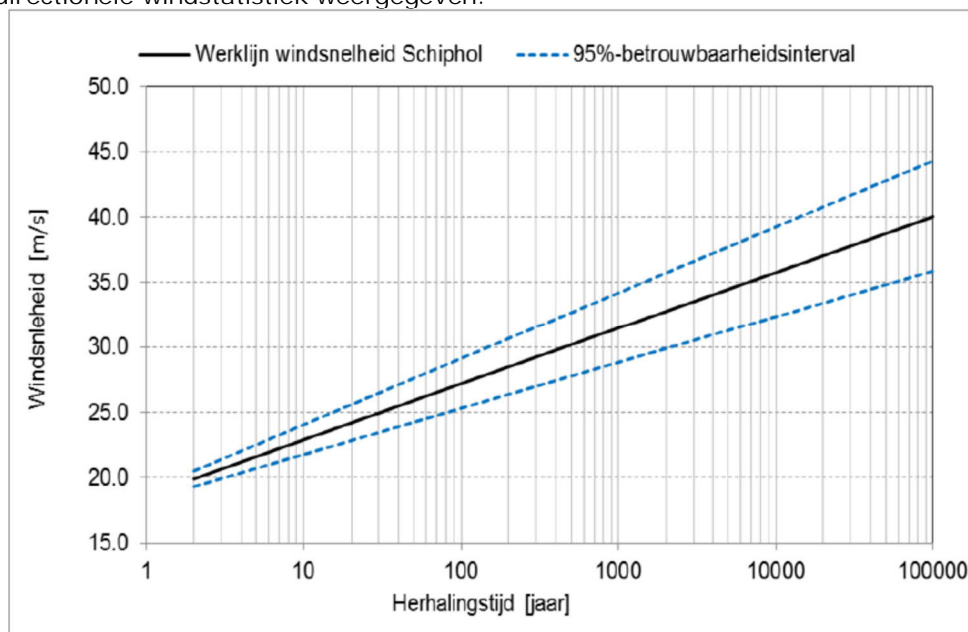
Tabel 7-5: Relatie tussen IJsselmeerpeil en herhalingstijd, inclusief 95% betrouwbaarheidsbanden (Chbab 2017).

Er is een nieuwe meer fysische systematiek voor het bepalen van de meerpeilstatistiek, de methode DEZY (Leeuwen, 2020). (Chbab 2017) heeft eerder resultaten uit deze methode kort aangestipt en de relatief kleine verschillen met WBI2017 geduid. Deze nieuwe methode zal pas in juli 2022 toegepast worden samen met de update van de afvoerstatistiek uit GRADE van de Rijntakken (reeds beschikbaar) en de Vecht (die juli 2022 beschikbaar komt). Door zeespiegelstijging wordt het steeds belangrijker om een meer fysische benadering toe te passen voor het bepalen van de meerpeilstatistiek, dit is toekomst vaster.

7.2.4 Windstatistiek

7.2.4.1 Windsnelheid

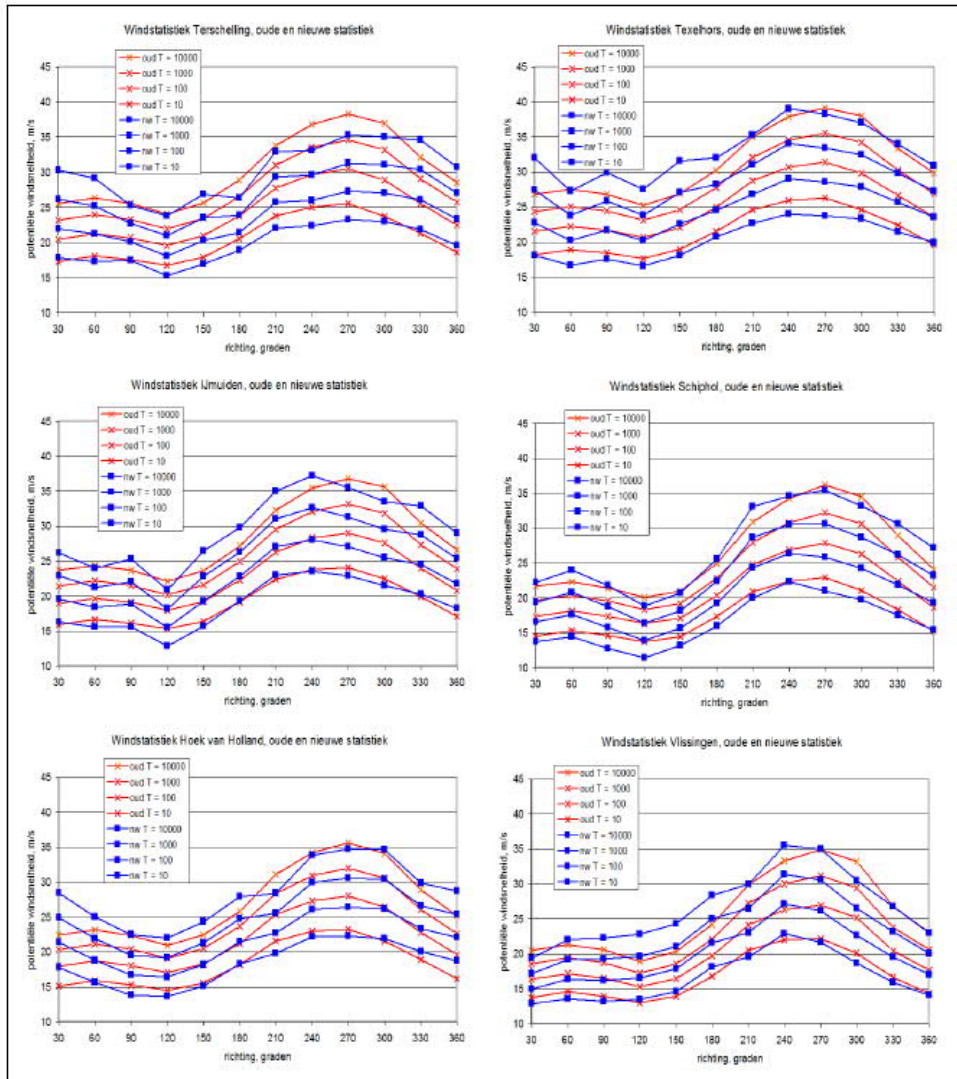
Het belastingmodel voor de Vecht- en IJsseldelta gaat uit van station Schiphol. De vigerende windstatistiek is afgeleid (Caires, 2009) in het kader van het project Sterkte Belastingen Waterkeringen (SBW). De windstatistiek van (Caires, 2009) geldt voor hoge windsnelheden, hoger dan de drempelwaardes (voor Schiphol 16,6 m/s). De windstatistiek wordt beschreven (en is te gebruiken) als een directionele frequentieverdeling, waarbij voor elke windrichting een aparte frequentieverdeling is voorgeschreven. Voor lage windsnelheden is op basis van metingen en turven de statistiek afgeleid. Hierbij is de methode zoals toegepast in (Geerse en Verkaik, 2010) gehanteerd. Daarmee zijn de windsnelheden uit de meetdata individueel geturfd. Puur ter illustratie (en niet voor de toepassing) is in figuur 8 de omni-directionele windstatistiek weergegeven.



Figuur 8: Werklijn Schiphol, omni-directionele wind inclusief 95% betrouwbaarheidsinterval (Chbab, 2017)

7.2.4.2 Windrichting

De windrichting geldt als basisstochast. De kansverdeling van de windrichting bij station Schiphol in sectoren van $22,5^\circ$ is weergegeven in Tabel 7.6. Samen met de windrichtingsafhankelijke frequentieverdelingen uit par. 7.4.2.1 resulteren dan de volledige directionele windstatistieken, waarvan een indicatief voorbeeld (exclusief onzekerheden) is gegeven in figuur 9²⁵.



Figuur 9: Omni-directionele wind uit Chbab, 2017, Caires, 2011 en Rijkooort-Wieringa, 1985

²⁵ Figuur 3.27d uit het Basisstochastenrapport (Chbab, 2017), Bron Caires, 2011

Windrichting [Gr]	Schiphol [-]
0	0.03074
22,5	0.02547
45,0	0.03700
67,5	0.06078
90,0	0.05269
112,5	0.04530
135,0	0.05171
157,5	0.06669
180,0	0.09159
202,5	0.12332
225,0	0.11277
247,5	0.10011
270,0	0.07520
292,5	0.05009
315,0	0.03961
337,5	0.03693

Tabel 7-6: Kansverdeling van de windrichtingen van sectoren van 22,5° (Chbab, 2017)

7.2.1 Beheersituatie Ramspolkering

Ook de beheersituatie (sluittoestand) van de Ramspolkering is een stochast in het belastingmodel. De beheersituatie Ramspolkering betreft twee toestanden: (i) een altijd open kering of (ii) een normale sluiting bij het overschrijden van een lokale waterstand van 0.50 m+NAP, samen met een stroming van Ketelmeer naar Zwarte Meer.

Er is sprake van falen indien de kering niet sluit als dit volgens de geldende sluitcriteria wel zou moeten. Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen niet sluiten, niet tijdig sluiten of constructief falen na sluiten. De faalkans bij het ontwerp gebaseerd op basis van de MER Ramspol (Kors et al, 1994) is gesteld op 0,0035 per sluitvraag. In WBI-2017 zal worden uitgegaan van de wettelijke normering die uitgaat van een maximaal toelaatbare faalkans in 2050 en die bedraagt 1/100 per sluitvraag (email WV, d.d. 26 mei 2015). Het effect op de waterstanden bij de norm van de aanpassing van de faalkans van de Ramspolkering van 0,0035 naar 0,01 per sluitvraag speelt voornamelijk op het Zwarte Meer en is minder dan 0,10 m (een overschatting) (Chbab, 2017).

7.3 Correlatie meerpeil-afvoer

Hoe hoger de afvoeren, hoe moeilijker het IJsselmeer zijn water kan lozen. Er is dus een grote correlatie tussen afvoer en meerpeil. Deze wordt in Hydra-NL via het Constante Spreidings (CS) model (Geerse, 2006) gemodelleerd en in Hydra-Ring via het PCR²⁶ model (Diermanse et al, 2013). Om het belastingmodel niet te ingewikkeld te maken zijn andere correlaties niet opgenomen. Nicolai et al, 2014 beschrijft welke extra stochasten en correlaties aan WBI2017 belastingmodellen moesten worden toegevoegd.

7.4 Modelonzekerheden

7.4.1 Keuze onzekerheid waterstanden

Op basis van de beschikbare gegevens en de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse stellen we voor om de volgende parameters te kiezen voor de modelonzekerheid in de waterstand:

²⁶ PCR betekent standard correlatiemodel uit PC-Ring, en het is een "reliëk" uit PC-ring. Deltares had deze nodig om Hydra-Ring te kunnen vergelijken met PC-ring. Dat gebruik van het PCR-model niet ideaal is, was al een tiental jaren bekend.

Regio's IJsseldelta en IJsselmeer	mu [m]	sigma [m]
Bovenloop IJssel (bovenstrooms van km985)	0	0.20
Benedenloop IJssel (benedenstrooms van km985), inclusief Reevediep, Drontermeer, Vossemeer en Ketelmeer)	0	0.25

Regio's IJsseldelta en IJsselmeer	mu [m]	sigma [m]
Zwarte Meer (trajecten Flevoland en Mastenbroek)	0	0.15
Zwarte Meer (Mastenbroek van Gertruidenberg naar Spooldersluis)	0	0.20
Noordoever Vecht van Zwartsluis t/m Ommen	0	0.15
Noordoever Vecht van Spooldersluis naar Ommen	0	0.15

Tabel 7-8: Parameters modelonzekerheid waterstanden (Daggenvoorde, 2020).

7.4.2 Keuze onzekerheid golfcondities

De modelonzekerheden voor de golfcondities zijn bepaald op basis van [Chbab en Groeneweg, 2017, tabel 4-1] en de nieuwe ligging van de SWAN gebiedschematisatie (figuur 6). In [Chbab en Groeneweg, 2017] zijn de modelonzekerheden voor de golven afhankelijk van het hoofdsysteem waarbinnen de locatie valt.

Regio's IJsseldelta en IJsselmeer	H_{m0}		$T_{m-1,0}$		T_p	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Ketelmeer en Vossemeer	-0.06	0.15	-0.11	0.04	-0.01	0.07
Verlengde Vossemeer (Drontermeer Noord)	-0.06	0.15	-0.11	0.04	-0.01	0.07
Reevediep	-0.06	0.15	-0.11	0.04	-0.01	0.07
Benedenloop IJssel (benedenstrooms van km991)	-0.06	0.15	-0.11	0.04	-0.01	0.07
Overgangsgebied IJssel (km991 - km985)	-0.06	0.15	-0.11	0.04	-0.01	0.07
Bovenloop IJssel (bovenstrooms van km985)	-0.04	0.27	+0.03	0.13	+0.03	0.13

Tabel 7-8: Voorstel parameters modelonzekerheid golven²⁷.

$$V_{incl} = V_{excl} (1 + \mu + \sigma E_N)$$

formule 1

$$V_{incl} = V_{excl} \left(\frac{1}{1 + \mu} + \sigma E_N \right)$$

formule 2

Deze parameterwaarden zijn in dit project doorgevoerd in formule (2) i.p.v. formule (1) WBI2017. Daarmee wordt afgeweken van het huidige WBI2017, maar wordt wel de daarin aanwezige fout gerepareerd.

Hierin is V_{excl} de golfhoogte (H_{m0}) of een golfperiode ($T_{m-1,0}$ of T_p) zonder modelonzekerheid en V_{incl} deze golfparameter met de modelonzekerheid.

²⁷ Zoals opgemerkt in (Groeneweg, 2018) en uitvoerig becommentarieerd in (Geerse, 2018), zijn de data-analyses om aan de waarden voor mu en sigma uit Tabel 7-8 te komen niet juist uitgevoerd: in de analyses is een relatieve fout t.o.v. de metingen bepaald, terwijl die relatieve fout had moeten worden bepaald t.o.v. de SWAN-uitkomsten. Strikt genomen moeten de data-analyses dus opnieuw worden gedaan (dat betreft een relatief simpele aanpassing, die zal leiden tot (iets) andere waarden voor mu (μ) en sigma (σ)).

Als μ klein is, dan is er nagenoeg geen verschil met de nu in (Geerse 2020) weergegeven

$$V_{\text{exl}} = V_{\text{exl}}(1 - \mu + \sigma E_N) \quad \text{formule:}$$

De database bevat niet de getallen μ en σ , maar f en σ .

In de WBI2017-databases is (ten onrechte) gekozen voor $f = 1 + \mu$; in de WBI2023-databases geldt $f = 1/(1 + \mu)$. Het resultaat is afgerond op 2 decimalen. Bij $\mu = -0.11$ wordt $f = 1.12$.

7.5 Modelleren tijdsverlopen basisstochasten

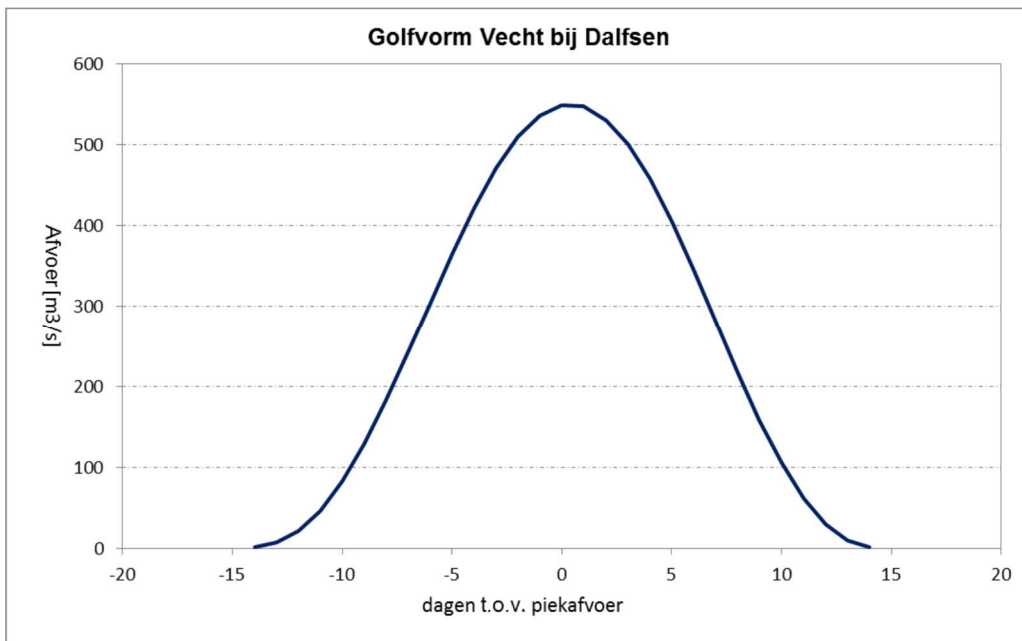
7.5.1 Afvoergolven Olst en Dalfsen

In het belastingmodel van Hydra-NL voor de Vecht- en IJsseldelta worden afvoergolven gemodelleerd door trapezia. Voor Olst is de afvoergolf ter illustratie uitgewerkt in de volgende paragraaf. De trapezia worden gekenmerkt door een constante basisduur B , en daarnaast een topduur $b(k)$, die van de piekwaarde k afhangt. Voor B is 30 dagen genomen, terwijl $b(k)$ is gekozen als in figuur 9 voor de Vecht. De topduur neemt lineair af van 720 uur voor afvoer $0 \text{ m}^3/\text{s}$ tot 48 uur bij afvoer $180 \text{ m}^3/\text{s}$, waarna deze verder constant blijft op 48 uur. De trapezia met piekwaarden groter dan $180 \text{ m}^3/\text{s}$ dienen het hoogste deel van de gefitte golven uit de voorgaande paragraaf goed te beschrijven. Voor piekwaarden lager dan $180 \text{ m}^3/\text{s}$ hoeven de trapezia geen reële beschrijving van het afvoerproces te geven. Dan dienen ze slechts in combinatie met de werklijn (die de afvoerstatistiek beschrijft) de juiste momentane kans op te leveren,

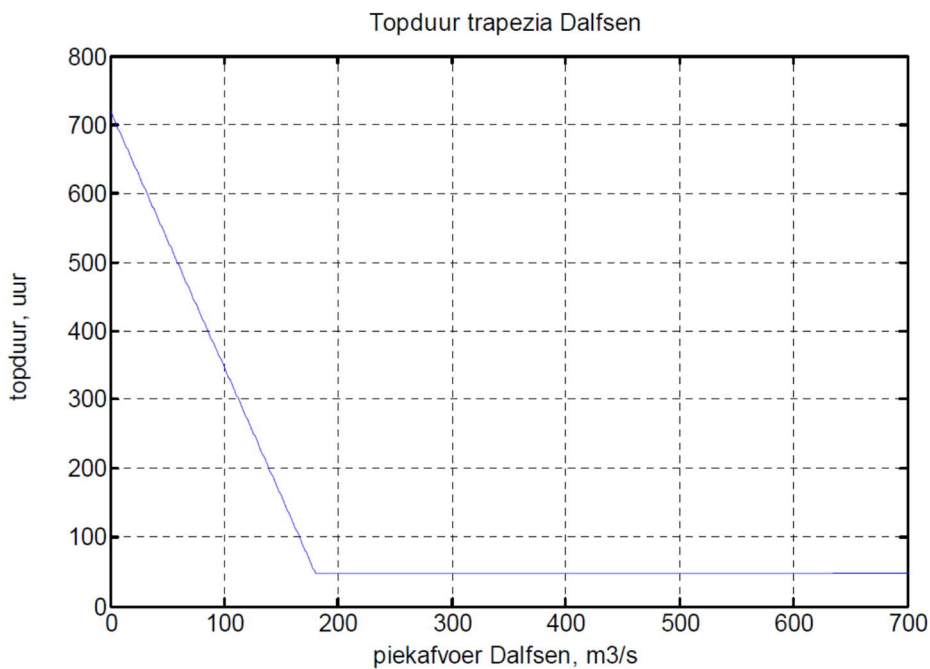
Het trapezium voor Olst wordt afgeleid op basis van de gegevens van de vertaalde werklijn van Olst (zie boven bij afvoerstatistiek Olst).

