



BOI-databases VIJD

Hydraulische randvoorwaarden
Vecht-IJsseldelta



Opdrachtgever



RWS-WVL



BOI-databases VIJD



Hydraulische randvoorwaarden
Vecht-IJsseldelta

Eindrapport

Auteurs

R.J. Daggenvoorde

M.T. Duits

PR4280.10

februari 2021

Samenvatting

In dit project zijn voor alle normtrajecten (18) in de Vecht-IJsseldelta (VIJD) nieuwe BOI-databases gemaakt voor gebruik in Hydra-NL en Riskeer. Deze databases zijn nodig omdat de huidige WBI2017 databases een oudere schematisatie van het Reevediep bevatten en vanwege de nieuwe inzichten rondom winddragafkapping.

De databases bevatten zowel waterstanden als golven die horen bij de VIJD in 2020, na de inwerkingtreding van het Reevediep. De waterstanden en golven zijn afgeleid bij verschillende belastingcombinaties van afvoer, meerpeil, windrichting, windsnelheid, open of gesloten Ramspolkering. De databases zijn uitgebreid intern en extern getest en gecontroleerd en de resultaten van deze tests laten zien dat de databases betrouwbaar zijn en goed functioneren.

In iedere databases zijn oeverlocaties aanwezig, deze oeverlocaties liggen om de 100 meter langs het normtraject. De naamgeving van de locaties volgt de nieuwe BOI-methodiek. De naam bestaat uit een dijkkringnummer, trajectnummer, volgnummer, waterlichaam en locatieaanduiding. Ook het locationid volgt een vaste (nieuwe) structuur, het locationid geeft de dijkkring, het traject en het volgnummer. Met deze nieuwe structuren voor naam en locationid is het eenvoudig een locatie te duiden.

De waterstanden in de nieuwe BOI-databases zijn afkomstig van een set WAQUA-berekeningen uitgevoerd binnen een eerder project in 2018 [Stijnen et al., 2018]. In het WAQUA-model is het Reevediep volledig geschematiseerd en de Roggebotsluis verwijderd. In de berekeningen is de winddragafkapping volgens [van Vledder, 2017] toegepast, dit betekent dat correctie voor de winddrag niet meer in de statistiek hoeft plaats te vinden. Hoewel de resultaten niet alle formele WBI-controles hebben doorlopen, zijn de uitkomsten getest en vormen een betrouwbare aanvulling t.o.v. het WBI2017.

De golven zijn afkomstig uit drie verschillende bronnen, SWAN-berekeningen gemaakt voor de provincie Flevoland [Klein en Boersen, 2019], nieuwe SWAN-berekeningen gemaakt binnen dit project [Boersen, 2020] en Bretschneider op de locaties buiten het SWAN-domein. Ook in alle golfberekeningen is de aanpassing in de winddragafkapping meegenomen. Alle SWAN-berekeningen en uitvoer zijn uitgebreid gecontroleerd, op basis hiervan zijn in totaal 45 uitvoerlocaties verworpen. Alle overige 2859 SWAN-locaties zijn betrouwbaar.

De databases zijn extern getest door Arcadis, uit deze externe controles zijn in totaal 57 observaties naar voren gekomen, alle observaties zijn bestudeerd en waar nodig verwerkt in de databases. De externe controles dragen hiermee bij aan de algehele betrouwbaarheid van de databases.

Naast de reguliere normtraject databases zijn acht specialistische databases gemaakt. Deze databases zijn niet bedoeld voor beoordeling en ontwerp, maar vormen een basis voor mogelijke detailanalyses in de toekomst.

Inhoud

1	Introductie	5
1.1	Achtergronden	5
1.2	Doel	8
1.3	Uitgangspunten	10
1.4	Leeswijzer	12
2	Locaties	13
2.1	Algemeen	13
2.2	Selectie per normtraject	13
2.3	Locatieoverzicht	15
2.4	Naamgeving	17
3	Waterstanden	21
3.1	Stappen tot een volledige set waterstanden	21
3.2	WAQUA-uitvoer	21
3.3	Database waterstanden per normtraject (CSV)	22
3.4	Afgekeurde locaties	38
3.5	Traceerbaarheid	39
4	Golven	40
4.1	Stappen tot een volledige set golven	40
4.2	Golfberekeningen	40
4.3	Combineren van golven	46
5	Databases	50
5.1	Stappenplan	50
5.2	HR-Database	50
5.3	HLCD- en config-Database	54
5.4	Specialistische databases	55
6	Probabilistiek & Controles	56
6.1	Interne controles	56
6.2	Aanpassingen naar aanleiding van interne controles	64
6.3	Externe controles	65
6.4	Aanpassingen naar aanleiding van externe controles	65
6.5	Specialistische databases	68
7	Conclusies en aanbevelingen	72
8	Referenties	76
	Bijlagen	78
A	Afgekeurde golflocaties Waterstandsvelden	78
B	Afgekeurde golflocaties vlakke waterspiegels	79
C	HLCD en Config	80
D	Langsfiguren interne controles	85
E	Resultaten externe controles	91

1 Introductie

1.1 Achtergronden

1.1.1 Hydraulische belastingen VIJD

Voor de beoordeling en het ontwerp van primaire waterkeringen zijn hydraulische randvoorwaarden (HR) nodig. De huidige hydraulische randvoorwaarden van de Vecht-IJsseldelta (VIJD) zijn afkomstig uit 2017 (Botterhuis et al., 2016). De fysieke toestand van de Vecht-IJsseldelta is sindsdien veranderd. In de WBI2017 sommen zat IJsseldelta fase I in het model (een regelbare inlaat en regelbare uitlaat). In september 2015 heeft de minister een ander besluit genomen van een open inlaat en uitlaat, waarbij de inlaat via een drempel wordt geregeld. Het Reevediep is gegraven en wordt naar verwachting voor 1 januari 2023 opengesteld. De nieuwe databases uit dit project zijn te zien als een update van de WBI2017, en kunnen gebruikt worden voor een toets op maat en/of het ontwerp. Ten opzichte van WBI2017 zijn een aantal verbeteringen doorgevoerd t.a.v. modelonzekerheden waterstand [Strijker en Geerse, 2020] en golven [Duits, 2018] en t.a.v. fysica (de aftopping van de overdracht van wind op het water via de windschuifspanning) (Vledder 2017 en Bottema, 2018).