De afvoer nemen we in principe stationair mee in de productiesommen. Alleen op de IJssel worden voor het hogere bereik van $2300 \text{ m}^3/\text{s}$ de afvoergolven in de productieberekeningen tijdsafhankelijk meegenomen vanwege het overstromen van traject 225 (zie Stijnen en Daggenvoorde 2018).

In Geerse (2006) zijn afvoergolven voor de Vecht bij Dalfsen ter illustratie afgeleid met behulp van de opschalingsmethode. Deze golfvorm is weergegeven in figuur 8. Voor de probabilistische berekeningen wordt het tijdsverloop van de Vechtafvoer in Hydra-NL beschreven door een trapeziumvorm van 30 dagen in de basis en in Hydra-Ring via een Ferry Borges & Castanheta (FBC model). Details over trapezia van de Vecht zijn te vinden in (Geerse, 2006) en over het FBC-model voor Hydra-Ring in (Diermanse et al, 2013).



Figuur 8: *Golfvorm van de Vecht bij Dalfsen, volgens Geerse 2006.*



Figuur 9: *Topduur van de afvoertrapezia voor de afvoer te Dalfsen, volgens Geerse 2006.*

7.5.2 Stormduur

De stormduur wordt via een trapezium (figuur 5) gemodelleerd op basis van een opschalingsmethode (Geerse, 2006). Fysische overwegingen zijn in deze methode niet gebruikt.

8 Bouw databases

Het productieproces van de databases is steeds uitgevoerd voor verschillende opdrachtgevers met steeds een ander doel. Het definitieve product is beschreven in paragraaf 8.5. Daarvoor zijn steeds in projecten met verschillende doelen proefdatabases gemaakt, hierdoor kreeg het team wat met hydraulische belastingen bezig was inzicht in de werking van het systeem.

8.1 Testdatabases afregelen inlaat

In het kader van het onderzoek naar de inlaathoogte van de Bypass (het Reevediep) en de breedte van de uitlaat zijn meerdere kleine databases (van enkele honderden sommen) gemaakt voor gevoeligheidsstudies (Paarlberg en Kater, 2018a en 2018 b). Deze databases waren van belang om de werking van de IJsseldelta onder storm en afvoer te doorgronden, inclusief relatief kleine aanpassingen aan de fysica.

8.2 Testdatabases representatieve locaties

Bij de productieberekeningen van (Stijnen et al 2018) zijn alle ongeveer 9000 WAQUA sommen gemaakt. In het WAQUA-model is het Reevediep volledig geschematiseerd en de Roggebotsluis verwijderd. De inlaathoogte is overgenomen uit het advies van Paarlberg en Kater. Op basis van de sommen zijn eerst databases gemaakt met de as van de rivier en representatieve locaties aan de oevers voor zowel de Vecht- als de IJsseldelta. De golven zijn bepaald met Bretscheider met een dragaftopping die via een pseudowindconcept is verwerkt in de windsnelheid (Bretschneider heeft anders dan WAQUA namelijk geen winddrag als aanpasbare modelparameter).

Deze testdatabases zijn gebruikt in de studies van (Van Tol, 2018) voor de Impact analyse Vecht- en IJsseldelta (Rozier en Kors, 2021). In deze studies in opdracht van Rijkswaterstaat Midden Nederland is de werking van het watersysteem beschreven. Dit gaf onder andere nieuwe informatie over hoe het Kampereiland overstroomt bij maatgevende situaties.

Het oorspronkelijke doel van de bouw van deze databases was het testen van de Nationaal Water Model omgeving als productieomgeving voor BOI. Het uiteindelijke doel van de impactanalyse was begrijpen hoe het nieuwe watersysteem gaat functioneren en om deze kennis te delen met alle betrokken waterkering- en water- systeembeheerders.

In de waterstands- en golfberekeningen is de dragaftopping verwerkt. De WBI2017 modelonzekerheden zijn toegepast.

8.3 Databases provincie Flevoland voor de Waterwetvergunning N307

Voor de provincie Flevoland zijn in kader van de Waterwetvergunning voor de verwijdering van de Roggebotsluis/N307 de testbases uit (Stijnen en Daggenvoorde, 2018) aangevuld met SWAN-sommen (Klein en Boersen, 2019) voor het Vossemeer, het Reevediep, en voor de IJssel vanaf de inlaat tot de monding. De golven op de IJssel bovenstrooms van de inlaat zijn bepaald met Bretscheider, met daarbij de aftopping van de windschuifspanning boven de 30 m/s verwerkt in de windsnelheid. Deze databases bevatten de as-locaties en vele representatieve oeverlocaties met waterstands- en golfmodellering.

Deze productiesommen zijn dus gemaakt inclusief draaftopping in WAQUA en de windgolven (die zijn bepaald met SWAN en Bretscheider). Er zijn aangescherpte modelonzekerheden toegepast voor waterstanden, maar de fouten in de modelonzekerheden golven uit WBI2017 zijn niet aangepast.

Het doel van dit project was de ondersteuning van de Waterwetvergunning voor het project N307 / verwijdering Roggebotsluis.

Deze studie in opdracht van Provincie Flevoland heeft net als de studie Impactanalyse Vecht IJsseldelta voor Rijkswaterstaat veel kennis opgeleverd over de werking van het systeem en de waterkeringen. Dit is kennis die ontbrak in de MER rapportages van het Reevediep en de zomerbedverdieping van de IJssel.

8.4 Databases Nationaal Water Model waterstand (een bouwsteen voor BOI)

In dit project zijn per normtraject in de Vecht-IJsseldelta (VIJD) databases met uitvoerlocaties om de 100 meter gemaakt voor gebruik in Hydra-NL en (eventueel later) in Riskeer. De databases bevatten waterstanden bij verschillende belastingcombinaties van afvoer, meerpeil, windrichting, windsnelheid, open of gesloten Ramspolkering, maar bevatten geen golfcondities. De databases bevatten de modelonzekerheden van WBI2017.

Het startpunt voor de waterstanden bestaat uit de set bovengenoemde WAQUA-berekeningen uitgevoerd in 2018 [(Stijnen et al 2018)]. Hoewel de resultaten niet alle formele WBI-controles hebben doorlopen, zijn de uitkomsten getest en vormen ze een betrouwbare bouwsteen bij de BOI aanvulling t.o.v. het WBI2017. Bij het vullen van de database is extra aandacht besteed aan de naamgeving en ID van de locaties. Hierbij zijn unieke combinaties gemaakt van dijkkringnummer, trajectnummer, volgnummer, waterlichaam en locatieaanduiding. Hiermee vormen naam en ID een nuttig hulpmiddel voor de gebruiker voor de ligging van een locatie.

Verschuiven en bewerkingen en een filter zijn noodzakelijk om van de ruwe WAQUA-resultaten tot een database met fysica en hydraulische belastingen te komen, onder andere door rekening te houden met droogval. Voor het vullen van de databases zijn drie methoden gebruikt. Voor het merendeel van de normtrajecten is bij droogval van een oeverlocatie terug gevallen op een back-uplocatie. Staat de back-uplocatie ook droog, dan is de waterstand op de aslocatie gebruikt. Door het gebruik van waterstanden op verschillende locaties ontstaan soms sprongetjes in het verloop van de waterstanden langs een normtraject. Dergelijke onregelmatigheden zijn met een filter uit de langsverlopen verwijderd. Voor enkele normtrajecten is gekozen voor een aanpak op maat.

Per normtraject is een sqlite-database gegenereerd met daarin de waterstanden op de oeverlocaties, inclusief de lokale bodemhoogte aan de oever en de modelonzekerheid in de waterstand. Hiertoe zijn de waterstanden gecontroleerd op logische verbanden met behulp van langsfijguren en locatiefijguren. Ook voor de locaties in de as (IJssel en Vecht) zijn aparte databases gemaakt, met locaties elke 100 meter.

De databases zijn tot slot getest door Hydra-NL berekeningen te maken met en zonder modelonzekerheid. De resulterende frequentielijnen zijn beschikbaar gemaakt in de webapplicatie Hydra-as-a-Service (HaaS)²⁸. Een steekproefsgewijze vergelijking met twee eerdere studies toont vergelijkbare resultaten. Dit geeft vertrouwen in de gevolgde

²⁸ een web-toegankelijke vorm van Hydra, met aanvullende functionaliteit voor controles.

procedure voor het vullen van de databases binnen dit project. Dit is vastgelegd in het rapport (Stijnen et al, 2019c)

Deze sommen zijn gemaakt inclusief drafaftopping bij WAQUA, golven met SWAN en Bretschneider. De WBI2017 modelonzekerheden zijn toegepast.

Het oorspronkelijke doel van de bouw van deze databases was het testen van de Nationaal Water Model omgeving als productieomgeving voor BOI en daarmee een relatief snelle levering mogelijk maken van formele hydraulische WBI-databases in 2020.

8.5 Formele definitieve databases in 2020

Begin 2020 is op verzoek van WDOD door DGWB besloten het project "Update databases Vecht en IJsseldelta" te versnellen. Deze databases waren noodzakelijk voor de beoordeling en wenselijk voor het ontwerp.

Voor dit project waren eerst nog SWAN berekeningen nodig voor het Zwarte Water en Kampereiland. Deze zijn uitgevoerd door (Boersen, 2020).
Alle databases zijn beschreven door (Daggenvoorde en Duits, 2021), Alle databases zijn gecontroleerd door (Benit, 2020).

Deze sommen zijn gemaakt inclusief drafaftopping bij WAQUA, golven met SWAN en Bretschneider. De modelonzekerheden zijn aangepast t.o.v. WBI2017. Nieuwe kennis uit Kennis voor Keringen (Strijker en Geerse, 2019) is toegepast voor de waterstandsmodelonzekerheden. Daarnaast zijn de fouten in de modelonzekerheden van de golven nu gerepareerd (Groeneweg, 2018, Duits, 2018, Bake, 2019).

9 Probabilistische Berekeningen

9.1 Probabilistische modellen Hydra-NL en Riskeer

Alleen na probabilistische berekeningen kan in de Vecht en IJsseldelta een oordeel worden geveld over de Hydraulische Belastingen. Met de introductie van Riskeer en de vervanging van de hoogtetoets voor dijken (Hydraulische Belasting Niveau, in Hydra-NL) door de toets op Graserosie Kruin en Binnentalud (GEKB), verandert ook het referentiekader voor de veiligheidsbeoordeling.

Hydra-NL rekent probabilistisch voor de Hydraulische Belastingen, maar met deterministische waarden (al dan niet met toeslagen) over feitelijk en kritiek overslagdebiet, en voor de golfoploop (van der Meer, 2002). Riskeer rekent zowel bij de Hydraulische Belastingen als bij de oplooptmodule probabilistisch. Dit is minder conservatief. Ook is in Riskeer de laatste kennis ten aanzien van grassterkte toegepast.

In (Stijnen en Dagenvoorde 2018) en in diverse "factsheets" en adviezen van het Kennis Platform Risicobenadering (nu Adviesteam Dijken) wordt een relatie gegeven. Voor de IJssel en Vecht delta betekent dat het kritiek overslagdebiet waarmee gerekend wordt, is verhoogd van 1 l/s/m naar 50 l/s/m. In andere gebieden van Nederland kan de relatie anders zijn. De keuze van het kritisch overslagdebiet is een keuze van de beoordelaar en de ontwerper. Uit overstromingen in Hongarije (Lazlo Nagy, 2002) en uit een binnenkort uit te brengen scriptie van een student (Lars Stenfeld) aan de TU Delft²⁹ kan falen van GABI/graserosie binnentalud door een verzadigde toplaag al optreden bij 1 l/s/m.

9.1.1 Rekentechnieken/rekentijden

Hydra-NL is nauwkeuriger voor het bepalen van Hydraulische Belastingen, Riskeer is veelzijdiger. Riskeer bevat meer faalmechanismen en de registratie voor de beoordeling. Verschillen tussen Riskeer en Hydra-NL zijn acceptabel. Vaak betreft het enkele centimeters, soms zijn er verschillen van decimeters in waterstanden, HBN of golfhoogte.

Het toevoegen van statistische en modelonzekerheden (kennisonzekerheden) aan de belastingmodellen heeft het aantal stochasten vergroot. Dat maakt dat de rekentechniek "numerieke integratie" geen aantrekkelijk alternatief is, omdat de rekentijd bij deze techniek exponentieel toeneemt met het aantal stochasten. In Hydra-NL wordt dit deels opgelost door vooraf uit te integreren (Geerse, 2016a).

Omdat Riskeer veel meer faalmechanismen volledig probabilistisch kan doorrekenen en dus met meer stochasten moet rekenen dan Hydra-NL, en omdat Riskeer anders in elkaar zit, zijn beide applicaties en hun uitkomsten niet voor de volle 100% vergelijkbaar.

In Riskeer is een compromis gekozen tussen kwaliteit en rekentijd. Dit is vastgelegd in de "config" files met rekeninstellingen bij de meegeleverde databases. Deze zijn door een gewone gebruiker niet aan te passen. Jaarlijks zijn er verbeteracties ten aanzien van de rekentijd zowel uit beheer en onderhoud als uit BOI. Dit wordt bij elke release vastgelegd in de technische documentatie en samengevat in de release notes.

De bibliotheek van Riskeer met de andere oplosmethoden (rekentechnieken) dan numerieke integratie wordt jaarlijks verbeterd. Dit is ook een reden voor kleine veranderingen van de uitkomsten (zie de Release Notes van mei 2021 van Riskeer).

²⁹ <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:765b3344-02fa-4bdf-82fe-c37994cabf2c>

Voor het gebied van de Vecht-IJsseldelta zijn verschillende combinaties van rekentechnieken toegepast: FORM (First Order Reliability Method), Monte Carlo Directional Sampling (DIR) en FDIR, een combinatie van FORM en Directional Sampling. FORM is in kringen van constructieve veiligheid een wijdverbreide en algemene methode om faalkansen te berekenen. De methode is erop gebaseerd dat de zogenoemde betrouwbaarheidsfunctie behorende bij een bepaald faalmechanisme, indien nodig, wordt gelineariseerd en dat eventuele niet-normaal verdeelde basisstochasten worden getransformeerd naar normaal verdeelde variabelen.

Directional Sampling is een methode uit de Monte Carlo familie. De methode komt ruwweg op het volgende neer. Bij een standaard (2D) Monte Carlo sampling bestaat elke trekking uit zowel een x-coördinaat als een y-coördinaat. De faalkans wordt geschat door de frequentie te bepalen waarmee deze x- en y-coördinaten zich in het faalgebied bevinden. Bij Directional Sampling worden, in plaats van deze x- en y-coördinaten, poolcoördinaten getrokken en wel zodanig dat de hoek 'random' wordt getrokken. Vervolgens wordt voor deze hoek de afstand tot het faalgebied bepaald en deze afstand is bepalend voor de faalkans (gegeven de 'trekking' van de hoek). FORM heeft als voordeel dat het relatief weinig rekentijd vergt, maar het heeft als nadeel dat het niet altijd een (betrouwbaar) resultaat geeft; de onderliggende iteratieve methode kan soms niet convergeren. Om die reden is in Hydra-Ring een combinatie van FORM en Directional Sampling geïmplementeerd: indien een FORM berekening niet convergeert voor een specifieke locatie wordt overgestapt op de robuuste rekentechniek Directional Sampling. Met deze methode wordt rekentijd bespaard waar het kan (FORM) en extra rekentijd geïnvesteerd (Directional sampling) waar het moet. Meer details over FORM en deze rekentechnieken zijn te vinden in (Diermanse et al, 2016).

9.2 Uitgevoerde controles probabilistische berekeningen

9.2.1 Controle IJsseldelta

(Van Tol, 2018) beschrijft verschilanalyses voor de nieuwe inrichting op basis van de productiesommen van Stijnen et al, 2018, met WAQUA voor de waterstandsbeweging en Bretschneider voor de golven.

Voor de IJsseldelta wordt door het meenemen van het Reevediep over het grootste gedeelte een lagere waterstand gevonden met de IJVD2018-databases. Uitzondering hierop is het traject van de IJssel tussen km 990/991 (ingang Reevediep) en km 995. Hier wordt een beperkt hogere waterstand gevonden. Dit verschil is logisch en verklaarbaar, aangezien de waterstand in deze punten wordt gedomineerd door stormopzet op het IJsselmeer; het Reevediep heeft in dit geval geen effect op de resultaten. Bij de controles voor provincie Flevoland bij de nieuwe normen zijn wel verschillen zichtbaar (Stijnen en Dagenvoorde, 2018)

Tussen km 1001 en km 1006 (monding van de IJssel/Ketelmeer) worden met de IJVD-databases significant lagere waterstanden gevonden. De oorzaak van dit verschil is de aangepaste fysica van het IJsselmeer. In de nieuwe WAQUA-berekeningen zijn de laatste inzichten over de afkapping van de windschuifspanning in de WAQUA-berekeningen verwerkt. Dit leidt bij windsnelheden boven 30 m/s tot een verlaging van het lokale waterstand. Het HBN is door deze wijziging in de fysica ook lager. Daar werken zowel de waterstand als de golven door.

De controlesommen zijn uitgevoerd met de WBI-2017 modelonzekerheden.

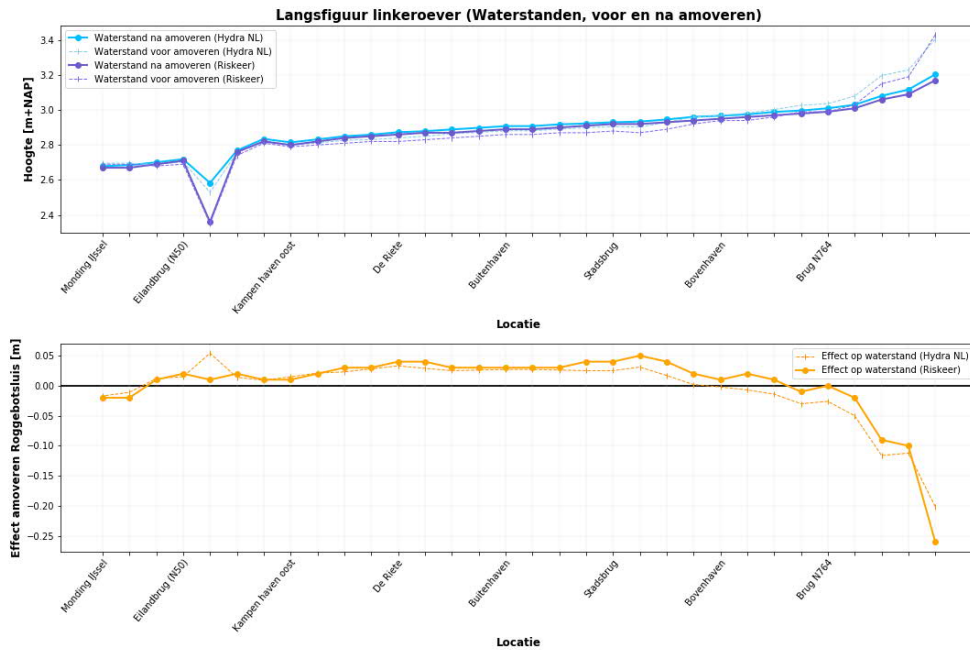
9.2.2 Controle Vechtdelta

Door Van Tol is in 2018 een kleine set proefberekeningen van het Nationaal Water Model geanalyseerd. Hij ziet grote verschillen tussen WBI2017 en de databases van (Stijnen et al 2018). Dit is ook logisch door de afkapping van de winddrag/windschuifspanning. De controlesommen zijn uitgevoerd met de WBI-2017 modelonzekerheden.

9.3 Controles HKV voor provincie Flevoland

In het kader van het projectplan Waterwet heeft HKV (Stijnen et al, 2019) in opdracht van de provincie Flevoland de verandering van de Hydraulische Belastingen na het openstellen van Reevediep in beeld gebracht.

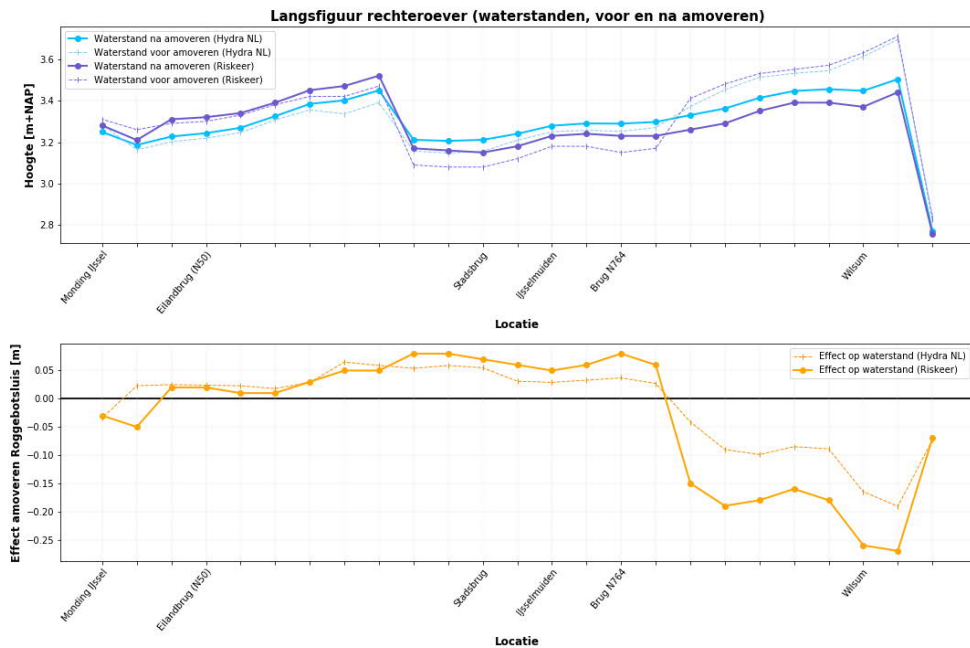
De waterstanden nemen licht toe (minder dan 5 cm) op de linker IJsseloever tussen de brug van de N764 (km 994) en de brug van de N50 (ongeveer km 1000) zie figuur 10.



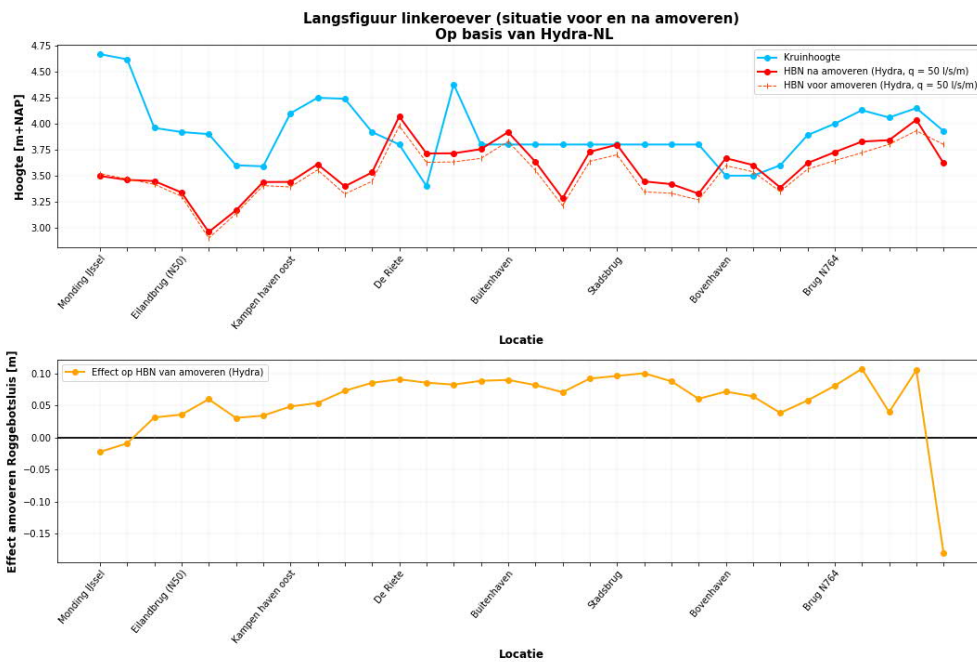
Figuur 10:

Controlesommen voor waterstanden voor de linkeroever van de IJssel met Riskeer en Hydra-NL (Stijnen et al, 2019)

De waterstanden nemen iets meer toe (5 cm tot 8 cm) op de rechter IJsseloever tussen de brug van de N764 (km 994) en brug van de N50 (ongeveer km 1000) figuur 11. Dat de waterstanden daar toenemen is logisch. Door een toename van het doorstroomprofiel loopt stormopzet namelijk makkelijker en verder de IJssel op. Dat komt deels door de zomerbedverdieping, en deels door de aanleg van het Reevediep.



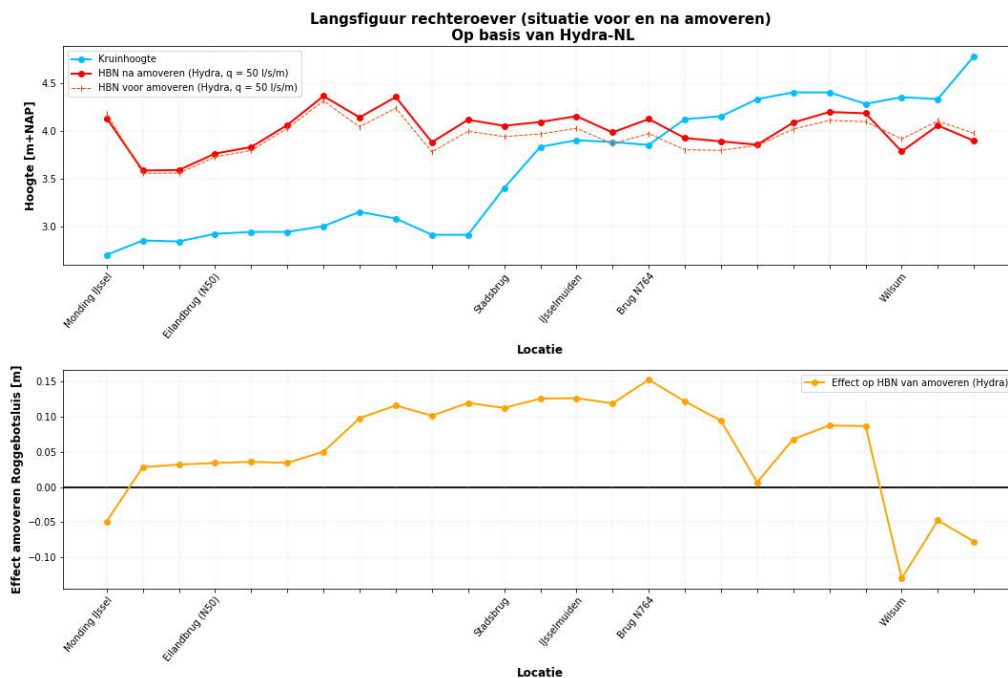
Figuur 11: Controlesommen voor waterstanden de rechteroever met Riskeer en Hydra-NL (Stijnen et al, 2019)



Figuur 12: Controlesommen voor de linkeroever voor het Hydraulisch Belastingniveau (Stijnen et al, 2019)³⁰

Ook voor het Hydraulisch Belastingniveau (HBN), zie figuur 12 en 13, zijn controlesommen gemaakt met Riskeer en Hydra-NL. Hierbij is het HBN van Hydra-NL afgeregeld op dat van Riskeer en daarom is een kritisch overslagdebiet van 50 l/s/m gekozen. Riskeer is nu het vigerende instrument voor de beoordeling. Bij het ontwerp van waterkeringen wordt vaak een veilige waarde gekozen voor erosie van het binnentalud, namelijk een kritisch overslagdebiet van 1 tot 5 l/s/m. Hierdoor is bij een kritiek overslagdebiet van 50 l/s/m het effect op het Hydraulisch Belasting Niveau met Hydra-NL eerder vergelijkbaar met het effect van de waterstandssom dan het effect bij 1 l/s/m. Het verschil tussen beide kritieke overslagdebieten is meerdere decimeters.

³⁰ Met foutieve WBI2017 instellingen voor modelonzekerheden golven maar met aangescherpte modelonzekerheden waterstanden.



Figuur 13 Controle sommen voor de rechtereiver voor het Hydraulisch Belastingniveau (Stijnen et al, 2019)³¹

De controlesommen van (Stijnen et al, 2019) zijn alle uitgevoerd met aangescherpte WBI2017 modelonzekerheden, maar inclusief de nog aanwezige fouten/inconsistenties in de modelonzekerheden golven (Groeneweg, 2018, Duits, 2018, Bake, 2019). Deze uitkomsten verschillen daarom met die van de huidige update.

9.4 Analyse verschilberekeningen van de databases uit 2021 met die uit WBI 2017

Ten opzichte van WBI2017 is er een groot aantal zaken veranderd. Het is dus niet mogelijk om per locatie een precieze duiding te geven van alle verschillen. Deze duiding is vaak wel te halen uit de rapporten die steeds een facet belichten van de veranderingen zoals de inlaatdrempel, het effect van ruimte voor de riviermaatregelen zonder onzekerheden, en het effect van correcties van de modelonzekerheden. In Wojciechowska 2021 zijn circa dertig locaties doorgerekend, deze geven een globaal beeld van de veranderingen.

Type verandering	WBI 2017	BOI WBI update in 2021	Impact
Windmodel	Geen dragaftopping	Dragaftopping boven de 30 m/s	Een generieke verlaging, het grootst bij het Ketelmeer
Reevediep	Reevediep fase I	Reevediep fase II – een drempel als inlaat en een	Een verlaging bij Zwolle, een verhoging tussen

³¹ Met foutieve WBI2017 instellingen voor modelonzekerheden golven maar met aangescherpte modelonzekerheden waterstanden.

	Een regelbare inlaat en een regelbare uitlaat	nauwe doorgang als uitlaat	IJsselmuiden en Ramspol langs de IJssel
Overlaat modellering in WAQUA	Verbeterd t.o.v. WTI2011	Verbeterd t.o.v. WBI2017	Een verbetering beschreven bij regulier beheer en onderhoud van de schematisatie door Bak in 2016
Golfmodel	Bretschneider	SWAN op de IJssel tussen de inlaat en de monding	Verhogingen en verlagingen
Modelonzekerheden	Volgens Chbab 2016 en Geerse 2016a en 2016c	Volgens Strijker et al 2019	Een verlaging
Correctie fouten in modelonzekerheden golven	Geen correctie	Wel correctie volgens Groeneweg 2018 en Duits, 2018	Over het algemeen een verhoging
Correlatie model PCR	Overall toegepast	Bij trajecten 8-4, 10-2, 10-3, 11-1, 11-2 en 225, uitgezet omdat het instabiliteiten veroorzaakte	Consistentie met Hydra-NL is beter zonder correlatiemodel voor traject 225

Tabel 9-1: Overzicht van de grootste veranderingen in het watersysteem

Voor de introductie van de voorjaarsjaarrelease is een verschil en consequentie analyse uitgevoerd (Wojciechowska, 2021). Hierbij worden per watersysteem circa tien locaties doorgerekend. Het is de bedoeling dergelijke analyses te gaan standaardiseren bij elke BOI-update.

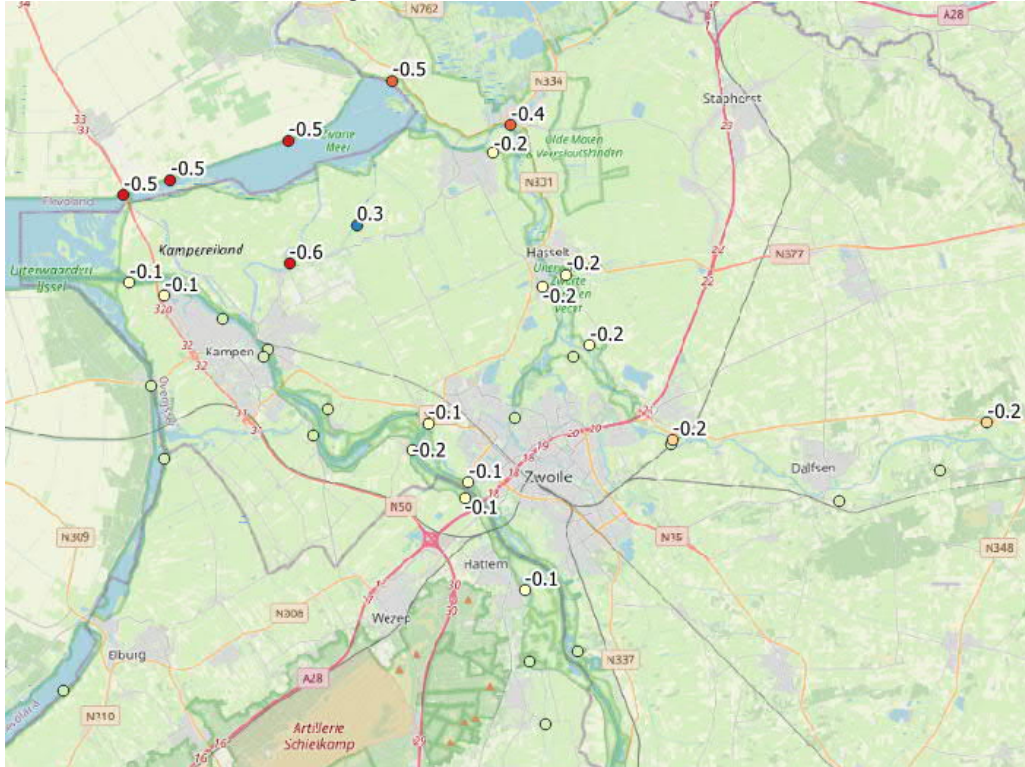
Voor de IJssel zijn meerdere locaties doorgerekend aan beide oevers van de IJssel.

WBI2017	WBI2023				
Naam	Naam	LocationId	XCoördinaat [m]	YCoördinaat [m]	beschrijving
IJ_1_10-3_dk_00004	010-03_005_IJ_km0001	500966	199746	502355	Spooldersluis
IJ_1_10-3_dk_00031	010-03_032_IJ_km0984	500958	198207	504397	
IJ_1_10-3_dk_00035	010-03_036_IJ_km0984	500962	198093	504770	
IJ_1_10-3_dk_00089	010-03_090_IJ_km0991	501020	193965	505377	tegenover inlaat bypass
IJ_1_10-3_dk_00132	010-03_133_IJ_km0995	500926	191521	507814	
IJ_1_11-1_dk_00003	011-01_004_IJ_km0976	500268	202025	497951	
IJ_1_11-1_dk_00054	011-01_055_IJ_km0980	500315	199572	501722	ter hoogte van Spooldersluis
IJ_1_11-1_dk_00087	011-01_088_IJ_km0983	500351	197435	503698	
IJ_1_11-1_dk_00147	011-01_148_IJ_km0990	500104	193392	504258	inlaat bypass
IJ_1_11-2_dk_00189	011-02_033_IJ_km0994	500149	191362	507528	Kampen Bovenhaven
IJ_1_11-2_dk_00213	011-02_057_IJ_km0997	500173	189688	509073	
IJ_1_11-2_dk_00245	011-02_087_IJ_km0999	500208	187335	509994	
IJ_1_11-2_dk_00265	011-02_107_IJ_km1001	500230	185885	510527	IJsselmonding

Tabel 9.2: Testlocaties langs de IJssel(het Reevediep zat niet in WBI2017)

Voor de Overijsselse Vecht, het Zwarte Meer en de Zwarte Water zijn diverse locaties doorgerekend aan beide oevers, inclusief 2 locaties langs de Goot (een watergang van Kampereiland).

Naam WBI2017	Naam WBI2023	LocationId	XCoördinaat [m]	YCoördinaat [m]	beschrijving
OV_1_53-3_dk_00051	053-03_051_OV_km0039	600254	218965,938	502865,438	begin van het model
OV_1_53-3_dk_00103	053-03_103_OV_km0044	600061	214840,516	501577,156	Dalfsen
OV_1_53-3_dk_00185	053-03_185_OV_km0052	600151	208018,469	503933,75	bij Zwolle
OV_1_53-3_dk_00249	053-03_248_OV_km0059	600221	203996,094	507513,562	bij Zwolle
OV_1_9-1_dk_00023	009-01_023_OV_km0037	600450	220913,234	504804,562	bij Ommen
OV_1_9-1_dk_00190	009-01_189_OV_km0053	600407	208071,797	504100	spoorbrug: overgang storm/afvoer
OV_1_9-1_dk_00264	009-01_263_OV_km0058	600488	204691,734	507959,344	2 km bovenstrooms Zwarte Water
ZM_1_10-2_dk_00053	010-02_041_GO_km0003	600753	195182,719	512888,594	Goot: Kamperzeedijk
ZM_1_10-2_dk_00078	010-02_066_GD_km0006	600780	192412,797	511317,688	Goot: Kamperzeedijk
ZM_1_7-1_dk_00029	007-01_029_ZM_km0003	600822	192390,078	516342,875	oostelijk deel Zwarte Meer
ZM_1_7-1_dk_00063	007-01_063_ZM_km0007	600860	187577,453	514739,062	midden Zwarte Meer
ZM_1_7-1_dk_00077	007-01_076_ZM_km0008	600875	185715,625	514114,094	westelijk deel Zwarte Meer
ZM_1_9-2_dk_00028	009-02_050_ZM_km0002	600911	196623,531	518799,719	Land van Vollenhove
ZW_1_10-1_dk_00088	010-01_094_ZW_km0008	601075	202755,891	510359,906	Hasselt
ZW_1_10-1_dk_00157	010-01_163_ZW_km0017	600989	200760,938	515873,188	Genemuiden
ZW_1_53-3_dk_00291	053-03_290_ZW_km0002	601123	201631,656	504993,375	Zwolle begin binnenstad
ZW_1_9-1_dk_00304	009-01_303_ZW_km0008	601183	203727,016	510870	Hasselt
ZW_1_9-2_dk_00382	009-02_005_ZW_km0016	601259	201461,594	516971,312	Zwartsluis /Meppelerdiep

Tabel 9-3: Testlocaties³² langs de Vecht, het Zwarte Meer en het Zwarte Water

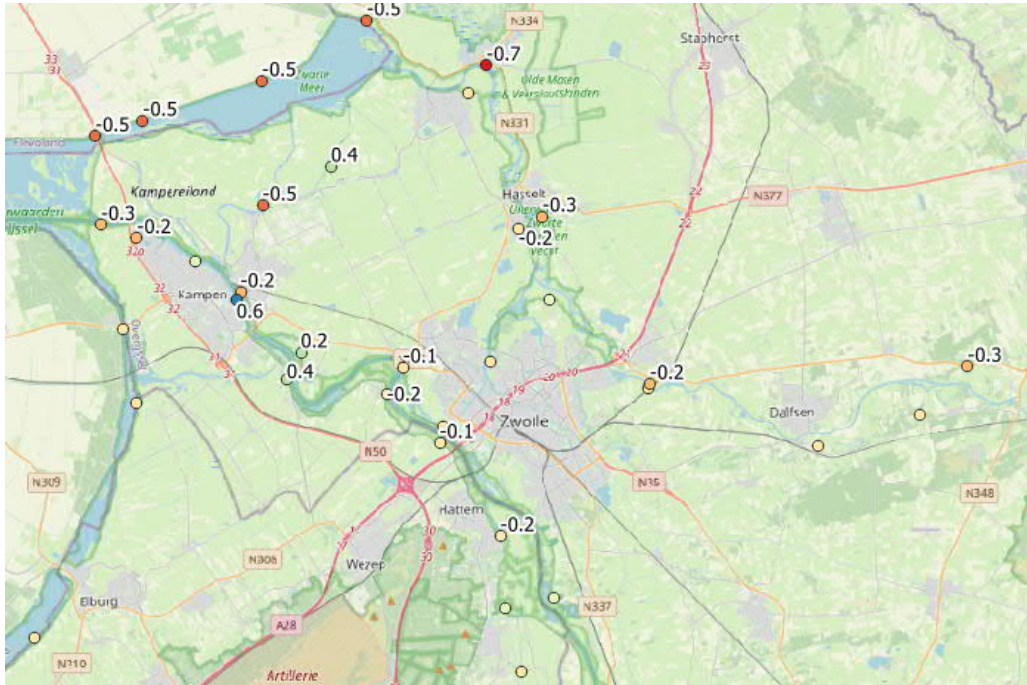
Figuur 15: Verschillen in waterstanden bij de norm (afgrond op 10 cm) tussen WBI2017 en BOI WBI mei 2020 berekend met Riskeer (Wojciechowska, 2021)

Wat opvalt in figuur 15 bij de waterstanden op de Overijsselse Vecht, het Zwarte Water en met name het Zwarte Meer is de verlaging van de waterstanden bij de norm. Dit komt door windschuifspanning (het aftoppen van de winddrag, zie Bottema, 2018)) en door de aanscherping van de modelonzekerheden (Strijker en Geerse 2020). Op traject 10-2 (Kamperzeedijk, tussen Genemuiden en IJsselmuiden) waren er problemen met droogval. Die punten zijn nooit uitgeleverd aan de gebruikers³³. Nu wordt een fysisch correcte waterstand gegeven.