In 2018 zijn productieberekeningen gemaakt voor de Vecht-IJsseldelta als testcase voor de nieuwe rekenomgeving van het Nationaal Water Model (NWM). In deze productieberekeningen is de nieuwe toestand van de VIJD (fase II van de Vecht en IJsseldelta) meegenomen en zijn de nieuwste fysische inzichten toegepast. Binnen de programma's/projecten Kennis voor Keringen en BOI zijn nieuwe modelonzekerheden afgeleid. Voor de modelonzekerheden van de waterstanden zie [Strijker en Geerse, 2020], voor de aangepaste modelonzekerheden voor de golven zie [Duits, 2018].

In 2019 zijn van de deze productieberekeningen HR-databases met waterstanden gemaakt [Stijnen et al., 2019a]. Deze databases beschrijven de waterstanden in de VIJD, maar bevatten geen golfgegevens.

In 2019 zijn in het kader van het amoveren van de Roggebotsluis [Stijnen et al., 2019b] ook SWAN-berekeningen gemaakt voor een deel van het watersysteem [Klein en Boersen, 2019]. Hierdoor zijn golfgegevens beschikbaar in de nieuwe situatie.

De gegevens (waterstanden, golven en modelonzekerheid) benodigd voor nieuwe HR-databases voor de Vecht-IJsseldelta zijn dus beschikbaar. Dit rapport beschrijft hoe alle beschikbare gegevens zijn gecombineerd tot nieuwe HR-databases.

Tijdens het project is gebleken dat de beschikbare golfberekeningen niet afdoende waren voor nieuwe databases voor het Zwarte Water. Hierom zijn ook nieuwe SWAN-berekeningen gemaakt voor de situatie van de openkering (niet relevant voor het Reevediep), meer informatie over deze berekeningen is te vinden in hoofdstuk 4.2.2 en [Boersen, 2020].

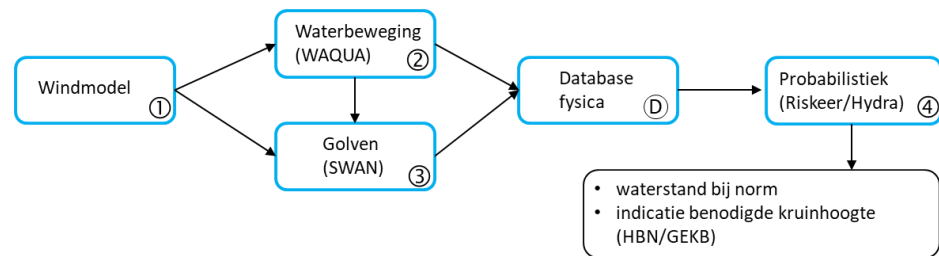
1.1.2 Modelketen hydraulische belastingen

Rijkswaterstaat heeft aangegeven dat formeel (via de bijlage II bij de ministeriele regeling in de Waterwet) is vastgelegd dat vanaf 1 januari 2017 de volgende (model)keten moet worden gehanteerd voor het in beeld brengen van de waterveiligheid in een gebied:

1. Windmodel (met winddragafkapping indien van toepassing)
2. WAQUA voor de waterbeweging
3. SWAN voor de golven (Bretschneider als SWAN niet beschikbaar is)
4. Hydra-NL 2.7.1 of Riskeer 19.1.1 (of latere versies)

Hieronder staat een schets van de modelketen die wordt doorlopen om tot een "waterstand bij de norm" of een "indicatie van de benodigde kruinhoogte bij de norm" te komen. In het kort lichten we deze keten hieronder nader toe.

*Figuur 1
Schematische weergave van modelketen*



Het windmodel (1) vormt de basis voor zowel waterstands- als golfberekeningen. Met behulp van het waterbewegingsmodel WAQUA (2) worden voor alle locaties in een gebied de maximale lokale waterstanden bepaald, afhankelijk van een gegeven afvoer, meerpeil en windpatroon. Met behulp van het golfmodel SWAN (3) worden golfcondities op diep water vertaald naar golfcondities aan de teen van de dijk. Op locaties waar het golfmodel SWAN niet beschikbaar is, wordt gebruik gemaakt van de golfgroeiformules van Bretschneider. Volgens het recept dat in Hydra-NL is ingebouwd en beschreven in Bijlage J van [Duits, 2019].

Met behulp van dergelijke fysische modellen worden grote aantallen berekeningen gemaakt, om zo voor locaties in een watersysteem (bij voorkeur elke 100 meter) de lokale belastingen te bepalen. Als gekozen is om b.v. 10 afvoerniveaus te simuleren, in combinatie met 10 zeewaterstanden/meerpeilen, dan zijn in totaal $10 \times 10 = 100$ berekeningen nodig voor de waterbeweging en de golven. De resultaten van deze berekeningen worden opgeslagen in zogenaamde "hydraulische databases" (D). Deze databases met informatie over alle doorgerekende combinaties van waterstanden en golven worden vervolgens gekoppeld aan hun bijbehorende

kansen van voorkomen (statistiek). Dit vindt plaats in een probabilistisch model zoals Hydra-NL (④). Dit model levert uiteindelijk de waterstanden bij de norm, of indicaties voor benodigde kruinhoogten bij de norm.