De verlaging op de IJssel komt door fase II van Reevediep en een aanscherping van de modelonzekerheden voor waterstand. De verhoging van ongeveer 5 cm tussen IJsselmuiden en Ramspol is niet zichtbaar omdat er daar geen punten liggen in de huidige testset. De verhoging hangt samen met een vergroting van het doorstroomprofiel. Dat komt deels door de zomerbedverdieping, en deels door de aanleg van het Reevediep. Die vergroting van het doorstroomprofiel verbetert de doorstroming bij rivierhoogwater, maar omgekeerd loopt stormopzet dan ook makkelijker en verder de IJssel op. Dit was al bekend uit de studie voor het projectbureau IJsseldelta-Zuid in 2010 (Wojciechowska, 2010). Dit is ook aangetoond in de onderzoeken ten behoeve van de Waterwetvergunning voor de verwijdering van de Roggebotsluis (van Stijnen et al 2018, 2019a en 2019b).

³² Merk op dat de naamgeving is veranderd sinds WBI2017. Deze volgt nu de rivier kilometers zoals ook eerdere edities van de Randvoorwaardenboeken zoals in HR2006.

³³ Het waterschap heeft via de Helpdesk Water uit de productiesommen van Stijnen en Daggenvoord uit 2018 al wel een databases voor de beoordeling gekregen. Dit was betrouwbaarder dan WBI2017. Deze was wel conservatief op basis van Bretschneider.



Figuur 14: Verschillen in Hydraulisch Belastingniveau tussen WBI2017 en BOI WBI mei 2020 berekend met Riskeer (Wojciechowska, 2021)

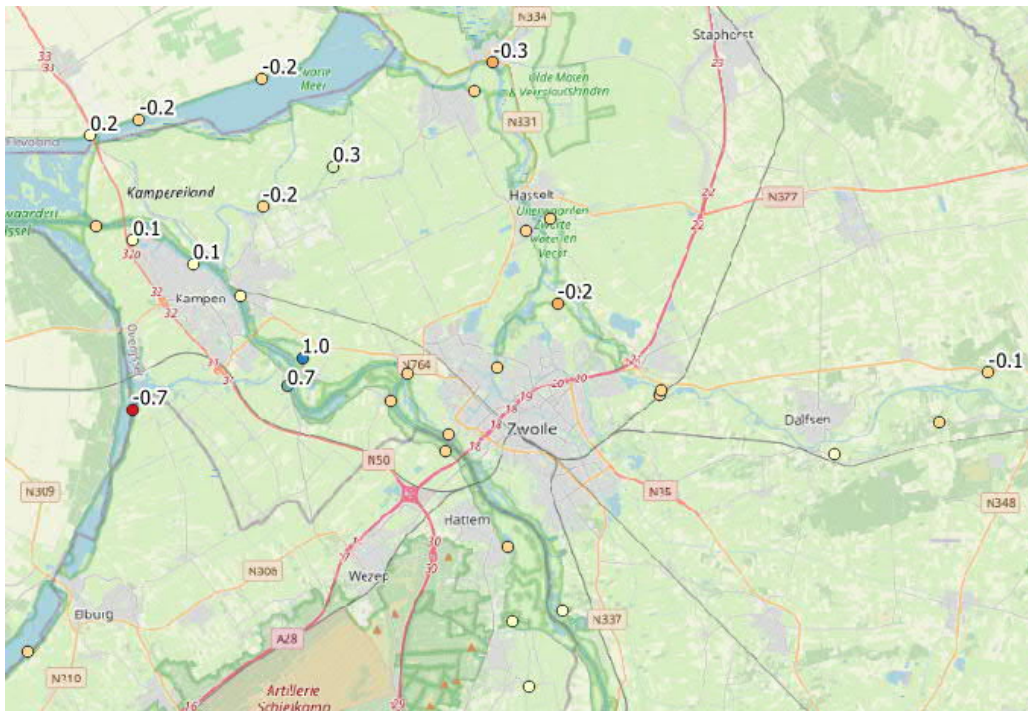
In deze figuur 14 ten aanzien van veranderingen het HBN zien we een wisselend beeld. Over het algemeen is sprake van een verlaging, omdat nu de windschuifspanning is afgekapt. Door de reparatie van de modelonzekerheden in de golven zijn er lokaal wel verschillen.

Wat opvalt is een grote verlaging in Hydraulisch Belastingniveau op het Zwarte Meer langs de Kamperzeedijk (traject 10-2 km 006) en het Zwarte Water. Dit komt met name door de aanscherping van de modelonzekerheden en de aftopping van de windschuifspanning. De verhoging bij het tweede punt langs de Kamperzeedijk km 003 komt waarschijnlijk door het feit dat de droogvalprocedure in WBI2017 is toepast en dat Bretschneider is gebruikt en in de nieuwe sommen set WAQUA en SWAN uitkomsten voor de waterstanden en golven zijn gebruikt.³⁴

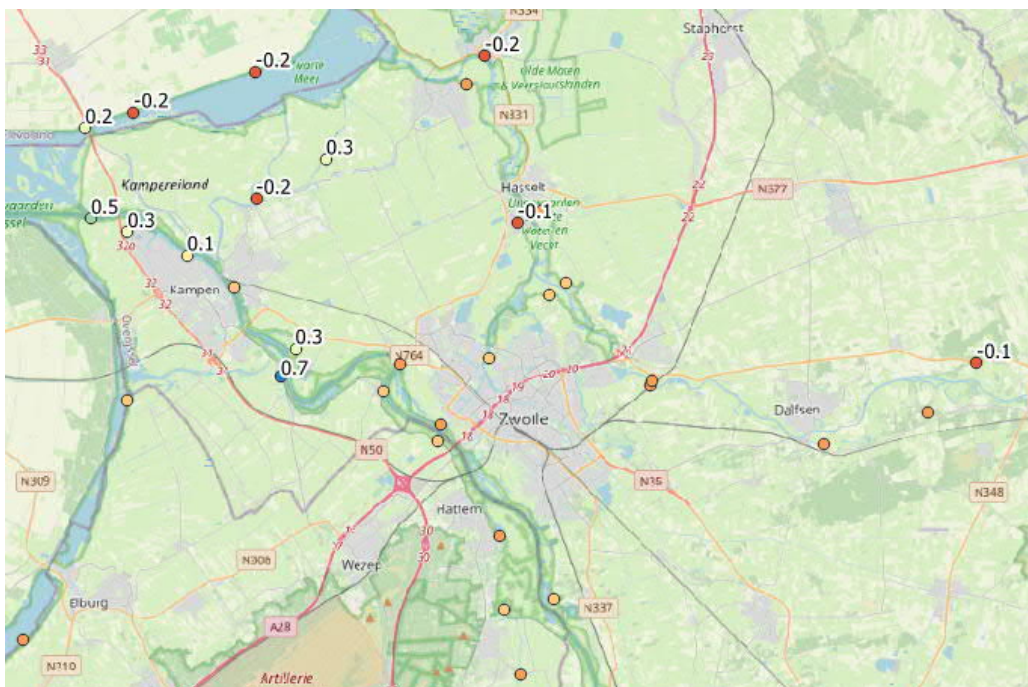
Wat ook opvalt is een verhoging de Hydraulische Belastingen bij Kampen Bovenhaven (locatie IJ_1_11-2_dk_00189) en net bovenstrooms van de inlaat (locatie IJ_1_11-1_dk_00147). Hier is SWAN gebruikt voor de bepaling van de Hydraulische Belasting. Deze waarden wordt in detail in appendix 2 in dit rapport stap voor stap behandeld. Hier spelen meerdere effecten een rol, de herstelde fout / inconsistentie in de modelonzekerheden golven, de overstap van de golfmodellering Bretschneider naar SWAN en daarmee de invloed van strijkgolven in de oploop/overslagmodule.

Noot: er worden standaardprofielen gebruikt in de testset. Bij Kampen bestaat de waterkering vaak echter uit een kademuur, met de formele waterkering op enige afstand van de het water, dwars door de huizen heen. De verhoging heeft zeer vermoedelijk iets

³⁴ Noot in 2018 heeft het waterschap WDOD via BOI en de Helpdesk Water op basis van (Stijnen en Daggenvoorde, 2018) een database voor een toets op maat gekregen met WAQUA en Bretschneider resultaten voor de beoordeling. Deze resultaten geven dus alleen een verschil aan tussen WBI2017 en de nieuwe databases en geven dus geen oordeel over die toets op maat database. Het traject 10-2 uit WBI2017 is nooit uitgeleverd aan de gebruikers vanwege de droogvalproblematiek.



Figuur 17: Verschillen bij de golfhoogte (H_s) voor bekledingen-golfklap gebruikt bij tussen WBI2017 en BOI WBI mei 2020 berekend met Riskeer (Wojciechowska, 2021)



Figuur 18: Verschillen bij de golfhoogte (H_s) voor bekledingen-golfloop gebruikt bij tussen WBI2017 en BOI WBI mei 2020 berekend met Riskeer (Wojciechowska, 2021)

De Hydraulische Belastingen voor bekledingen geven ook een wisselend beeld (figuur 17 en 18), veelal een verlaging voor de Vecht- en IJsseldelta, maar een verhoging op beide oevers van de IJssel ter hoogte van de inlaat van het Reevediep. Hier komen de data uit

SWAN in het belastingmodel. Hier is ook een verandering toegepast in de Hydraulische Belastingen Bekledingen in Riskeer (versie 21.1) voor afluiddige wind. Dus hier werken meerdere factoren tegelijk.

Bij Km 003 op het Kampereiland vertoont de golfhoogte voor bekledingen golfklap en bekledingen golfloop een verhoging, analoog aan het HBN. Hier is SWAN toegepast en geen Bretschneider. In WBI2017 is een droogvalprocedure voor deze locatie gebruikt. Deze database van traject 10-2 was door de droogval op het Kampereiland onbetrouwbaar; daarom is die database nooit uitgeleverd.

Ontwerp databases

Ontwerpdatabases geven alleen informatie over de klimaatverandering³⁵. De ontwerpdatabases voor Riskeer bevatten analoog OI2014 de KNMI2006 klimaat scenario's. Dus daar zijn geen verschillen te zien. Alle verschillen zijn te verklaren door aanleg van Reevediep, aanpassing aan de windmodellering en de modelonzekerheden.

De controle hierop is uitgevoerd door (Buijs et al, 2021).

De nieuwe WBI databases (52a1, 52-2, 52-3, 52-4, 53-2 bovenstrooms van Spoldersluis (traject 206) (bij Zwolle) uit 2021 kunnen gebruikt worden voor het ontwerp (figuur 4).

Het project OI2014/Kennis Platform Risicobenadering heeft eerder WBI2017 databases van de Vecht- en IJsseldelta voor gebied Zwolle –Olst vrijgegeven, inclusief KNMI2006 informatie voor klimaatscenario's. In die databases uit WBI2017 is echter sprake van een te grote impact van de windgolven op het Hydraulische Belastingniveau (vele decimeters). In de nieuwe databases op de trajecten bovenstrooms Zwolle heeft de windschuifspanningsaftopping boven de 30 m/s dus een zeer groot effect op de dijkhoogte (vele decimeters) zowel in de opzet als in de lokale windgolven³⁶.

De controle sommen van (Wojciechowska, 2021) op WBI en (Buijs et al, 2021) op OI zijn allen uitgevoerd met aangescherpte WBI2017 waterstandsmodelonzekerheden, en daarnaast een correctie van de fouten in de modelonzekerheden golven (Groeneweg, 2018, Duits, 2018, Bake, 2019).

³⁵ De OI-databases van november 2019 zijn alleen te gebruiken met de WBI2017 databases. Deze zijn nu vervangen door de WBI-databases en OI databases van mei 2021. Omdat er nieuwe productiesommen zijn gemaakt zijn de uitvoerpunten veranderd. Riskeer is beveiligd zodat de gebruiker geen inconsistente HRD (fysica files) kan kiezen bij nieuwe OI statistiek (HLCD) files. Dit is voor heel Nederland het geval.

³⁶ Dat het boven de IJsselmeer harder waait dan boven de IJssel is nog niet als reductie meegenomen. Bij ontwerpprojecten deze kennis toepassen kan heel zinvol zijn, zie hoofdstuk 10.

10 Conclusie ten aanzien van het gebruik van de gegevens

10.1 Relevante documentatie

Riskeer 21.1 en Hydra-NL 2.8.2 hebben elk een uitgebreide handleiding die wordt geïnstalleerd bij het installeren van het programma; deze zijn ook beschikbaar op de Helpdesk Water. Alle schematiseringshandleidingen zijn beschikbaar op de Helpdesk Water en geven relevante informatie per faalmechanisme voor de Hydraulische Belastingen. Twee schematiseringshandleidingen geven extra informatie specifiek gericht op de Hydraulische Belastingen:

- Schematiseringshandleiding hoogte WBI-2017 (de Waal 2019a)
- Handleiding gebruik dam- en voorlandmodule 2.0³⁷ (de Waal 2019b)

Sinds HR2001 worden voor gebieden met de zoete Hydra-modellen geen getallen meer geleverd met combinaties van waterstanden en golven. Bij WBI2017 is dit nu voor alle gebieden in Nederland. Zowel Hydra-NL en Riskeer maken het mogelijk de Hydraulische Belastingen te optimaliseren. De geometrie van voorlanden, voorliggende dammen en de dijk bepalen samen met de ruwheid van de dijkbekleding de combinaties van waterstanden en golven die kritisch zijn voor de veiligheid van de dijk. Een verandering van het dijkprofiel en/of de ruwheid van de dijk betekent een verandering van de hydraulische belasting. Riskeer gaat een stap verder in het optimalisatieproces dan Hydra-NL, omdat Riskeer de oploop/overslagmodule probabilistisch aanroept. Hydra-NL hanteert de in wezen semi-probabilistische keuzen uit (Van der Meer, 2002). Zie de schematiseringshandleiding voor grasbekledingen voor een meer gedetailleerde uitleg. De nieuwe vigerende versie is eind mei 2021 te vinden op de Helpdesk Water.

10.2 Waterstandsverlopen en betrekkinglijnen

De rapporten en data voor de waterstandsverlopen (Chbab en Stapar, 2016) en betrekkinglijnen (Veen, 2018) hebben geen update gehad. De verschillen in waterstanden zijn relatief klein (minder dan 30 cm), dus de verschillen in uitkomsten bij het gebruik van deze methoden samen met de waterstandgegevens uit de laatste versie van Hydra-NL of Riskeer en de databases van mei 2021 zullen klein zijn.

De methode voor waterstandsverlopen geeft een duur, gegeven een waterstand uit Riskeer of Hydra-NL. De betrekkinglijn legt een relatie tussen Lobith en de locaties aan de oever. Dit is met name voor het meetbereik van groot belang, voor de lagere afvoeren die vaker optreden dan 1x per jaar. Voor de relatie tussen Lobith en de hogere afvoeren moet men de uitkomsten van Riskeer en Hydra-NL gebruiken op de uitvoerpunten die zijn opgenomen in de databases.

10.3 Conclusie ten aanzien de nieuwe databases voor WBI en OI

Het advies is om de in dit rapport aangehaalde databases uit tabel 2.1 te gebruiken bij de beoordeling en het ontwerp in de Vecht- en IJsseldelta.

De Hydraulische Belastingen van de Vecht- en IJsseldelta en geven naar inzicht van Rijkswaterstaat het beste beeld van de watersystemen Vecht en IJsseldelta, en de kwaliteitscontroles (zie hoofdstuk 9) zijn succesvol doorlopen.

³⁷ Deze vervangt het document: "Handleiding voor het gebruik van de dam- en voorlandmodule ter bepaling van de hydraulische condities bij de dijkteen"

De impactanalyse Vecht en IJsseldelta (Rozier en Kors, 2021) en de rapporten behorende bij de waterwet vergunning N307/Roggebotsluis (o.a. Stijnen et al 2019) geven een actueel beeld van de veiligheid, omdat ze met de meest recente inzichten van WBI2017 en Kennis voor Keringen zijn opgesteld. Hierbij zijn alle maatregelen van Ruimte voor Rivier en het project IJsseldelta-Zuid in samenhang beschouwd met een probabilistische methode. De nu opgeleverde databases hebben gebruik gemaakt van deze studies.

De WBI-databases zijn gemaakt door een marktpartij (Daggenvoorde en Duits 2021) en gecontroleerd op juistheid door een onafhankelijke marktpartij (Benit, 2020). De bij behorende OI-databases voor Riskeer zijn in 2021 gemaakt door Deltares (voor klimaatveranderingseffecten) en wederom gecontroleerd door een onafhankelijke expert (Van Tol, 2021).

In november 2020 zijn de WBI-databases vrijgegeven aan de beheerders, in mei 2021 zijn de bijbehorende OI-databases vrijgegeven. Dit is beschreven in het protocol van overdracht uit mei 2021 bij deze databases.

De beheerders kunnen Hydra-NL 2.8.0 of Riskeer 21.1 gebruiken bij deze databases. Bij zeer grote verschillen tussen beide modellen is het verstandig om contact op te nemen met Rijkswaterstaat.

10.4 Hydraulische Belastingen veranderen over de tijd

Rijkswaterstaat heeft gaandeweg, sinds 1994, veel kennis opgebouwd over de werking van de Vecht-IJssel-Delta en de bijbehorende waterbewegings- en golfmodellen.

Sinds 1994 is Rijkswaterstaat in gesprek met het KNMI over de windmodellering. Elke vijf tot tien jaar zetten we gezamenlijk een grote stap vooruit in de kennis van de wind.

Pas sinds 2011 is er een waterbewegingsmodel beschikbaar dat niet halverwege bij Kampen op de IJssel of bij de Ketelbrug is afgeknipt. In 2010 is gerekend met SWAN op het Reevediep. Pas in 2019 is voor het eerst gerekend met SWAN op de IJssel zelf.

Alle grote infrastructurele werken (Ramspol, Ruimte voor de Rivier maatregelen en Reevediep/IJsseldelta-zuid) en diverse compensatiemaatregelen voor die werken in het gebied hebben de modellering van de waterbeweging niet makkelijker gemaakt. De effecten van deze maatregelen beïnvloeden elkaar. Ruimte voor de Rivier maatregelen zijn in een delta niet zonder meer op te tellen. De stormeffecten op de IJssel stellen de keuze om traject 225 maar over 3 km (alleen langs het Ketelmeer) overstroombaar te maken in 2002 in een nieuw daglicht. De overstroombaarheid van traject 225 was een eis om Kampen te ontlasten bij gebruik van de Balgstuw.