In voorliggend project zijn de hierboven genoemde hydraulische databases gegenereerd en getest voor de normtrajecten in de Vecht-IJsseldelta.

Waterbeweging

Voor de waterbeweging is gebruik gemaakt van het hydraulisch model WAQUA. Vanuit het huidige WBI2017 zijn voor de Vecht-IJsseldelta hydraulische randvoorwaarden databases beschikbaar. Dat is immers het beleidsmatige instrumentarium dat gebruikt dient te worden bij het beoordelen van de primaire waterkeringen.

Door WAQUA sommen van het nationaal water model (een project van Rijkswaterstaat WVL) zijn ook resultaten beschikbaar waarin het Reevediep als riviertak is meegeschematiseerd en waarin de Roggebotsluis is verwijderd. De versie van dit WAQUA-model is "Ym_ijvd_ovhr2017_5-v4" [Stijnen et al., 2018]. In het kader van onderzoek voor het Nationaal Watermodel (NWM) is in 2018 met bovengenoemd WAQUA-model een volledige set aan belastingcombinaties (8892 in totaal) gemaakt die geschikt is voor gebruik in probabilistische modellen als Hydra-NL [Stijnen et al., 2018]. Binnen hetzelfde onderzoek is gebruik gemaakt van afkapping van de winddrag. Dat houdt in dat bij windsnelheden boven de 30 m/s het aangrijpen van de wind op het wateroppervlak steeds minder wordt. Dit geeft een verlaging van de waterstanden en golfcondities in de IJsseldelta bij hoge windsnelheden [Stijnen et al., 2018]. Deze opdracht is begeleid door RWS-WVL. Tevens zijn aanvullende locaties toegevoegd t.o.v. de set uit het WBI2017 (o.a. in het Reevediep, maar ook elders in het gebied en elke 100 meter in de as van de rivier).

Vooraf aan die sommen set is de volgende studie gedaan:

- In het kader van de studie naar de optimalisatie van de inlaatdrempel van het Reevediep in opdracht van RWS-ON is een WAQUA-schematisatie uit 2018 beschikbaar met daarin het Reevediep volledig geschematiseerd en de Roggebotsluis verwijderd [Paarlberg en Kater, 2018]. In deze studie is gebruik gemaakt van een set met 105 belastingcombinaties die van belang zijn geacht. Deze opdracht is begeleid door RWS-ON en RWS-WVL.

Op basis van de sommen set van het NWM zijn onderstaande onderzoeken uitgevoerd:

- Onderzoek naar de effecten van het amoveren van de Roggebotsluis in het kader van het Projectplan Waterwet [Stijnen et al., 2019b] in opdracht van de provincie Flevoland. In dit onderzoek zijn ook Hydra-NL-databases gemaakt op basis van de sommen bij het nationaal watermodel.
- Productie van waterstandsatabases voor de Vecht-IJsseldelta [Stijnen et al., 2019a] in opdracht van Rijkswaterstaat WVL. In dit onderzoek zijn Hydra-NL-databases gemaakt met daarin de waterstandsresultaten van het NWM.

Het kunnen meenemen van de winddragafkapping direct via de waterbeweging en de golven geeft een meerwaarde van het gebruik van deze resultaten. Merk op dat binnen het WBI2017 voor het merengebied ook gebruik gemaakt is van winddragafkapping (niet voor de Vecht-IJsseldelta), maar daarbij is het effect van de winddragafkapping verwerkt in een nabewerking in de statistiek van de wind.

Golven

Voor de golven gebruiken we twee golfmodellen, SWAN en de golfgroeiformules van Bretschneider. Bretschneider wordt toegepast op locaties waar geen SWAN-berekeningen beschikbaar zijn. Voor het huidige WBI2017 zijn SWAN-berekeningen gemaakt voor de VIJD [Klein en Westra, 2016]. In opdracht van de provincie Flevoland hebben [Klein en Boersen, 2019] nieuwe SWAN-berekeningen gemaakt die de aanwezigheid van het Reevediep meenemen.

Door de SWAN-berekeningen van [Klein en Boersen, 2019] te gebruiken voor nieuwe HR-databases actualiseren we het beschikbare instrumentarium. In deze nieuwe SWAN-berekeningen stroomt het Reevediep mee en is winddragafkapping toegepast. Daarnaast zijn dezelfde extra uitvoerlocaties toegevoegd als in de WAQUA-schematisatie. Hiermee is het aantal uitvoerlocaties toegenomen en zijn golfcondities bepaald in het Reevediep en het Drontermeer.

De SWAN-berekeningen van [Klein en Boersen, 2019] omvatten alleen berekeningen met een correct functionerende Ramspolkering en westelijke windrichtingen. Voor het Zwarte Meer is een falende kering en zijn oostelijke windrichting ook van belang. Voor deze belastingcombinaties zijn extra berekeningen gemaakt.

Golven op basis van Bretschneider zorgen dat ook voor locaties buiten het SWAN-model golfgegevens beschikbaar zijn. De winddragafkapping in Bretschneider is meegenomen door te golven te bepalen met een gecorrigeerde windsnelheid, voor meer informatie zie [Stijnen et al., 2018].

Het meenemen van winddragafkapping in de golfberekening zorgt ervoor dat de correctie in de statistiek niet nodig is. Hiermee blijven de golfgegevens consistent met het waterbewegingsmodel waar de winddragafkapping ook in de fysica is meegenomen.

1.2

Doel

Met de nieuwe waterstands- en golfberekening is het mogelijk om HR-databases te maken van de nieuwe situatie in de Vecht-IJsseldelta. Het doel van dit project is:

Bouw BOI-databases met hydraulische belastingen in de IJssel-Vechtdelta in 2020, voor gebruik in Riskeer en Hydra-NL. Fysieke toestand na de inwerkingtreding van het Reevediep.

Om dit doel te halen hebben we 18 reguliere normtraject databases (Tabel 1) en 8 specialistische databases (Tabel 2) gemaakt. De reguliere databases zijn geschikt voor zowel Hydra-NL als Riskeer en zijn geschikt voor gebruik binnen BOI. De specialistische databases bevatten waterstanden en waar mogelijk golven en hebben als doel nadere detailanalyses mogelijk te maken.

Tabel 1
Reguliere
normtraject
databases

Normtraject	Normtraject	Normtraject	Normtraject
7-1	10-2	52-4	206
8-4	10-3	52a-1	225
9-1	11-1	53-2	227
9-2	11-2	53-3	
10-1	52-3	202	

Tabel 2
Overige
specialistische
databases

1. Traject	2. Traject
Aslocaties IJssel en Reevediep	IJsselooog
Aslocaties Vecht en Kampereiland	Ketelpolder
Aslocaties Veessen Wapenveld	Dijken Kampereiland
Hoekpunten + midden IJsselmeer	Vogeleiland

1.3

Uitgangspunten

Voor het maken van de nieuwe HR-databases voor de Vecht-IJsseldelta hanteren we de volgende uitgangspunten:

Data

Voor de databases baseren we ons op de volgende databronnen:

- De waterstanden komen uit de 8892 WAQUA-berekeningen die in 2018 zijn gemaakt bij SSC-Campus [Stijnen et al., 2018].
- De golfcondities volgen (deels) uit de SWAN-berekeningen die zijn gemaakt in het kader van het projectplan waterwet [Klein en Boersen, 2019].
- Binnen dit project zijn conform het WBI2017 [Klein en Westra, 2016] vlakke waterspiegels doorgerekend in de VIJD [Boersen, 2020]. Dit leidt tot een tweede set golfgegevens, die beschikbaar is voor alle 16 windrichtingen.
- Op locaties buiten het SWAN-domein, maken we gebruik van de golfgroeiformules van Bretschneider;
 - In de Bretschneiderformules nemen we de winddragafkapping mee door met een aangepaste windsnelheid te rekenen [Stijnen et al., 2018];

Modelonzekerheden

Het afleiden van de grootte van de modelonzekerheden valt buiten dit project. We nemen wel de bekende wijzigingen ten opzichte van het WBI2017 mee:

- Waterstandsonzekerheid op de IJssel i.v.m. aanleg Reevediep [Stijnen et al., 2019b];
- Waterstandsonzekerheid in de Vecht [Strijker en Geerse, 2020]
- Inconsistenties bij de modelonzekerheid in de golfcondities [Groeneweg, 2018 en Duits, 2018];
- In week 24 zijn de modelonzekerheden vastgelegd in overleg met experts van RWS, Deltares en HKV [Daggenvoorde, 2020].

CONCLUSIES OVERLEG MODELONZEKERHEDEN WATERSTANDEN

- De bias (μ) van de waterstanden is overal 0 m.
- De sigma is opgedeeld in gebieden:
 - Op de IJssel vervalt het overgangsg gebied: de modelonzekerheden zijn opgedeeld in twee gebieden. Eén gebied met windinvloed, één gebied zonder windinvloed:
 - Windgedomineerd: benedenstrooms van rivierkilometer 985 is de sigma 0.25 m.
 - Afvoergedomineerd: bovenstrooms van rivierkilometer 985 is de sigma 0.2 m.
 - De grootte van deze waarden is afkomstig uit bijlage D van [Strijker en Geerse, 2020].
 - Op de Vecht gelden de volgende sigma's:
 - Zwarte Meer: 0.15 m
 - Zwarte Water: 0.2 m
 - Vecht: 0.15 m
 - Voor de grenzen tussen de gebieden zie figuur 39 in [Strijker en Geerse, 2020]

GOLVEN

- De modelonzekerheden voor de golven passen we niet aan. De waardes uit [Chbab en Groeneweg, 2017] blijven gelden
- Wel passen we de formule waarmee de bias naar de databasewaarde wordt omgezet aan dit wordt [Groeneweg, 2018 en Geerse, 2018]:

$$f_{bias,corr} = \frac{1}{1 + \mu}$$
- De sigma's passen we niet aan;
- Voor alle locaties met golven op basis van SWAN gelden de modelonzekerheden van hoofdsysteem II;
- Voor alle locaties met golven op basis van Bretschneider geldt hoofdsysteem III.

Locaties

- De beschikbare locaties zijn alle locaties uit WBI2017, aangevuld met: Reevediep, voorlanden, aslocaties om de 100 meter [Stijnen et al., 2018].
- Voor de naamgeving en locationid's van alle locaties volgen we [Botterhuis et al., 2020]

Consistentie waterstanden-golven

- Als de lokale bodemhoogte groter is dan of gelijk is aan de waterstand zetten we de golfhoogte en golfperiodes op 0.
- Bij waterstandscorrectie (zie paragraaf 3.3.4) voor individuele belastingcombinaties corrigeren we de golven niet.