Grote nieuwe ontwikkelingen zullen pas na 1/1/2023 worden opgenomen (in tabel 10.1 is een overzicht opgenomen wat er speelt). Grote ontwikkelingen zijn:

- een nieuwe windmodellering voor Nederland (KNMI en Kennis voor Keringen)
- golf-stroom-interactie op o.a. rivieren (SWAN onderzoek Kennis voor Keringen)
- Het waterschap WDOD werkt aan het project Ruimte voor de Vecht (dan verandert mogelijk de fysica van de rivier).

Op dit ogenblik is deze informatie nog niet bruikbaar voor het maken van nieuwe Hydraulische Belastingen.

Morfologische veranderingen tijdens een grote afvoer en storm in de Vecht- en IJsseldelta zijn geen onderdeel van de huidige modellering van Hydraulische Belastingen. Dus bij de beoordeling hoeft een gebruiker hier geen rekening mee te houden. Voor het ontwerp is dit mogelijk in de toekomst wel van belang.

De huidige wijze van het modelleren van modelonzekerheden van waterstanden in Hydra-NL en Hydra-Ring zorgt ervoor dat er soms een zeer groot verschil (meerdere decimeters) is tussen de metingen en de modeluitkomsten. Die oogt niet realistisch (Strijker, 2018), in het meetbereik zou het prettig zijn als deze overeenkomen. Dit vraagt wijzigingen aan het belastingmodel en een aantal productiesommen (Strijker et al, 2018 en Strijker en Geerse, 2018). Dit moet dan in heel Nederland consistent worden doorgevoerd.

De mogelijkheid om de correlatie tussen de modelonzekerheid in de golfhoogte en de golfperiode mee te nemen is aangebracht in Riskeer 21.1 en Hydra-NL 2.8.2 In de databases voor de Vecht- en IJsseldelta is uitgegaan van volledige onafhankelijkheid. Voor ontwerptoeepassingen kan men de default data halen uit (Smale, 2018b). Het meenemen van de correlatie tussen modelonzekerheden golfhoogte en golfperiode kan lokaal een grote invloed op de Hydraulische Belastingen voor hoogte (Hydraulisch Belastingniveau) en de Hydraulische Belastingen Bekledingen. In de controlesommen van Wojciechowska 2021 (zie hoofdstuk 9) is aangetoond dat de verschillen minimaal zijn tussen het wel meenemen van correlatie volgens (Smale, 2018b) en correlatie nul. Op grote brede wateren is het verschil niet verwaarloosbaar. Het lijkt noodzakelijk meer golfmetingen en analyses te doen voordat dit generiek doorgevoerd kan worden in Nederland.

De impact van een morfologische verandering op de Hydraulische Belastingen (met name op de waterstanden) is mogelijk lokaal groot. Locaties die extra aandacht vragen in het watersysteem zijn de inlaat van de bypass (door de kortsluitstromen bij storm, Slomp et al 2001) en de monding van IJssel (door aanzanding).

Hydraulische Belastingen maken is een continu proces. Rijkswaterstaat heeft op dit moment de volgende onderzoeksvragen (tabel 10.1) geadresseerd. Naar verwachting zijn er een aantal zaken voor 1/1/2023 opgelost, maar vele andere zaken nemen meer tijd en of kosten meer budget om uit te zoeken of te verbeteren. De afspraak binnen het BOI-programma is om bij wijzigingen tijdig de beheerders hierover te informeren.

Thema	Onderdeel belastingmodel	Impact	actie
Windmodellering	Windstatistiek update IJsselmeergebied	Nog onbekend	Maatwerk onderzoek KNMI en Kennis voor Keringen (duur enkele jaren), (Brink en Bottema, 2020)
	NW-ZO-Windklimaatgradiënt	Een verlaging	
Statistiek afvoeren en meerpeilen	GRADE Rijntakken, GRADE Vecht Meerpeil statistiek Correlatie meerpeil-afvoer	Nog onbekend	In juli 2022 is de update van de statistiek gereed en zal binnen BOI deze worden doorgevoerd.
Modelonzekerheden waterstanden	Modelonzekerheden waterstanden	Verlaging van de	Aanpassing belastingmodel in

	verwerken via de fysica, via extra stochasten (windschuifspanning en bodemruwheid) en extra WAQUA realisaties	Hydraulische Belastingen in gebieden met kleine decimeringshoogten	Riskeer en Hydra-NL, en nieuwe productie sommen
Modelonzekerheden golven	Correlatie modelonzekerheden golfhoogte en golfperiode meenemen (Smale, 2018, Geerse, 2018)	Zowel verlagingen als verhogingen, effect is klein in de Vecht- en IJsseldelta	Aanvullende golfmodelvalidaties. Het vinden / verkrijgen van representatieve metingen is echter een uitdaging.
	Opnieuw bepalen van modelonzekerheden golven t.o.v. de SWAN uitkomsten en niet t.o.v. de metingen (Geerse 2018)		
Morfologisch onderzoek naar de Rijntakken en Vecht- en IJsseldelta	Input voor de bodem schematisatie	Nog onbekend, vermoedelijk een verhoging in de IJsseldelta	Bij Integraal Riviermanagement (IRM) wordt nu naar de morfologische veranderingen op de Rijntakken gekeken. De IJssel en IJsseldelta zitten nog niet in de scope ³⁸ van het morfologisch onderzoek)
Dam en Voorland module aanpassen	Kernel in Riskeer en Hydra-NL. Nu is de reductie van de golfhoogte te groot voor strijkgolven tussen de 80° en 90°		In Beheer en Onderhoud, waarschijnlijk opgelost voor 1/1/2023
Aansluiting bij metingen	Analyse belastingmodel / achterliggende fysica	Enkele decimeters bij hoogfrequente gebeurtenissen	Onderzoeken binnen KvK, afstudeerders, etc.

Tabel 10-1: Toekomstig en lopend onderzoek of verbeteracties

³⁸ Dit is in 2021 wel geagendeerd bij IRM. Uitkomsten zijn pas na enige jaren beschikbaar.

11 Referenties

Agtersloot R. en Paarlberg A., 2017 WAQUA Productieberekeningen IJssel-Vechtdelta Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017

Bake, D 2019 Aanvullend advies i.r.t. inzichten onzekerheden golven Riskeer & Hydra-NL, memo mei 2019

Becker A, Fujisaki A, (2017) Nieuwe modelschematisatie IJsselmeer-Vecht-IJsseldelta voor WBI2017, met Reevediep fase 2. *Deltares rapport 11200569-008-ZWS-0004*,

Beijk, V. 2008 Achtergrondrapport HR 2006 voor de Vecht en IJsseldelta : Hydraulische Randvoorwaarden 2006 voor de Vechtdelta en Thermometerrandvoorwaarden 2006 voor de IJsseldelta, C 2007.024

Boers, M. Rodríguez Aguilera, D., van Geer P. van Duijn S., 2021 Riskeer Gebruikershandleiding Beoordelings- en OntwerpInstrumentarium (BOI) Versie: 21.1.1 SVN Revisie: 00 5 maart 2021, Deltares

Bottema, M., 2018, Advies wind Vecht-IJsseldelta en verrekning dragaftopping, Rijkswaterstaat

Botterhuis, T, Bieman, J. Chbab, H 2016 Hydraulische Belastingen Vecht- en IJsseldelta Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017, *Deltares-rapport 1230087-005-HYE-0002*

Botterhuis T., Stijnen, J.W., de Waal, J.P. Wojciechowska, K., Groeneweg, J., van de Bosch, P., Benit, M., Slomp, R.M., 2020, Voorstel naamgeving locaties voor BOI In opdracht van RWS-WVL. HKV-memorandum PR4248.10, Lelystad augustus 2020.

Brink H. van den, en Bottema, M, 2020 Meerwaarde KNMI aanpak voor het afleiden van statistiek voor meteorologische extremen, Rijkswaterstaat-/KNMI-rapport, 10/5/2021

Buijs M., Bader D.J., Kramer V.N, 2021, GAT Riskeer Testrapport concept mei 2021, Witteveen en Bos, juli 2021,

Caires, S, 2009 Extreme wind statistics for the Hydraulic Boundary Conditions for the Dutch primary water defences SBW-Belastingen: Phase 2 of subproject "Wind Modelling", *Deltares-rapport 1200264-005*

Chbab, E.H. 2017, Basisstochasten WBI-2017, Statistiek en statistische onzekerheid *Deltares-rapport 1209433-012-HYE-0007*

Chbab E.H., Groeneweg, J., 2017 Modelonzekerheid belastingen; Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium WBI-2017 (versie 8), Deltares project 1209433-008, kenmerk 209433-008-HYE-0007, juni 2017.

Chbab E.H. en Stuparu, D., 2017, Waterstandsverlopen Vecht- en IJsseldelta, Wettelijk Toetsinstrumentarium WTI-2017 #Deltares, 1220082-002

Chbab E.H. en de Waal J.P., Achtergrondrapport Hydraulische Belastingen, Wettelijk Toetsinstrumentarium WTI-2017, *Deltares-rapport 1220082-002-HYE-0005*

- Daggenvoorde, R.J. en Stijnen, J.W., 2017 Startdocument Pilot IJVD; Productieberekeningen in rekenomgeving van NWM, PR3707.10, december 2017
- Daggenvoorde R.J., en Stijnen J.W. 2020 "BOI-databases VIJD Hydraulische randvoorwaarden Vecht-IJsseldelta – Uitgangspunten", HKV-rapport PR4280.10, juni 2020
- Daggenvoorde R.J. (2020) Bespreekverslag Modelonzekerheden VIJD, 10 juni 2020 PR4280.10
- Daggenvoorde R.J., Vuik, V., 2021, (een review op) Generieke SWAN instellingen Waterstanden en Stroming, HKV-rapport PR4348.10, feb 2021
- Daggenvoorde R.J. en Duits M., 2021, "BOI-databases VIJD Hydraulische randvoorwaarden Vecht-IJsseldelta PR4280.10
- Diermanse F., Roscoe K., Lopez de la Cruz J., Steenbergen H., Vrouwenvelder. T. 2013 Hydra-Ring Scientific Documentation. Deltares & TNO-Bouw. Deltares rapport 1206006-004. Deltares 2013
- Diermanse, F. 2016 WTI – Onzekerheden Overzicht van belasting- en sterkteonzekerheden in het wettelijk toetsinstrumentarium, Deltares-rapport, 1220080-001-ZWS-0004
- Duits, M. 2018 Invloed correctie onjuistheden golfparameters in WBI2017-databases. M.T. Duits. HKV-rapport PR3919.10, Lelystad, november 2018.
- Duits, M. 2021, Hydra-NL Gebruikershandleiding versie 2.8, PR4315.10
- Geerse, C.P.M. 2006, Hydraulische Randvoorwaarden 2006 Vecht- en IJsseldelta, Statistiek, IJsselmeerpeil, afvoeren en stormverlopen voor Hydra-VIJ, RWS-RIZA werkdocument 2006.036x
- Geerse, C.P.M. en Verkaik, J.W, 2010. Effect nieuwe windstatistiek op toetspeilen en benodigde kruinhoogten. HKV rapport PR1601.10. Lelystad.
- Geerse C.P.M., Slomp, R.M. de Waal, J.P., 2011 Hydra-Zoet Probabilistic model for the assessment of dike heights: probabilistic model for the assessment of dike heights, HKV-rapport PR2168
- Geerse, C.P.M. 2016a Werkwijze uitintegreren onzekerheden basisstochasten voor Hydra-NL. Afvoeren, meerpeilen, zeewaterstanden en windsnelheden – Update februari 2016. HKV rapport PR3216.10.
- Geerse C.P.M., 2016b Overschrijdingsfrequentie Vecht bij Dalfsen. Pragmatische aanpassing van de statistiek voor overstromingen bovenstreams. PR3257.10. HKV
- Geerse C.P.M., 2016c, Voorstel voor aanpassing Vechtstatistiek en modelonzekerheid waterstand. Project: Hydraulische belastingen 2017 – Software terugvaloptie HKV-memo 3280.20, 2/9/2016
- Geerse, C.P.M. 2017, Memo ten behoeve van de implementatie van nieuwe werklijnen voor Vechtafvoer bij Dalfsen, HKV-memo 3601.10, april 2017

Geerse, C.P.M. 2018, Adviezen voor verbetering onzekerheidsmodellering golven WBI2017. Schattingsmethodes voor twee multiplicatieve modellen. HKV PR3919.10, december 2018

Groeneweg, J (2018) Inconsistentie in modelonzekerheden golfcondities, memo

Hartman, 1995 Hydraulische randvoorwaarden voor de IJsseldelta, het Zwarte Meer en het Zwarte Water: op basis van het advies van de eerste Commissie Boertien en de Ramspolstudie, RWS-RIZA nota 95.044, juli 1995

Hartman, J, Berger H.E.J., Westphal R. 2005 Onderbouwing Hydraulische Randvoorwaarden 2001 voor de IJsseldelta, RWS-RIZA rapport 2002.018

ter Hoeven, J. 2020 Nota WBS 17: Hydraulische taakstelling Reevediep – definitief, HaskoningDHV-memo BG1316WATNT1810311630, 17/1/2020

Klein M.D. en Westra, M 2016a SWAN-productieberekeningen Ketelmeer en Vossemeer – WBI2017. Deltares, rapport 1220082-001-HYE-0010. Versie 2, 27 Juni 2016.

Klein M.D. en Westra, M 2016b, SWAN productieberekeningen IJssel-Vechtdelta, Deltares-rapport 1220082-001-HYE-0017, 5/7/2016

Klein M.D. en Boersen, S. 2019, SWAN berekeningen Reevediep, RoyalHaskoningDHV, BE7380WATRP1809121028

Kors, A., van Zwol, J, Franken, A., et al, 1994, Bouwdienst Rijkswaterstaat, november 1994 Projectnota/MER keersluis Ramspol, Deelrapport van de werkgroep Hydraulica, Rijkswaterstaat Oost Nederland, PMR94-101

Rozier W en Kors A., 2021 Impactanalyse IJssel-Vechtdelta - Scenarios en advies, conceptrapport Rijkswaterstaat WWL, nov 2020

Kroekenstoel, D., 2014 Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren Versie 3.0, Rijkswaterstaat WWL 1 januari 2014

Leeuwen, 2020, DEZY versie 5.0 Gebruikershandleiding

Meer, van der J. 2002 Technisch Rapport, Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, mei 2002

Ministerie van IenM, 2017a Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017

Ministerie van IenM, 2017b Bijlage I, Ministeriele Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Procedure beoordeling veiligheid primaire waterkeringen

Ministerie van IenM, 2017c Bijlage II, Ministeriele Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen

Ministerie van IenM, 2017d Bijlage III, Ministeriele Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen

Ministerie van IenW, 3 maart 2017, Bestuursovereenkomst Planuitwerkingsfase IJsseldelta fase 2, Staatscourant 2017, 10680, 8/3/2017

MER commissie, 2008 ", IJsseldelta Zuid, provincie Overijssel Advies voor richtlijnen voor het milieueffectrapport 17 juli 2008 / rapportnummer 2113-23, <https://www.commissiemer.nl/docs/mer/p21/p2113/a2113rl.pdf>

MER-commissie, 2013 IJsseldelta-Zuid Toetsingsadvies over het milieueffectrapport, <https://www.commissiemer.nl/>

MER-commissie 2020 N307 Roggebot Kampen Toetsingsadvies over het milieueffectrapport , 14/8/2020, projectnr 3487, <https://www.commissiemer.nl/>

Nagy L, 2002, Geotechnical aspects of 200 years dike failures in the Carpathian basin, Proc. 12th Danube-European Soil Mechanics and Geotechnical Conference, Passau

Nicolai, R, C. Geerse, H. Chbab, 2014, Belastingenmodellen WTI-2017 : overzicht en benodigde gegevens onzekerheden, HKV-rapport PR2829.10

Paarlberg, A en Kater, E, 2018a, Reevediep fase 2 - Optimalisatie inlaatdempel en verkenning systeemwerking. Hoofdrapport , HKV-rapport,PR3638.10, juni 2018.

Paarlberg, A en Kater, E, 2018b, Reevediep fase 2 - Optimalisatie inlaatdempel en verkenning systeemwerking. Achtergrondrapport. PR3638.10, juli 2018.

Programmateam BOI, 2019, Programmaplan BOI 2020 – 2023, Doorontwikkeling van het Beoordelings- en Ontwerp Instrumentarium voor Primaire Waterkeringen versie 3, RWS WVL 30/11/2019, <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen/programma-boi-2020-2023/>.

Rijkswaterstaat, 2017, Handreiking ontwerpen met overstromingskansen Veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskansen-normen OI2014v4, RWS WVL, https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/142605/handreiking_ontwerpen_met_overstromingskansen_feb2017.pdf

Slomp R.,M., Ytsma D. Westphal R, 20022001 Noodmaatregelen voor de IJsseldelta, RWS RIZA werkdocument 2002.095x, <https://kennisplein.intranet.minienm.nl/documenten/236147> IJsseldelta

Slomp R.,M., 2020 , Deelprojectplan Hydraulische Belastingen BOI, Rijkswaterstaat WVL, December 2020

De Waal, H.J., Spruyt, A., Smale, A.J., 2013 , Uitgangspunten productieberekeningen WTI2017, Aansturing, schematisaties en uitvoerlocaties. Deltares rapport 1207807-009-HYE-0006-v2. Oktober (zie ook de Waal et al 2013.)

Smale, A.J. 2014 Uitgangspunten productieberekeningen WTI2017 Aanvulling op uitgangspunten vastgesteld in 2013", Deltares-rapport 1209433-001-HYE-0005, 16/7/2014"

Smale, A.J., 2018a ", Werkwijzer bepaling Hydraulische Ontwerprandvoorwaarden Aanvulling OI2014, versie 5 (Hydra-NL 2.4.1), Deltares-rapport 11202226-009-GEO-0002, 8/5/2018)

Smale, A.J., 2018b Correlation between model uncertainties wave height and wave period. **Deltares rapport: 1202225-003-GEO-0002**

Sterl, A, 2017, Drag at high wind velocities – a review, KNMI Technical Report TR-361

Sterl, A, 2018a, On the added value of coupled wind-wave-current modelling. KNMI report for WBI2023 and NKWK-WP3, KNMI Technical Report TR-365.

Sterl, A, 2019, A short review of roughness-length parameterizations. KNMI report for WBI2023 and NKWK-WP3, 24/1/2019.

Stienstra, M. 2020, Projectplan Waterwet Roggebotsluis , RWS MN, 7/4/, Rijkswaterstaat, april 2020, <https://www.commissiemer.nl/projectdocumenten/00007055.pdf>

Stijnen, J.W. en R. Daggenvoorde, 2018. Achtergrondrapportage voor waterveiligheid bij Projectplan Waterwet.