Vullen databases

- De rekeninstellingen in de HLCD- en CONFIG-databases zijn gelijk aan de instellingen in de WBI2017-databases. Met uitzondering van:
 - Nieuwe locaties die niet aanwezig zijn in WBI2017;

- Locaties in het Drontermeer ten zuiden van de Roggebotsluis, hier is het watersysteem veranderd, dit was randmeer, maar is nu onderdeel van de IJsseldelta.
- We voegen de correlatieparameter voor golfhoogte en golfperiode toe aan de database [Geerse, 2018 en Smale, 2018]. De wijze waarop is afgestemd met Deltares [Duits, 2020]. Deze toekomstige functionaliteit wordt nog niet gebruikt, maar toevoegen zorgt dat de database daar wel op is voorbereid. De waarde van de correlatieparameter is "0".
- De specialistische as-databases (IJsselmeer, IJsselas, Vechtas en Veessen Wapenveld) bevatten enkel waterstanden. Deze zijn bedoeld als terugval opties en als referentie in toekomstige berekeningen.

Modelmatig

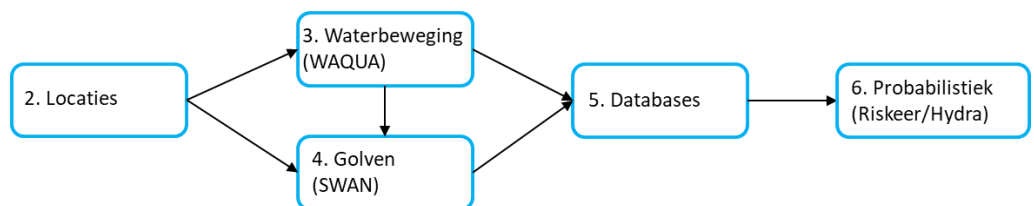
- We nemen winddragafkapping mee volgens [van Vledder, 2017] en [Bottema, 2018]
- SWAN
 - versie 64bit SWAN-versie 40.72ABCDE (conform WBI2017)
 - Schematisatie [Klein en Boersen, 2019]
- Hydra-NL
 - Versie 2.7.1 (of hoger)
- Riskeer
 - Versie 19.1.1 (of hoger)

1.4

Leeswijzer

In dit rapport zijn de volgende onderdelen te vinden. We beginnen met een beschrijving van de selectie van de locaties (hoofdstuk 2). In hoofdstuk 3 gaan we in op het genereren van een volledige set waterstanden. Hoofdstuk 4 beschrijft de golfgegevens. In hoofdstuk 5 combineren we de waterstanden en golfgegevens en vullen we de databases. Hoofdstuk 6 beschrijft de controles en in hoofdstuk 7 staan de conclusies en aanbevelingen. Zie ook Figuur 2 voor een schematische weergave van deze rapportage.

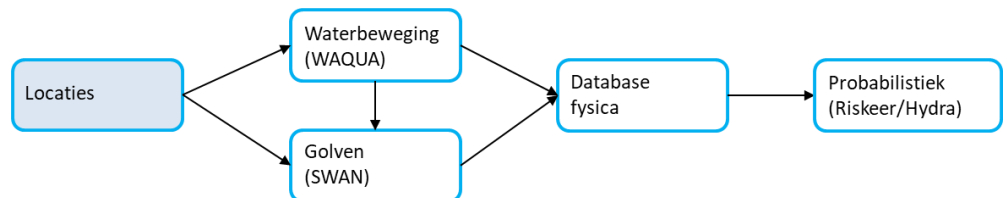
*Figuur 2
Opbouw rapport*



2 Locaties

De basis voor een HR-database zijn de locaties in de database. Voor elke locatie staan waterstanden en golven in de database. Dit hoofdstuk geeft de locatieselectie en de naamgeving van alle locaties.

Figuur 3 Locaties



2.1 Algemeen

Bij het maken van de WAQUA-berekeningen is uitvoer gegenereerd voor een groot aantal locaties. Deze locaties komen grotendeels overeen met de locaties die ook in WBI2017 zijn doorgerekend. De locatieset is aangevuld met extra aslocaties (om de 100 meter) en oeverlocaties op de Vecht, de Veneriete, de Goot, het Ganzendiep, het Reevediep en de hoogwatergeul van Veessen-Wapenveld.

De precieze aanvullingen staan beschreven in [Stijnen et al., 2018]. Enkele fundamentele problemen ten aanzien van onhandig geplaatste uitvoerlocaties zijn niet opgelost binnen de voorliggende studie.

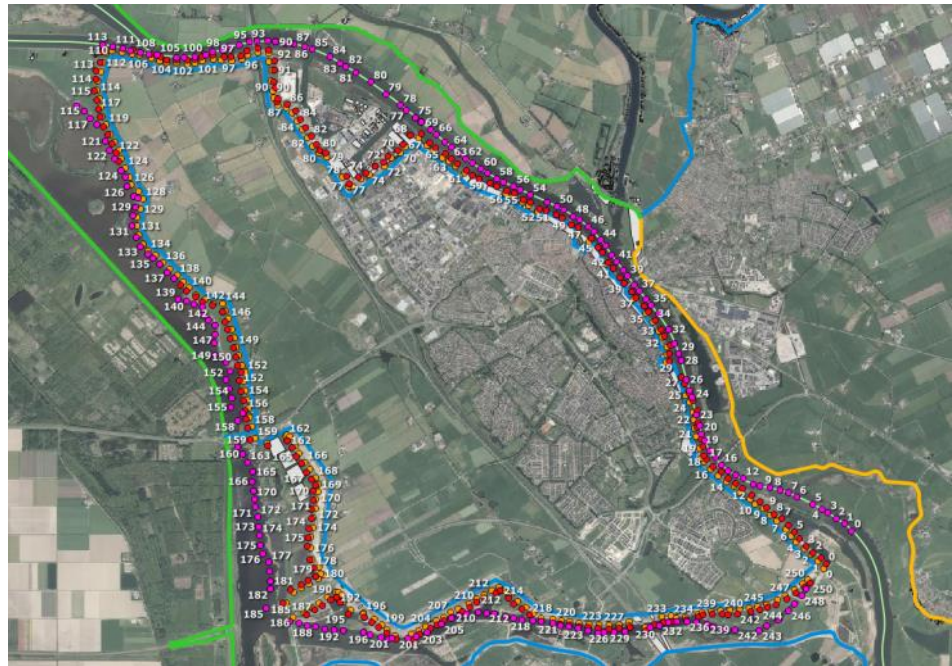
2.2 Selectie per normtraject

Per normtraject zijn elke 100 meter langs de waterkering 3 sets locaties beschikbaar (met WBI2017 als basis):