Stijnen, J. W. Daggenvoorde R, J. Paarlberg, A, 2018 Proef productie-berekeningen IJVD, met het Nationaal Water Model HKV-rapport PR3707.10

Stijnen J.W. R.J. Daggenvoorde, Boersen S., ter Hoeven J., J. Tigchelaar, 2019a, Quick-scan Veiligheidsanalyse Waterveiligheid langs de benedenloop van de IJssel, HKV-rapport, PR3871.20

Stijnen J.W, Daggenvoorde R,J. ter Hoeven, J, 2019b, Amoveren Roggebotsluis Waterveiligheid in de IJsseldelta, HKV-rapport 3871.10

Stijnen, J.,W, Hove, A van, Daggenvoorde R, J. (2019c) Databases Vecht-IJsseldelta, Nationaal Water Model HKV project: PR4108.10

Strijker B., 2018 The inclusion of model uncertainty - Preliminary examination on how model uncertainties affect frequency lines for water levels, afstudeerscriptie TU Delft, (repository TU delft)

Strijker B, Geerse C.P.M, Stijnen J.W., 2019, Voorstel update modelonzekerheden rondom IJsseldelta, inclusief Reevediep

Strijker B., Geerse C.P.M, 2020, Model uncertainty in the Vechtdelta, Estimation of water level uncertainty substantiated with physical calculations HKV: PR4049.10

Tauw, Witteveen en Bos, Royalhaskoning, 2013, Deelproduct 19 samenvatting aanvulling planstudie IJsseldelta-Zuid definitief 03 rapport 22 maart 2013 #130322_19

Thonus, B. 2018, Sommen Generator WaterModellen, Sommen Generator Water Modellen (SGWM), met als speciale focus het gebruik in het NWM, HKV-memo, PR3875.10 en PR3597.20, april 2018 (Nationaal Water Model)

van Tol, P. 2018 Ontsluiten (conditionele) illustratiepunten-verschilanalyse Vecht-IJsseldelta -WBI2017-IJVD2018, Witteveen en Bos, 103525/18-018.120

Veen, R. 2018, Betrekkingslijnen Rijn versie 2018 geldigheid vanaf 1 november 2018.
Tak: IJssel; Keteldiep WAQUA Rijn versie J18_5-w1"
<https://www.helpdeskwater.nl/@245949/betrekkingslijnen-rijn/>

Van Vledder, G., 2017, Stappenplan aanpassing hydraulische Randvoorwaarden op basis van nieuwe inzichten winddrag, Eindrapport vvc55m1r4, Van Vledder Consulting, Wave Modelling and Hydraulic Research, 24/11/2017.

de Waal, J.P., Spruyt A., Smale, A.J. 2014 Uitgangspunten productieberekeningen WT12017 Aansturing, schematisaties en uitvoerlocaties", Deltares-rapport 1207807-009-HYE-0006, 15/7/2014"

de Waal J.P., 2003 Windmodellering voor bepaling waterstanden en golven. Een analyse van de bouwstenen, RWS RIZA-werkdocument 2003.118X,
https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_79524_31/1/

de Waal, J.P. 2017 Basisrapport WBI2017 v 1,2, Deltares-rapport 1202225-012-0001, 13/12/2018

de Waal, J.P., Stijnen, J.W., van den Bosch P. , 2019, Hydraulische Belastingen data voor waterkeringen in Nederland, Probleemanalyse productie en beheer, Deltares, HKV Lijn in Water en Arcadis rapport 11203721-005-GEO-0008, 11 oktober 2019.

de Waal, J.P., Stijnen J.W., van den Bosch P. , 2020, Productie Beheer en Onderhoud Hydraulische Belastingen data voor waterkeringen in Nederland, Stappenplan. J.P. De productie en beheer, versie 20.1

de Waal, J. Stijnen, P. van den Bosch, Deltares, HKV Lijn in Water en Arcadis rapport 11205758-014-GEO-0001, 5 juni 2020.

Waal J.P de, 2019a Schematiseringshandleiding hoogte WBI 2017, RWS-rapport 28/11/2019, <https://www.helpdeskwater.nl/@205748/hoogte-wbi-2017/>

de Waal J.P, 2019b Handleiding voor het gebruik van de dam- en voorlandmodule ter bepaling van de hydraulische condities bij de dijkteen, versie 2.0, WBI 2017, RWS-rapport, 28/11/2019,
https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/157026/handleiding_gebruik_dam_en_voorlandmodule_2_0.pdf

Wegman, C. 2020 Controle SWAN-berekeningen Reevediep, HKV-memo 4280.10, 30/6/2020.

Wieringa, J. en Rijkoort, P.J. 1983, Windklimaat van Nederland, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), Staatsuitgeverij Den Haag ISBN 9012044669De Bilt, 1983

Wojciechowska, K., 2010 Probabilistische berekeningen bypass Kampen, HKV Lijn in Water, PR1956.10

Wojciechowska, K., 2021, Consequentieanalyse BOI, Deltares-memo

Wojciechowska, K., 2021b, Hydra-Ring, Technical Reference Manual. 11206818-015-GEO-0003-Technical Reference Manual of Hydra-Ring 20.1

A. Appendix: Een overzicht van alle grote ingrepen in de Vecht en IJsseldelta

In de Vecht en IJsseldelta zijn in de laatste eeuw diverse grote ingrepen geweest. In de huidige update van de Hydraulische Belastingen komen deze alle samen:

- Aanleg Kattenkop, het splitsingspunt van Keteldiep en Kattendiep (op km 1000 van de IJssel);
- De stormvloedkering van Ramspol;
- Ruimte voor Rivier: Zomerbed verdieping en dijkverlegging Westerholte;
- IJsseldelta-Zuid/ N307 verlegging (fase II van de Bypass).

A.1. Afsluitdijk, Splitsingspunt Keteldiep – Kattendiep, een beoogde slibvang?

Het Keteldiep is een scheepvaartgeul uit de 19^e eeuw. Het Kattendiep is een extra geul voor afvoer uit 1938, aangelegd omdat de het Oude Ganzendiep en Rechtendiep gesloten werden voor de aanleg van de Noordoostpolder. Een bijkomend voordeel van de aanleg van het Kattendiep zou het tegengaan van ijsvorming in de monding van de IJssel zijn. Voor de afsluiting van het IJsselmeer was er vrij veel aanzanding (o.a. door het zoute water). Bij zoet water komt het slib verder het Ketelmeer op. Zowel ijsvorming als aanzanding bleven na de aanleg van het Kattendiep toch nog een probleem.

Na de aanleg van de Noordoostpolder is de Ramsdiepgeul gegraven voor de afwatering van het Zwarte Meer.

Het idee achter de slibvang bij het splitsingspunt bij Keteldiep-Kattendiep (rond km 1002) van de IJssel is dat het sediment richting het Kattendiep gaat en het water richting het Keteldiep. De theorie hierachter is dat men sedimentloze kanalen tangentieel aan kan sluiten op rivierbochten (Bulle, 1926).

Het afstudeeronderzoek "Sedimenttransport in het splitsingspunt van de IJsselmonding, een studie betreffende het sedimenttransport zoals dat zich bij een splitsingspunt in een rivier over beide stroomgeulen verdeelt" (Riksen, 1985) laat op basis van een wiskundige analyse zien waarom via het Keteldiep nog ongeveer de helft van de hoeveelheid slib naar het Ketelmeer gaat. Het splitsingspunt verdeelt de rivierstroom over twee even belangrijke takken. Het Bulle effect (van hierboven) kan niet optreden, omdat de rivier twee bochten heeft die tegen elkaar in werken.

In (Riksen, 1985) zijn diverse oplossingen uitgewerkt voor een betere configuratie van het splitsingspunt. Geen enkele oplossing lijkt te zijn uitgevoerd.

Een WL-rapport uit 1993 ("Morfologische studie ten behoeve van natuurontwikkeling IJsselmonding") maakt de melding dat zowel het Keteldiep als het Kattendiep zwaarder gebaggerd worden dan de natuurlijke aanwas. Zoveel zelfs, dat langs het Kattendiep natuurlijke oevers afkalfden. Hier lijkt een aantal jaren later toch direct of indirect actie op genomen te zijn. In de IJsseldelta zijn na 2000 langs het Kattendiep (en in het Vossemeer) namelijk diverse eilanden aangebracht in het kader van natuurontwikkeling. Het WL-rapport waarschuwt op basis van literatuuronderzoek wel voor een zeer snelle verzanding van de ene tak van een splitsingspunt bij relatief kleine veranderingen in het watersysteem.

De slibvang lijkt dus wel gewenst, maar heeft nooit zo gefunctioneerd en Rijkswaterstaat lijkt de adviezen van de student Riksen uit Delft niet te hebben toegepast. Hiervoor hadden enkele hectares land opgeofferd moeten worden en enkele kilometers dijk worden verlegd. Baggeren was vermoedelijk toch goedkoper.

A.2. Dijkverleggingen in de 20^e eeuw

In de 20^e eeuw zijn langs de IJssel en Vecht nog dijken aangelegd. Ook zijn er veel rivierbochten afgesneden. Beide zaken hebben geleid tot minder topvervlakking op de IJssel. Veel van deze dossiers uit de jaren '80 zijn terug te vinden op de MER-commissie website.

A.3. Wet op de Waterkering

Door de Wet op Waterkering³⁹ werden diverse normen uit projecten wettelijk vastgelegd⁴⁰. Er kwam een duidelijke scheiding tussen primaire waterkeringen en regionale waterkeringen.

Voor de primaire waterkeringen maakte het Rijk twee formele documenten:

- Een Leidraad toetsen op Veiligheid, vanaf 2001 een Voorschrift Toetsen op Veiligheid
- En een Hydraulisch Randvoorwaardenboek

Dit eerste hydraulisch randvoorwaardenboek uit 1996 bevat getallen met o.a. ontwerpwaterstanden en ontwerpgolven voor waterkeringen bij de norm. Voor veel gebieden was het niet meer dan een nietje door de bestaande documenten. Voor gebieden met stormvloedkeringen, de benedenrivieren (de Maeslantkering was toen in aanleg), de Oosterscheldekering (1985) en voor het IJsselmeergebied waren er probabilistische programma's ontwikkeld tijdens de bouw⁴¹ of tijdens de toetsing.

Voor het Benedenrivierengebied leverden de programma's waterstanden (FreqfK⁴²) en golfinformatie op in combinatie met waterstanden uit FreqfK, het programma Dijkkring⁴³. Voor het IJsselmeergebied was in 1995 het programma Peilof⁴⁴ ontwikkeld.

Voor die regionale waterkeringen hebben de provincies later normen vastgesteld en heeft STOWA de modelontwikkelingen getrokken met de Dijk Analyse Module (DAM) en Promotor (voor de bepaling van hydraulische belastingen/hydraulische randvoorwaarden voor regionale keringen).

A.4. Ramspol

³⁹ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0007801/2008-07-01>

⁴⁰ Dit proces is uitgewerkt in Risico's Bedijkte Termen, van het RIVM <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500799002.pdf>

⁴¹ Faalkansanalyse veiligheidssysteem Oosterschelde, het RIEMANN/SIMPLIC-model nota AX 93.003 en Langendoen; OOSTWAT, een programma voor de berekening van de Oosterschelde-waterstanden bij gesloten kering ; nota DDWT 81.014; Rijkswaterstaat ; 1981.

⁴² Het FreqfK model is begin jaren 90 ontwikkeld door Henk de Deugd voor de bouw van de stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg.

⁴³ Programma Dijkkring 4.0 : gebruikershandleiding, Frank den Heijer, Hans Venema, (Plony) A.P. Cappendijk-de Bok

⁴⁴ PEILOF-Pc versie 1.01 : programmahandleiding, Lisman R., Kruitwagen, P., Westphal R. https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_92233_31/1/

Het Ramspoldossier liep redelijk lang, van begin jaren tachtig tot aan de uitvoering in 2002. Het heeft uiteindelijk geleid tot een waterkering die met name de stad Zwolle beschermt van storm op het IJsselmeer en Ketelmeer.

Er was eerst een 1^e fase van het Ramspol project en daarna een tweede fase. Beide hebben een MER advies gehad, in 1988 voor de 1^e fase (zie <https://www.commissiener.nl/>). Van de tweede fase van het Ramspol dossier zijn nog relatief veel documenten beschikbaar.

Voor BOI het is het document Bouwdienst (Kors, 1994) de "Projectnota/MER keersluis Ramspol, Deelrapport van de werkgroep Hydraulica" het belangrijkste. Dit beschrijft o.a. een probabilistisch model dat noodzakelijk is om de werking van de Ramspolkering voor de bouw te kunnen beoordelen.

Met name het hoofd rapport is ook van belang: (Bouwdienst 1995). Dit rapport laat onder andere zien hoe men worstelt met eventuele effecten op Kampen.

De MER-Commissie heeft twee keer een advies uitgebracht over fase 2

- 2^e fase Ramspol 4 maart 1992, 1^e MER advies
- 29 maart 1995, 2^e MER advies

De aanleg vond plaats tussen 2001 en eind 2002.

In het kader van het Ramspol zijn twee compensatiemaatregelen voor de stad Kampen bedacht en deels uitgevoerd.

- De Overstroombaarheid van traject 225, zodat water vanuit het Ketelmeer het Kampereiland op kan stromen. Uit kostenoverwegingen is alleen de laatste 3 km overstroombaar gemaakt voor een norm van 1/500^e per jaar. In het landschap zie je dit ook door de lagere dijk, doorgroeienden op de kruin en een flauwer talud aan de binnenzijde.
De rest van de dijk tussen IJsselmuiden en Ramspol is eigenlijk 30 cm hoger gemaakt dan het ontwerp. Vanuit de toenmalige overschrijdingskans norm voor hoogte van 1/2000^e gezien was de kostenbesparing uitlegbaar en verdedigbaar.
- In de stad Kampen kregen buitendijkse bewoners schotten voor de deur in het geval van hoogwater (de zogenaamde "commit" maatregelen).

A.5. Deltaplan Grote Rivieren

Door hoge rivierstanden van 1993 en 1995 bleek dat de dijkversterkingsronde uit de jaren '80 ontoereikend was. Dit heeft versneld geleid tot toetsing en vaak ook de versterking van waterkeringen langs de grote rivieren Maas en Rijn. Langs de Maas zijn toen 150 km aan nieuwe dijken aangelegd, aangeduid als "Maaskaden".

In Kampen was de versterking van dijkkring 11 (nu traject 11-2) waar de stad Kampen in ligt pas in 2002 afgerond. Het waterschap heeft bewust de inzichten uit de Leidraad Ontwerpen Rivierdijken, deel 2 Benedenrivieren (Andringa, 1989) gebruikt voor het ontwerp van de dijken⁴⁵. Dit gebied is net als de Benedenrivieren een estuarium.

Rijkswaterstaat had in tegenstelling tot de Benedenrivieren de kennis die was opgedaan bij de bouw van de stormvloedkering (Ramspol) niet direct beschikbaar gesteld via nieuwe software en data aan de waterkeringbeheerders. Deze kennis was daardoor slechts beschikbaar voor een zeer kleine groep mensen.

⁴⁵ Mondelinge mededeling van het hoofd waterkeringen uit die periode aan de auteur.

A.6. PKB Ruimte voor de Rivier

De noodzaak van Ruimte voor Rivier komt voort uit de hoge rivierstanden van 1993 en 1995. Alle dijken zijn versterkt op basis van de Hydraulische Belastingen uit het 1996 HR boek en de software (in de Benedenrivieren in Zuid-Holland) waar nog een maatgevende afvoer van 15 000 m³/s voor de Rijn bij Lobith in vermeld stond. Deze maatgevende afvoer (of eerder de statistiek van de afvoer voor estuaria) bepaalt de ontwerp- en toetspeilen/ toetswaterstanden. Na de evaluatie van de afvoeren verscheen in 2001 een update van de Hydraulische Randvoorwaarden, HR2001. De Maatgevende Afvoer voor steeg voor de Rijn bij Lobith van 15 000 m³/s naar 16 000 m³/s. Dit leverde een "taakstelling" op, de rivierwaterstanden moesten dalen zodat de dijken weer veilig werden.

Het concept achter Ruimte voor de Rivier is heel simpel. Dit is zowel de kracht als de zwakte ervan. Door het Deltaplan Grote Rivieren waren in theorie alle rivierdijken op orde. Dat betekent dat waterstandsdeling een maat is voor risico. Dit concept is via de Blokkendoos Ruimte voor Rivier (Schijndel, 2004) gecommuniceerd met bewoners, experts, bestuurders van provincies en waterstanden, de eerste en tweede kamer. Ook moest per riviertak een samenhangende keten van maatregelen zorgen voor een goede afstroming. Voor het gemak is wel de morfologie uit de opdracht aan Ruimte voor de Rivier gehouden. In individuele projecten is wel naar morfologie gekeken zoals bij het verlagen van kribben op de Waal.

Waterstandsdeling als maat voor het risico is een eenvoudig uitlegbaar verhaal, dat klopt als de waterschappen ook volgens de ontwerpkeidraden de dijken hadden aangelegd en klopt als en zolang de rekenregels/leidraden voorsterkte niet veranderen. Ook na Ruimte voor de Rivier bleek een groot deel van de dijken niet te voldoen aan de normen van 1996⁴⁶ (Slomp, 2005). Veel waterschappen en ingenieursbureaus hadden het begrip "effectieve strijklengte" uit de Leidraad Ontwerpen Rivierdijken deel 1 (Cirkel, 1985) niet begrepen; hierdoor werden nieuwe dijken tot 0,50 m te hoog of te laag.

In de bovenrivieren kon je het effect van maatregelen optellen, mits de maatregelen niet geografisch overlaptten. In de Benedenrivieren en de Vecht- en IJsseldelta gaat dit niet op. De benedenwaterstand (gemiddelde zeewaterstand of meerpeil) en de effecten van stormopzet maken het noodzakelijk om alle maatregelen gezamenlijk door te rekenen.

In de Benedenrivieren werd de blokkendoos gevuld door een opvolger van FreqfK, een versimpeling van Hydra-NL (Hydra-BS). Dit zat allemaal verstopt in de MHWp, Maatgevende Hoogwaterstanden processor, die zowel de Hydra-sommen als de SOBEK-sommen aanstuurde (Stout en Slomp, 2005)

In de Vecht- en IJsseldelta werd de verhanglijnenmethode gebruikt voor de vulling van de Blokkendoos. De methode gaat uit van een afvoer met herhalingstijd T=2000 jaar in combinatie met een hoog meerpeil (van 1 meter) in verband met de correlatie tussen hoogwater en meerpeil en daarnaast een T=2000 jaar stormopzet op het Keteldiep van 2,95 m+NAP met een T=1 jaar maximum IJsselafvoer. Dit betekent dat de invloed van de stormopzet op de rivier zelf nagenoeg is verwaarloosd in deze benadering (Hartman, 1995, Hartman et al, 2005). De methode heet de methode "Westphal" omdat ir. Westphal de handmatige correctie uit 1995 veranderd heeft in een rekenkundig recept vanaf 2005. In 2001 heeft ir. Westphal (Slomp et al, 2001) aangetoond dat het effect van de

⁴⁶ Tools to evaluate flood defense policy, which model is acceptable? R.M. Slomp Rijkswaterstaat, RIZA, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Lelystad, the Netherlands.

stormopzet tot omstreeks km 970 reikt met een aangepaste versie van Hydra-M (de opvolger van Peilof).

De *taakstelling* is een centraal begrip bij de versterkingsopgave van de jaren direct na 2001. De taakstelling is het verschil tussen de toetswaterstanden van het Randvoorwaardenboek 2001 (HR2001) en de toetsrandvoorwaarden van het Randvoorwaarden boek 1996 (HR1996). Dit is na te rekenen in een exceltabel⁴⁷. De ontwerpwaterstanden zijn aangeduid als Maatgevende Hoogwaterstanden (MHW's), daarin zit het toekomstig effect van zeespiegelstijging verwerkt

De taakstelling is meerdere malen veranderd (in de Rijntakken) en soms is er pragmatisch mee omgesprongen (in de Benedenrivieren). Zeker de genoemde Hydraulische Belastingen bevatten daarom nog diverse verbeterpunten. In de HR2001 van de Rijntakken zaten een aantal fouten. Een voorbeeld is de foutieve ligging van het meetpunt Katerveer op de IJssel in het WAQUA-model: hierdoor klopten de modelwaterstanden niet met de metingen. In 2003 heeft Ralph Schielen voor de bovenrivieren een verbeterde HR2001 set van waterstanden voor Ruimte voor de Rivier geleverd. Bij de Benedenrivieren zijn bewust de fouten in de modellen niet verwijderd. Een fout zat b.v. bij de Overdiepse polder, daar was de bodemruwheid tussen 1996 en 2001 arbitrair veranderd, dat leverde een extra waterstandsverhoging van 30 cm op.

Bij Ruimte voor de Rivier is pragmatisch omgegaan met de taakstelling in de Benedenrivieren. Langs de Lek zijn Ruimte voor de Riviermaatregelen niet verstandig. De rivier heeft namelijk smalle uiterwaarden en door de veenbodem kunnen dijken instabiel worden door de aanleg of aanwezigheid van nevengeulen. Een bijkomend zorgpunt voor veiligheid langs de Lek wordt gevormd door het risico op diepe ontgrondingskuilen. Langs de Lek zijn door Ruimte voor de Rivier daarom ook dijkversterkingen gefinancierd om het water veilig naar zee te geleiden. De taakstelling tussen Lith en Keizersveer op de Bergsche Maas was maximaal zo'n 60 cm. De Overdiepse Polder heeft hier maar de helft van gerealiseerd.