1. Locaties aan de teen van de waterkering (oeverlocaties),
2. Locaties 60 meter richting de as van de rivier verschoven (back-uplocaties),
3. Locaties in de as van de rivier (aslocaties).

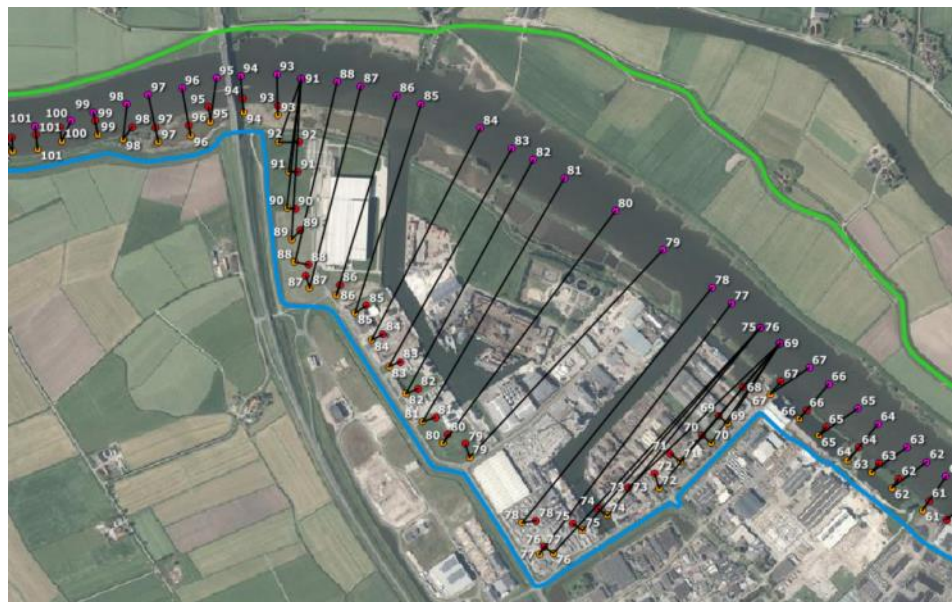
Een voorbeeld van een dergelijke selectie is te zien in Figuur 4, waarbij de oranje bolletjes overeenkomen met de locaties langs de teen, de rode bolletjes overeenkomen met de back-uplocaties 50 meter richting de rivieras en de roze bolletjes overeenkomen met locaties in de as.

*Figuur 4
Voorbeeld van
locatieselectie
(normtraject 11-2).*



Per oeverlocatie is steeds een 1-op-1 koppeling gemaakt met een back-uplocatie en met een as-locatie. Een voorbeeld van een dergelijke koppeling is terug te vinden in Figuur 5. Deze koppeling is deels geautomatiseerd, maar vervolgens per normtraject op maat aangepast, om rekening te kunnen houden met haventerreinen, een hoogwatergeul, een uiterwaard, of bochten in de rivier.

*Figuur 5
Voorbeeld van 1-op-1 koppeling van
oever-, back-up- en
aslocaties.*



De ligging en eigenschappen van alle locaties (inclusief de koppeling) zijn beschikbaar als GIS-shape-bestanden.

Merk op dat hier ruimte is voor verbetering in de toekomst. Idealiter wordt deze koppeling uitgevoerd op basis van "isolijnen met een gelijke

waterstand" (of op basis van "natte contouren"). Dat zou betekenen dat een oeverlocatie niet wordt gekoppeld aan een aslocatie op basis van de dichtstbijzijnde afstand, maar op basis van een fysisch realistische waterstand in de as. Met name in de bovenrivieren is dit mogelijk [bv. RWS-ON, 2010], waar de waterstanden hoofdzakelijk bepaald worden door het afvoerniveau. In de deltagebieden (waar naast de afvoer ook de wind en het meerpeil/zee een rol spelen) zijn de isolijnen vermoedelijk lastiger te genereren, maar zouden "natte contouren" uitkomst kunnen bieden.