Wat wel opvalt is dat veel van de duurste Ruimte voor de Riviermaatregelen in of nabij de riviermondingen liggen (op maatregel bij Lent /Nijmegen na). In de komende eeuwen zullen deze maatregelen veel minder efficiënt worden.

A.7. Ruimte voor de Rivier maatregelen in WBI 2017

Tegen 2015 naderde het programma Ruimte voor de Rivier zijn voltooiing. Ter voorbereiding van WBI2017 zijn vier grote Ruimte voor de Rivier maatregelen opgenomen in de actualisatie van de schematisatie in 2016. Dit is uitgevoerd door (Bak, C. in actualisatie IJsselmeer en IJssel Vechtdelta model 2016.

De grootste aanpassingen ten opzichte van WAQUA-j14_5-v2 zijn:

- Zomerbedverlaging Beneden-IJssel
- Hoogwatergeul Veessen-Wapenveld
- Uiterwaardvergraving Scheller en Oldeneler Buitenwaarden
- Dijkverlegging Westenholte

⁴⁷ Hydraulische Belastingen 2001, Herbert Berger, een memo en een excelblad.



Figuur 12-1: Overzicht Ruimte voor de Rivier maatregelen en alternatieven

In dit rapport worden beknopt de nieuwe Baseline schematisatie (ym_ijvd_ov-j16_5-v1) en de WAQUA modellen (WAQUA-ym_ijvd_ov-j16_5-v1 resp. WAQUA-ym_ijvd-j16_5-v1) beschreven. Hierbij worden de resultaten van de WAQUA modellen vergeleken met WAQUAj14_5-v2.

Voor 3 stormperiodes te weten in 2007, 2011 en 2013 zijn daarbij de resultaten opnieuw gesimuleerd. Daarbij zijn ook een aantal omissies verbeterd. De grootste hiervan (wat betreft uitkomsten) verschillen ten opzichte van de WAQUA-schematisatie j14_5-v2 zijn voor de stormperiode 2007 het gevolg van de zomerbedverlaging in de Beneden-IJssel.

WBI neemt alleen maatregelen op waarvan een MIRT2 besluit is genomen. Makkelijk te vinden openbare documenten zijn de MER-adviezen en besluiten in de Staatscourant of het Waterschapsblad. Na het MER commissie-advies vinden de werkzaamheden normaal gesproken pas plaats.

De volgende MER adviezen zijn daarbij het meest relevant:

- Zomerbedverlaging Beneden-IJssel Toetsingsadvies over het milieueffectrapport MER advies 16 augustus 2013,
<https://www.commissiemer.nl/docs/mer/p24/p2485/a2485ts.pdf>
- Westenholte,
Dijkverlegging Westenholte Zwolle Toetsingsadvies over het milieueffectrapport 29 juli 2010 / rapportnummer 1670-84
<https://www.commissiemer.nl/docs/mer/p16/p1670/a1670ts.pdf>
- Veessen-Wapenveld,
Toetsingsadvies over het milieueffectrapport 20 november 2012 / rapportnummer 2190-96
<https://www.commissiemer.nl/docs/mer/p21/p2190/a2190ts.pdf>
- Uiterwaardvergraving Scheller en Oldeneler Buitenwaarden Toetsingsadvies over het milieueffectrapport 11 december 2008 / rapportnummer 1729-115
<https://www.commissiemer.nl/docs/mer/p17/p1729/a1729pts.pdf>

A.8. Aanpassing Waterwet, Nieuwe Normering

Eind 2013 is de nieuwe normering besproken in vaste Kamercommissie van de Tweede Kamer. Deze nieuwe normering werd vanaf januari 2014 doorgevoerd in het Ontwerpinstrumentarium OI2014 en vanaf 1/1/2017 in het Beoordelingsinstrumentarium (WBI2017). Vanaf 1/1/2014 werd ook het nieuwe rivierkundig beoordelingskader van kracht waarbij het bij het beoordelen van vergunningsaanvragen verplicht was om probabilistisch te rekenen met Hydra-Zoet in de Vecht en IJsseldelta.

Dijkring	Normfrequentie Wet op de Waterkering	Water Wet, aanpassing 2014		
		traject	signaleringsgrens	ondergrens
7: Noord Oostpolder	1/4000 ^e per jaar	7-1	1/3000 ^e per jaar	1/1000 ^e per jaar
	1/4000 ^e per jaar	7-2	1/3000 ^e per jaar	1/1000 ^e per jaar
8: Flevoland	1/4000 ^e per jaar	8-4	1/30000 ^e per jaar	1/10000 ^e per jaar
9: Vollenhove	1/1250 ^e per jaar	9-1	1/1000 ^e per jaar	1/300 ^e per jaar
	1/1250 ^e per jaar	9-2	1/3000 ^e per jaar	1/1000 ^e per jaar
10: Mastenbroek	1/2000 ^e per jaar	10-1	1/3000 ^e per jaar	1/1000 ^e per jaar
	1/2000 ^e per jaar	10-2 ⁴⁸	1/3000 ^e per jaar	1/1000 ^e per jaar
	1/2000 ^e per jaar	10-3	1/10000 ^e per jaar	1/3000 ^e per jaar
11: IJsseldelta	1/2000 ^e per jaar	11-1	1/3000 ^e per jaar	1/1000 ^e per jaar
	1/2000 ^e per jaar	11-2	1/3000 ^e per jaar	1/1000 ^e per jaar
52: Oost-Veluwe	1/1250 ^e per jaar	52-a-1 ⁴⁹	1/3000 ^e per jaar	1/1000 ^e per jaar
	1/1250 ^e per jaar	52-2	1/3000 ^e per jaar	1/1000 ^e per jaar
	1/1250 ^e per jaar	52-3	1/3000 ^e per jaar	1/1000 ^e per jaar
	1/1250 ^e per jaar	52-4	1/3000 ^e per jaar	1/1000 ^e per jaar
53: Salland	1/1250 ^e per jaar	53-1	1/3000 ^e per jaar	1/1000 ^e per jaar
	1/1250 ^e per jaar	53-2	1/3000 ^e per jaar	1/1000 ^e per jaar
	1/1250 ^e per jaar	53-3	1/10000 ^e per jaar	1/3000 ^e per jaar
Verbindende waterkeringen (VW)				
VW#2: Kadoelersluis	1/4000 ^e per jaar	202 ⁵⁰		1/1000 ^e per jaar
VW#6: Spoldersluis	1/2000 ^e per jaar	206		1/3000 ^e per jaar
VW#25 Keersluis te Ramspol ⁵¹	1/2000 ^e per jaar	225		1/10000 ^e per jaar
VW#3: Roggebotsluis	1/4000 ^e per jaar	226		1/1000 ^e per jaar
Reevesluis (nieuw)	geen	227		1/1000 ^e per jaar

Tabel: 12-1 Overzicht oude en nieuwe normen in de IJssel- en Vechtdelta.

Alle dijkringen zijn in de nieuwe Waterwet vervangen door dijktrajecten. Deze zijn gebaseerd op een bepaald schadebeeld. Per oude dijkkring is een rapport te vinden op de Helpdesk Water⁵² met de keuzen achter de bepaling van het traject.

Dicht bevolkte gebieden met relatief weinig dijken krijgen bij de nieuwe systematiek een hogere norm.

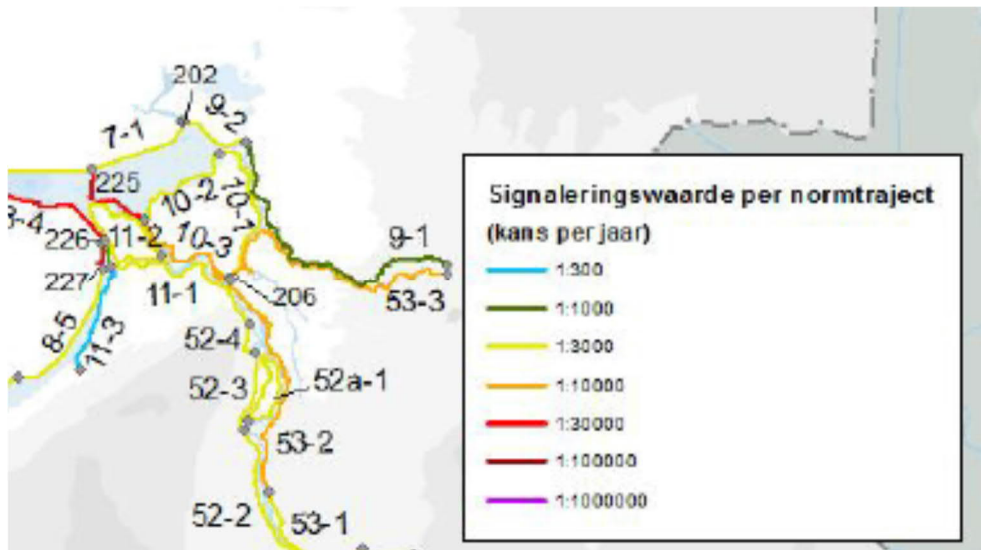
⁴⁸ Norm aangescherpt i.v.m. beperkte evacuatie mogelijkheden.

⁴⁹ Eiland bij Veessen/Wapenveld

⁵⁰ Trajectnummers met 200 of meer zijn verbindende keringen met aan beide zijden water.

⁵¹ Ramspol heeft ook een wettelijk eis voor functioneren, vertaald in maximale faalkanseis niet-sluiten van 1/100^e per sluitvraag.

⁵² <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/normen/>



figuur
12-2 :
Nieuwe

Normering trajecten in de Vecht- en IJsseldelta

De norm van de verbindende waterkering 225 is behoorlijk aangescherpt vanwege de normen van de achterliggende gebieden, zoals de trajecten die Zwolle beschermen. De overstroombaarheidsnorm van 1/500^e voor traject 225 wordt niet meer genoemd. De oude overschrijdingskans norm van 1/2000^e is veranderd in een signaleringsgrens van 1/30 000^e per jaar en een ondergrens van 1/10 000^e per jaar.

A.9. WBI 2017 aanpassing Bypass Fase 1.

Voor de WBI2017 productieberekeningen is de Bypass fase 1 toegevoegd door middel van een onttrekking van een debiet bij km 990 en een toevoeging van dezelfde hoeveelheid water bij Roggebotsluis, zie (Agtersloot en Paarlberg 2017) en de uitgangspunten documenten van de productieberekeningen van WBI2017 (De Waal et al 2013, en Smale, 2014). De schematisatie is gebaseerd op (Tauw et al, 2012) met een regelbare inlaat en 220 m³/s onttrekking van de IJssel, met een effect van ongeveer 12 cm bij Zwolle.

WBI neemt alleen maatregelen op waarvan een MIRT2 besluit is genomen. Makkelijk te vinden openbare documenten zijn de MER-adviezen en besluiten in de staatscourant of het waterschapsblad.

De besluiten voor IJsseldelta fase 1 zijn te vinden op de website.

<https://www.ijsseldeltaprogramma.nl/reveal/projectplan-waterwet-waterkeringen-ijsseldelta-zuid/>

<https://www.ijsseldeltaprogramma.nl/reveal/projectplan-waterwet-inrichting-ijsseldelta-zuid-reevediep/>

<https://www.ijsseldeltaprogramma.nl/reveal/projectplan-waterwet-wijzigingen-inrichting-reevediep/>

Deze drie projecten zijn samen in een MER-commissie rapport getoetst in 2013, in 2008 is het afwegingskader door de MER-commissie vastgesteld. Hierbij is uitgegaan van een regelbare inlaat zie (Tauw, et al, 2012 en Tauw, et al, 2013) De inlaat is een onderdeel van fase I en niet van fase II (Loon et al, 2017).

A.10. BOI, mei 2021 aanpassing fase II van de Bypass

In deze studie is de Bypass fase 2 toegevoegd aan de schematisatie en doorgerekend door (Stijnen et al, 2018).

De schematisatie van Becker en Fujisaki uit 2017 is grotendeels gebaseerd op de toelieferingen van het project IJsseldelta-Zuid zoals het Inrichtingsplan, (Tauw et al 2012).

De maatregel is in het kader van de voorbereiding op het BOI doorgerekend door (Stijnen et al, 2018) op de Nationaal Watermodel omgeving

Een samenvatting van de invoer, modellen, rekenomgeving en de wijziging van de schematisatie ten opzichte van WBI2017 staat hieronder:

- Simona (WAQUA): versie 2016 patch 09
- Modelschematisatie: Specifiek is dit project gebaseerd op WAQUA-schematisatie "Ym_ijvd_ovhr2017_5-v4". Deze schematisatie is consistent met het WBI2017 (waarin een versie zónder Reevediep is gebruikt: "Ym_ijvd_ov-hr2017_5-v3", die hetzelfde is als versie "beno14_5"). De gebruikte "Ym_ijvd_ovhr2017_5-v4" versie is dus gelijk aan v3, maar met het Reevediep fase 2 erbij geschematiseerd. In de modelschematisatie is de Roggebotsluis niet aanwezig. De drempel van het Reevediep is vastgezet op NAP+1.5 m.
- Het model met alle vereiste bestanden is aangeleverd in de juiste mappenstructuur op de virtuele werkplek bij het SSC Campus.

Noot:

Alle uitgangspunten voor de bouw van de databases staan vermeld in (Daggenvoorde en Stijnen 2020)

WBI neemt alleen maatregelen op waarvan een MIRT2 besluit is genomen. Makkelijk te vinden openbare documenten zijn de MER-adviezen en besluiten in de Staatscourant of het Waterschapsblad.

De aanleg van het Reevediep zoals nu voorzien (fase II) is een MIRT2 besluit door de minister van IenM genomen op 12 december 2016 (IenM, 2017). Op 13 december is een bestuursakkoord getekend. In de Staatscourant Nr. 10680 van 8 maart 2017 staat dit besluit voor fase II vermeld.

De financiering van het Reevediep vanuit het Rijk is door de minister voorgelegd aan de Tweede Kamer. Die heeft hiermee ingestemd in een AO op 13 juni 2013, ondanks een geschreven en gesproken negatief advies van het Centraal Plan Bureau (CPB). Er is geen MER-advies over dit MIRT2 besluit in 2016/2017 gevraagd.

De besluiten IJsseldelta fase 2 zijn te vinden op de website.

<https://www.ijsseldeltaprogramma.nl/bekendmakingen/reevesluis/>

<https://www.ijsseldeltaprogramma.nl/bekendmakingen/drontermeerdijk/>

<https://www.ijsseldeltaprogramma.nl/reveal/hoofdbesluiten-n307-roggebot-kampen/>

De drie besluiten van fase 2 hebben bij het dossier Roggebotsluis N307 een MER-toetsing ondergaan in 2020 (MER Commissie 2020)

Noot: De meest recente rapporten van Ruimte voor de Rivier in opdracht van Rijkswaterstaat (Visser en Becker, 2017) en het projectbureau IJsseldelta-Zuid / Reevediep (ter Hoeven, 2020) voor de zomerbedverdieping en het Reevediep geven geen actueel beeld van de veiligheid van het watersysteem omdat ze een verouderde methode gebruiken uit 1996 (Hartman, 1995 en Hartman 2005). Ze geven wel een beeld ten opzichte van de taakstelling voor Ruimte voor de Rivier in termen van waterstandsval.

A.11. Referentie lijst van deze appendix

Andringa, R.J. 1989, Leidraad Ontwerpen Rivierdijken deel 2, Benedenrivieren (Technische Advies Commissie Waterkeringen, TAW publicatie)

Agtersloot R., Paarlberg A.J., 2017, WAQUA Productieberekeningen IJssel-Vechtdelta Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium, 2017, 1220082-001 © Deltares

Becker A. en Fujisaki A., 2017 Nieuwe modelschematisatie IJsselmeer-Vecht-IJsseldelta voor WBI2017, met Reevediep fase 2. Deltares rapport 11200569-008-ZWS-0004

Bouwdienst Rijkswaterstaat, maart 1995 Projectnota/MER keersluis Ramspol, Hoofdrapport, samenvatting, <https://kennisplein.intranet.minienm.nl/documenten/167386>.

Bulle, H., 1926, Untersuchungen über die Geschiebeableitung bei der Spaltung von Wasserläufen. Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens. Heft 283. Berlijn 1926.

Cirkel, R.J., 1985 Leidraad Ontwerpen Rivierdijken deel 1, Bovenrivieren, (TAW, Technische Advies Commissie Waterkeringen publicatie)

Daggenvoorde R.J, Stijnen J.W., 2020 BOI-databases VIJD, Hydraulische randvoorwaarden Vecht-IJsseldelta – Uitgangspunten, HKV-rapport PR4280.10 juni 2020

ter Hoeven, J. 2020, Nota WBS 17: Hydraulische taakstelling Reevediep - definitief HaskoningDHV-memo BG1316WATNT1810311630, 17/1/2020

Kors, A, 1994 Projectnota/MER Keersluis Ramspol, Deelrapport van de werkgroep Hydraulica Bouwdienst Rijkswaterstaat, november 1994.

Loon T., Matthijssen, J., Verburg T. 2017 Samenhangende landschapsvisie IJsseldelta Zuid Fase II. Bosch Slabbers Landschapsarchitecten i.s.m. VHA Architecten;

MER commissie, 2008, IJsseldelta Zuid, provincie Overijssel Advies voor richtlijnen voor het milieueffectrapport 17 juli 2008 / rapportnummer 2113-23

MER commissie, 2013, IJsseldelta-Zuid Toetsingsadvies over het milieueffectrapport <https://www.commissiemer.nl/>

MER commissie 2020, N307 Roggebot Kampen, Toetsingsadvies over het milieueffectrapport , 14/8/2020, projectnr 3457 <https://www.commissiemer.nl/>

Riksen A.J.O.M., 1985, Sedimenttransport in het splitsingspunt van de IJsselmonding, een studie betreffende het sedimenttransport zoals dat zich bij een splitsingspunt in een rivier over beide stroomgeulen verdeelt (afstudeerscriptie, TU Delft uit mei 1985) , <http://resolver.tudelft.nl/uuid:07a7a405-ed8e-4209-8d1c-baa1f5de720e>

van Schijndel, S, 2004 Toelichting PKB Blokkendoos, 2004 , WL Delft Hydraulics rapport Q3244.73, https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_126704_31/1/

Slomp R, Ystma, D, Westphal R, 2002, Noodmaatregelen voor de IJsseldelta, RWS2001, https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_107482_31/1/

Slomp R.M. 2005, Tools to evaluate flood defense policy, which model is acceptable? Rijkswaterstaat, RIZA werkdocument 2002.095X, https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_107482_31/1/, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Lelystad, the Netherlands.13-2-2005, ISSH congress Nijmegen.

Smale, A.J. 2014, Uitgangspunten productieberekeningen WT12017 Aanvulling op uitgangspunten vastgesteld in 2013 1209433-001© Deltares, 2014, B Stout, J., Slomp R., 2006, Plan van Aanpak (product van voorstudie, Ontwikkeling MHW-processor v3 (tbv. ontwerprandvoorwaarden), WL | Delft Hydraulics / RIZA rapport Q4060

Stijnen J.W., Daggenvoorde R.J., Paarlberg, A. 2018 Proef productie-berekeningen IJVD met het Nationaal Water Model, HKV-rapport PR3707.10 juni 2018

Tauw, Witteveen en Bos, DHVhaskoning, 2012, IJsseldelta-Zuid Inrichtingsplan, concept rapport 2010, definitief rapport 17 augustus 2012, <https://www.ijsseldeltaprogramma.nl/>

Tauw, Witteveen en Bos, DHVhaskoning, Planstudie IJsseldelta-Zuid, 2013, Beeldkwaliteitsplan nadere uitwerking kunstwerken, definitief rapport, november 2013.

Visser, T., Becker A. 2017, Pakkettoets P2017-II : bovenrivieren Deltares, 12-2017 1207404-042

de Waal H.J., Spruyt, A., Smale A.J. 2013. Uitgangspunten productieberekeningen WT12017. Aansturing, schematisaties en uitvoerlocaties. Deltares rapport 1207807-009-HYE-0006-v2. Oktober 2013.

WL Delft, 1993, Morfologische studie ten behoeve van natuurontwikkeling IJsselmonding, WL-rapport Q1713

B. Appendix : Analyse verandering HBN door introductie van SWAN

In deze Appendix wordt de verhoging bij Kampen van het Hydraulisch Belastingniveau met 0.60m uit Riskeer behandeld. Hier spelen meerdere effecten een rol, de herstelde fout /inconsistentie in de modelonzekerheden golven, de overstap van de golfmodellering Bretschneider naar SWAN en daarmee de invloed van strijkgolven in de oploop/overslagmodule.

De analyses zijn uitgevoerd met Hydra-NL maar gebruik makend van dezelfde BOI Hydraulische Belastingen testbank als van Riskeer.

Uit de onderstaande analyse blijkt dat de overstap van Bretschneider naar SWAN een effect heeft van ongeveer 0.75m op het Hydraulische Belasting Niveau. Hiermee is de toename van de belasting verklaard.

De eerste figuur laat de rekenlocatie zien. Het gaat hierbij om de locatie met het rode rondje aan de Kampense kant van de IJssel en een groene locatie aan de overzijde (de kant van IJsselmuiden).

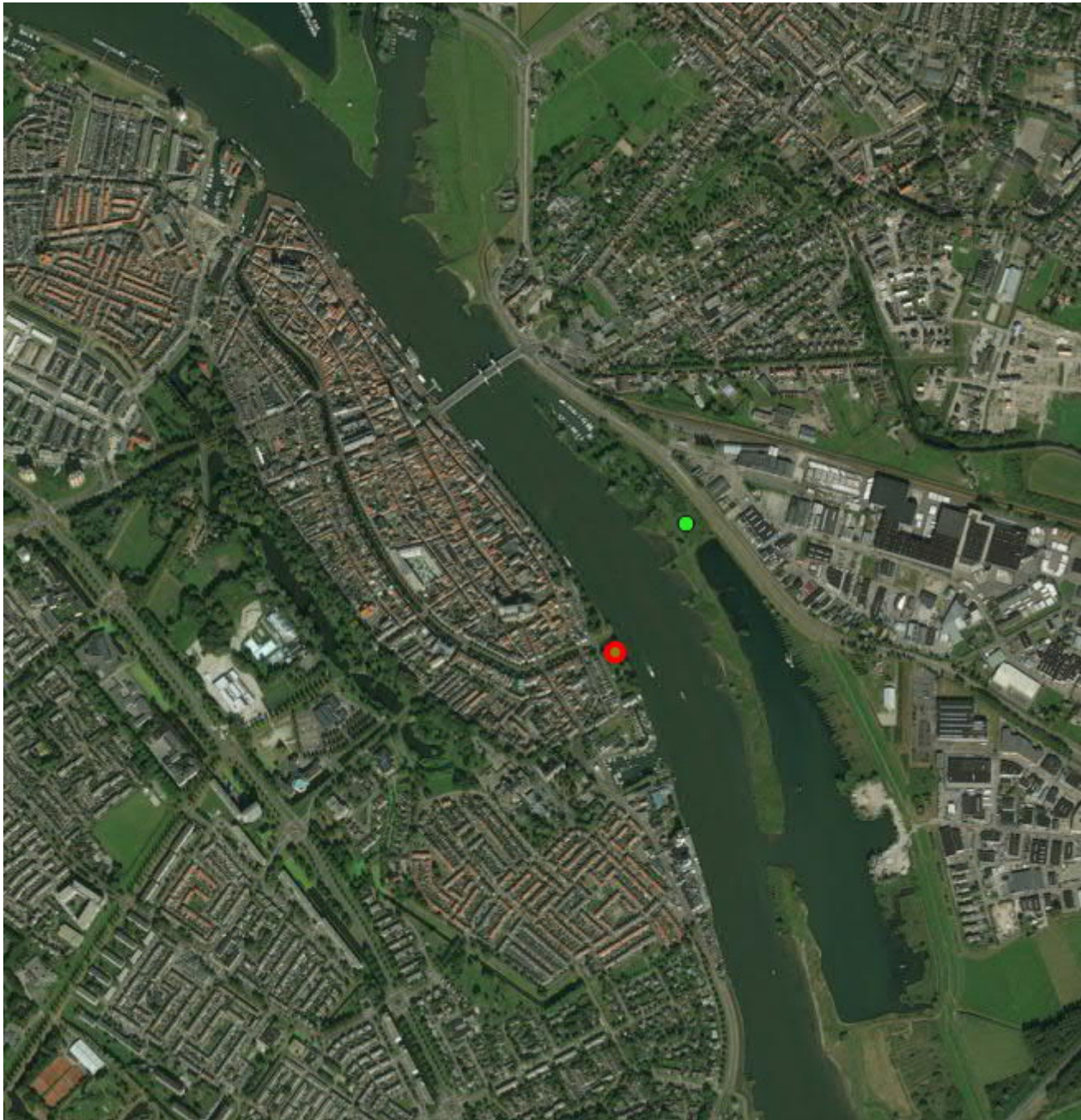
De tweede figuur laat de twee frequentielijnen voor het hydraulisch belastingniveau van Hydra-NL zien voor deze locatie, de ene frequentielijn betreft die van WBI2017 en de andere de WBI2023. Voor de terugkeertijd van 10000 jaar is het verschil 0.742 m.

De derde figuur toont aan wat de oorzaak van de verandering is. De hypothese is dat dit verschil vooral veroorzaakt wordt door de overstap Bretschneider naar SWAN en dan met name dat SWAN een golfrichting levert. Bij Bretschneider is de golfrichting gelijk gesteld wordt aan de windrichting. Om deze hypothese te staven, heeft Matthijs Duits de WBI2023-database zodanig gemanipuleerd dat de golfrichting daarin gelijk is aan de windrichting. Het Hydra-NL resultaat is het extra lijntje in de derde figuur. Deze invloed is zelfs groter dan het gevonden verschil tussen de WBI2017 en de WBI2023. Hiermee is de hypothese bevestigd.

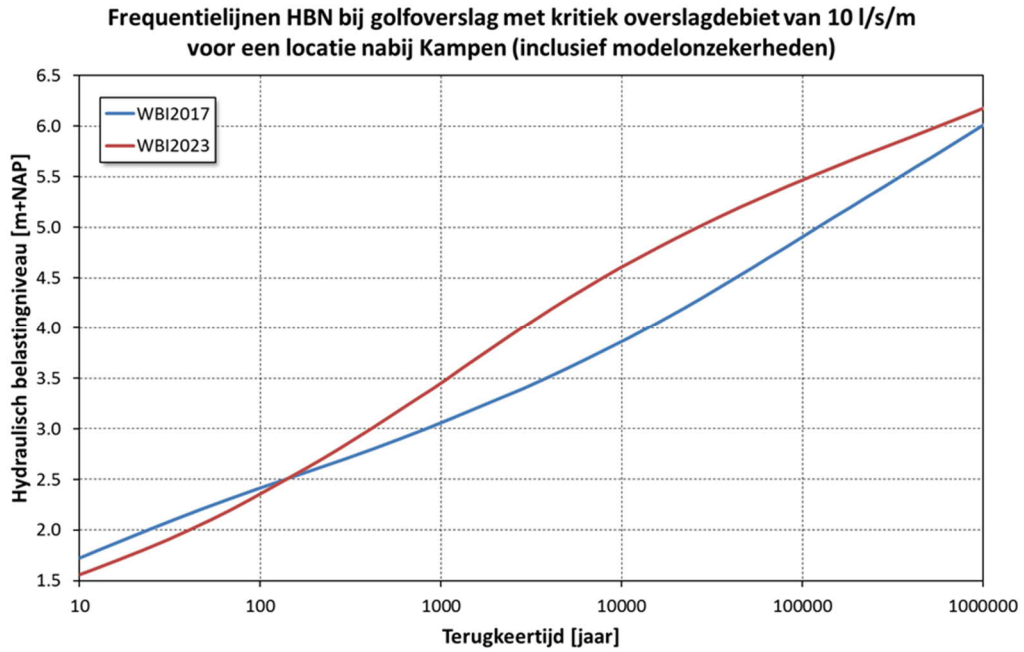
De windrichting WNW speelt de belangrijkste rol bij de strijkgolven in SWAN zie de illustratiepunten.

Noot: Dit is een analyse op basis van standaard profielen. In werkelijkheid ziet de waterkering er anders uit. Ter plekke is een damwand langs de rivieren, een kade en de waterkering loopt over het algemeen door de huizen op de kade of is een tuimelkade op de kade.

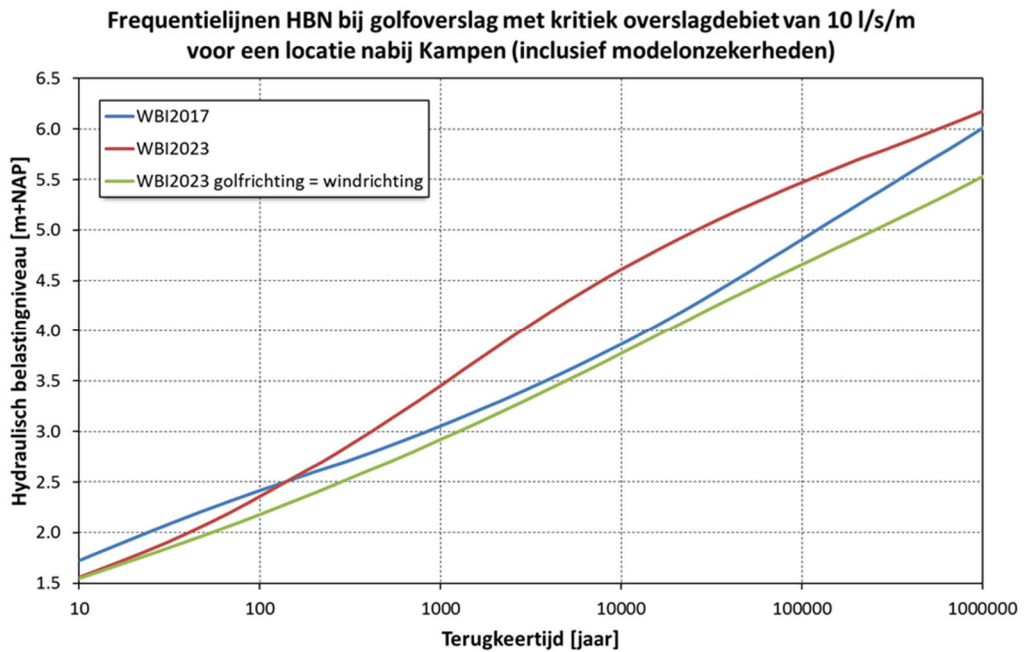
Bij de groene locatie treedt een verlaging van het HBN op van ongeveer 0.20 door de overstap van Bretschneider op SWAN.



figuur 1: Onderzochte locaties bij Kampen (linker oever Kampen, rechter oever IJsselmuiden)

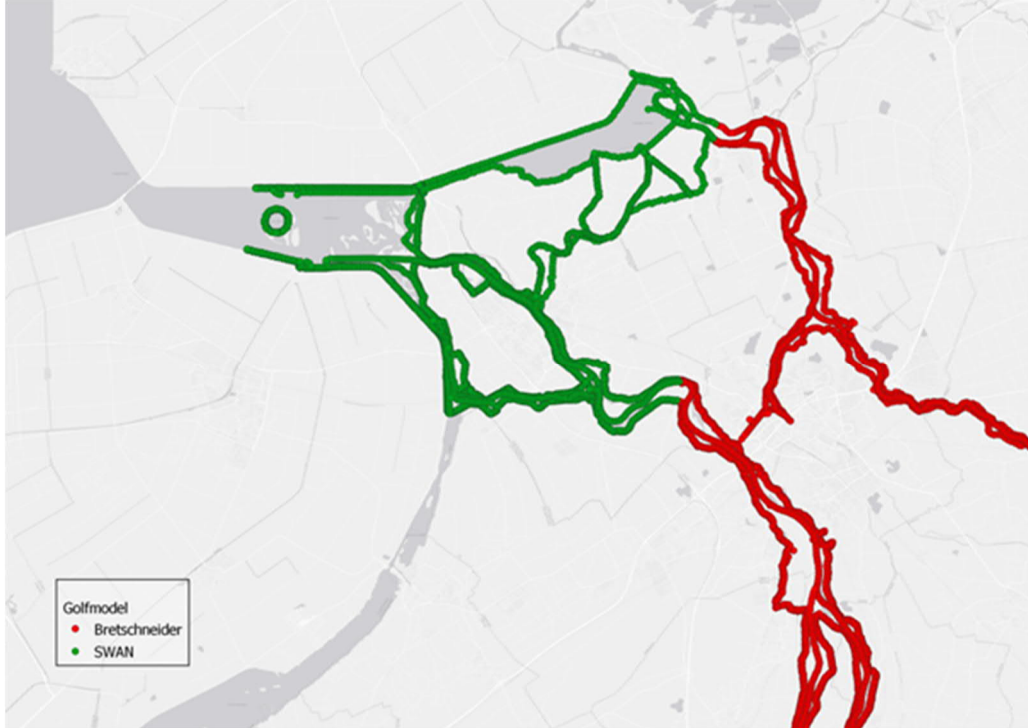


figuur 2: Verschil HBN WBI2017 (Bretschneider) en WBI2023 (SWAN) bij Kampen



figuur 3: Verschil HBN WBI2017 (Bretschneider), WBI2023 (SWAN) bij Kampen, en WBI2023 waar de golfrichting gelijk is aan windrichting

Een deel van de IJssel is nu SWAN geworden zie figuur 4.



figuur 4: Nieuwe knip tussen SWAN en Bretschneider.

De relevante illustratiepunten onderstaand voor een terugkeertijd van 10000 jaar. Voor het rode lijntje in figuur 3 (WBI2023) zien we een flinke bijdrage van windrichting WNW en ook enige bijdrage van windrichting West:

Illustratiepunten bij hydraulisch belastingniveau 4.61 (m+NAP) en terugkeertijd 10000 (jaar)

Locatie = 011-02_033_IJ_km0994 (191362,507528)
 Berekeningstype = Hydraulisch belastingniveau, golfoverslag met kritiek
 overslagdebiët van 10.00 (l/s/m)
 Hydraulisch belastingniveau = 4.61 (m+NAP)
 Terugkeertijd = 10000 (jaar)
 Overschrijdingsfrequentie = 1.00E-04 (per jaar)

Gesloten Ramspolkering											
r	meerp. m+NAP	q IJssel m³/s	--	windsn. m/s	h,teen m+NAP	Hm0,teen m	Tm-1,0,t s	golfr graden	ov. freq *0.001/whj	ov. freq %	
NNO	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0	
NO	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0	
ONO	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0	
O	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0	
OZO	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0	
ZO	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0	
ZZO	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0	
Z	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0	
ZZW	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0	
ZW	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0	
WZW	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0	
W	-0.10	460	--	37.9	3.39	0.95	2.59	325.1	0.007	7.4	
WNW	-0.10	450	--	34.3	3.38	0.89	2.76	342.9	0.045	45.0	
NW	-0.10	450	--	33.0	3.29	0.92	2.82	353.2	0.038	37.6	
NNW	-0.10	425	--	34.1	3.22	0.97	2.86	1.8	0.009	9.2	
N	-0.10	450	--	36.6	3.13	0.99	2.78	12.0	0.000	0.3	
som									0.099	99.5	

Voor het groene lijntje in figuur 3 (WBI2023 golfrichting = windrichting) zijn de bijdragen van de windrichtingen WNW West flink verminderd:

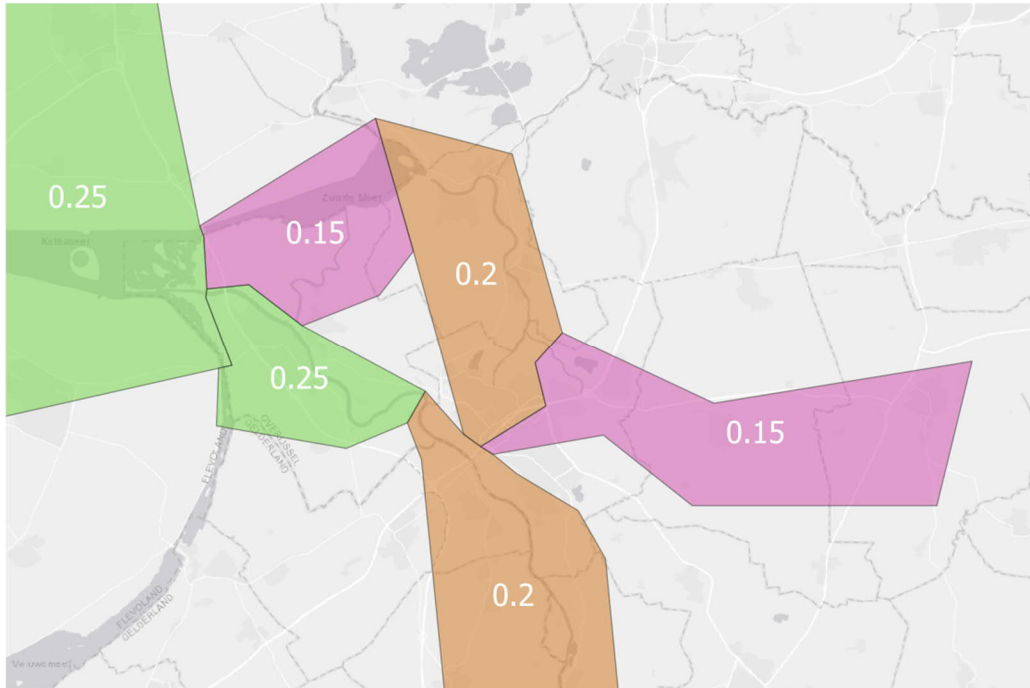
Illustratiepunten bij hydraulisch belastingniveau 3.77 (m+NAP) en terugkeertijd 10000 (jaar)

Locatie = 011-02_033_IJ_km0994 (191362,507528)
 Berekeningstype = Hydraulisch belastingniveau, golfoverslag met kritiek
 overslagdebiet van 10.00 (l/s/m)
 Hydraulisch belastingniveau = 3.77 (m+NAP)
 Terugkeertijd = 10000 (jaar)
 Overschrijdingsfrequentie = 1.00E-04 (per jaar)

Gesloten Ramspolkering

r	meerp. m+NAP	q IJssel m ³ /s	-- --	windsn. m/s	h,teen m+NAP	Hm0,teen m	Tm-1,0,t s	golfr graden	ov. freq *0.001/whj	ov. freq %
NNO	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0
NO	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0
ONO	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0
O	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0
OZO	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0
ZO	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0
ZZO	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0
Z	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0
ZZW	--	--	--	--	--	--	--	--	0.000	0.0
ZW	1.85	3481	--	20.8	3.80	0.35	1.71	225.0	0.000	0.0
WZW	0.35	1225	--	42.4	3.80	0.73	2.10	247.5	0.000	0.0
W	-0.10	450	--	40.3	3.81	0.88	2.60	270.0	0.002	1.7
WNW	-0.10	450	--	36.2	3.81	0.96	2.82	292.5	0.005	4.9
NW	-0.10	450	--	31.9	3.16	0.87	2.78	315.0	0.058	57.8
NNW	-0.10	425	--	31.3	2.87	0.83	2.75	337.5	0.034	33.7
N	-0.10	450	--	33.9	2.81	0.86	2.69	360.0	0.001	1.3
som									0.099	99.3

C. Appendix Overzicht keuzen modelonzekerheden waterstanden



figuur 1: Overzicht keuzen modelonzekerheden waterstanden (sigma's).