2.3 Locatieoverzicht

2.3.1 Reguliere databases

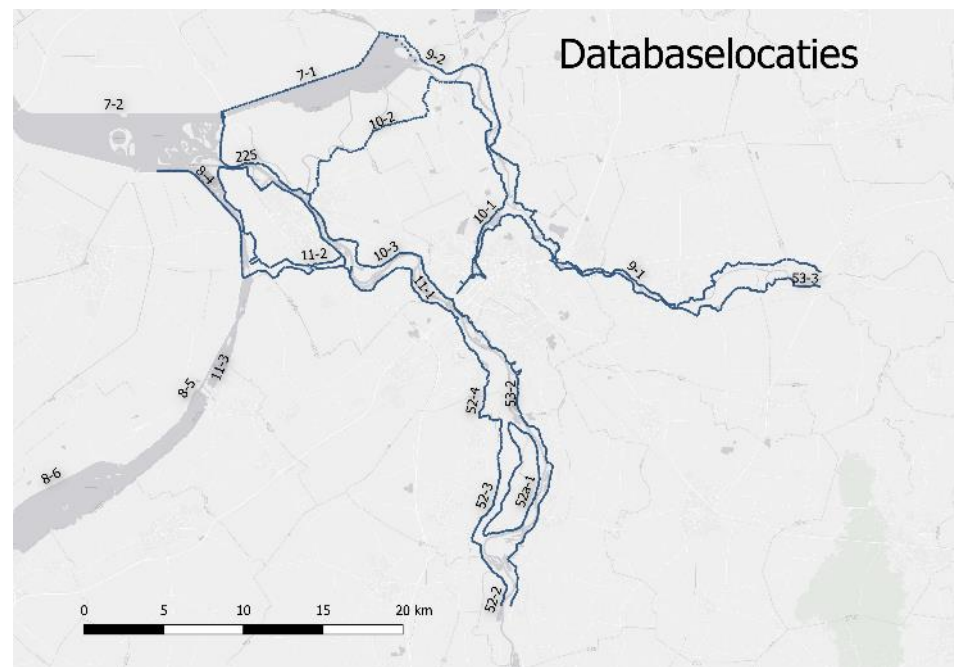
Figuur 6 toont alle geselecteerde oeverlocaties voor de reguliere databases. Dit zijn locaties om de 100 meter langs het gehele normtraject.

Uitzonderingen hierop zijn:

- De locatie lopen niet geheel langs normtraject 8-4 stopt eerder. Het meest westelijke deel van Normtraject 8-4 valt buiten het SWAN-domein en is ongeschikt voor Bretschneider, deze locaties zijn vervallen.
- De meest bovenstroomse delen van normtrajecten 52-2 en 53-2 (IJssel) vallen buiten het WAQUA-modeldomein, deze locaties zijn vervallen.

Al deze locatie behoren niet tot het watersysteem Vecht-IJsseldelta.

*Figuur 6
Alle locaties
reguliere databases*

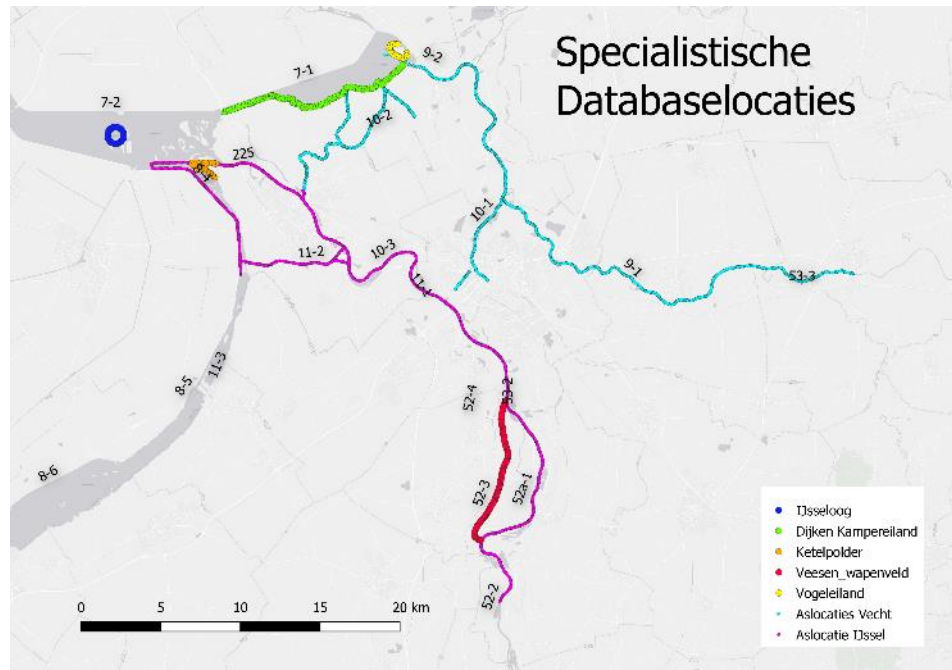


2.3.2 Specialistische databases

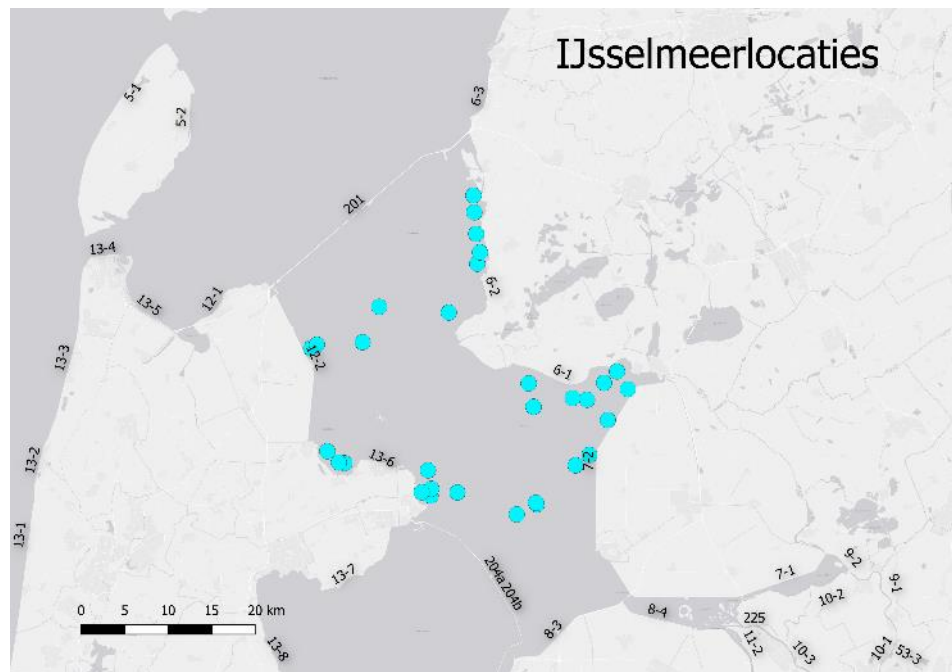
De locaties van de specialistische databases staan in Figuur 7 en Figuur 8. Voor de locaties in de specialistische databases geldt het volgende:

- De specialistische as-databases (IJsselmeer, IJsselas, Vechtas en Veessen Wapenveld) bevatten enkel waterstanden, geen golfgegevens.
- De IJsselmeerdatabase wordt gevuld met gegevens van een VIJD-model. Dit is een ander watersysteem, deze database is dus enkel ter informatie en kan niet gebruikt worden voor beoordeling of ontwerp.

Figuur 7
Locaties
specialistische
databases



Figuur 8
Locaties
IJsselmeerdatabase



2.4

Naamgeving

Bij het opstellen van de naamgeving van de locaties zoals zichtbaar zal zijn in Hydra-NL en Riskeer hanteren we locatienamen die bestaan uit twee gedeelten:

1. een unieke code met trajectnummer, type locatie en rangnummer;
2. een herkenningscode met eigenschappen van keringsbeheerder (rivierkilometer, dijkpaal, strandpaal, etc.)

Een herkenbare naam is belangrijk, omdat dit voor een gebruiker relatief eenvoudig antwoord geeft op vragen als: Aan welke kant van de verbindende kering ligt de locatie? In welk watersysteem ligt de locatie? Tot welk traject behoort de locatie? Ter hoogte van welke rivierkilometer bevindt de locatie zich? Ook is een goede naamgeving een hulpmiddel om de kwaliteit en de volledigheid van een dataset te controleren.

In het verleden is eerder nagedacht over de naamgeving, o.a. bij het WBI2017 [Spruyt, 2015] en in het project met de bepaling van HR op de Oosterschelde voor 2023 [Stijnen, 2016]. Sindsdien zijn door voortschrijdend inzicht kleine wijzigingen voorgesteld. Daarom is in dit project aangesloten bij de meest recente inzichten in het kader van B&O-Hydra overleg tussen RWS, Deltares, Arcadis en HKV. Deze inzichten zijn voor de volledigheid in de volgende paragrafen gedocumenteerd.

In [Botterhuis et al., 2020] is een voorstel gedaan voor de naamgeving en locationid's binnen BOI. Binnen deze studie volgen wij de voorgestelde naamgeving van [Botterhuis et al., 2020].

2.4.1

Locatienamen

De volledige locatiennaam voor oeverlocaties bestaat standaard uit 20 posities en elk onderdeel wordt gescheiden door een underscore ("_"). Voor de locatiennaam hanteren we de volgende conventie (posities worden indien nodig aangevuld met een 0):

a. Standaard normtrajecten

1. Dijkkringnummer: 4 posities: nummer en evt. a/b + "-" (koppelteken)
2. Trajectnummer: 3 posities: nummer en evt. a/b + "_"
3. Volgnummer: 4 posities: nummer + "_"
4. Waterlichaam: 3 posities: 2-letterige aanduiding (zie verderop) + "_"
5. Locatieduiding: 6 posities: "km" + nummer

b. Verbindende keringen

1. Keringnummer: 7 posities: "vk"+ nummer en evt. a/b + "-"
2. Volgnummer: 4 posities: nummer + "_"
3. Waterlichaam: 3 posities: 2-letterige aanduiding (zie verderop) + "_"
4. Locatieduiding: 6 posities: "hm" of "km" + nummer

De volledige locatienaam voor aslocaties bestaat uit 14 posities en elk onderdeel wordt gescheiden door een underscore ("_"). Voor de locatienaam hanteren we de volgende conventie (posities worden indien nodig aangevuld met een 0):

c. Aslocaties

1. Riviertak: 3 posities: nummer + "_"
2. Volgnummer: 5 posities: nummer + "_"
3. Locatieduiding: 6 posities: "km" + nummer

Tabel 3 geeft enkele voorbeelden van de naamgeving voor verschillende locaties.

*Tabel 3
Enkele voorbeelden
van naamgeving van
locaties, inclusief
een locationid*

Dijkring	Traject	Volgnr	Km	Locatienaam oever	locationid
7	1	29	3	007-01_029_ZM_km0003	10710029
11	2	8	992	011-02_008_IJ_km0992	11120008
52a	1	9	962	52a-01_009_IJ_km0962	15250009 ¹

Voorliggende kering	Volgnr	Hm/km	Locatienaam oever	locationid
206	0	0	vk0206_000_IJ_hm0000	22060000
225	25	998	vk0225_025_IJ_km0998	22250025

Riviertak	Volgnr	Km	Locatienaam as	locationid
IJ	24	958.3	IJ_0021_km0958	3010024
OV	249	57.4	OV_0249_km0057	3070249

Voor de waterlichamen hanteren we een letter- en cijfercode (elk bestaande uit 2 posities), die verzameld zijn in Tabel 4.

*Tabel 4
Letter- en
cijfercodes voor
waterlichamen in de
IJssel-Vechtdelta.*

Waterlichaam	Letters	Code	Waterlichaam	Letters	Code
IJssel	IJ	01	Overijsselse Vecht	OV	07
Reevediep	RD	02	Zwarte Water	ZW	08
Drontermeer	DM	03	Zwarte Meer	ZM	09
Vossemeer	VM	04	Goot	GO	10
Ketelmeer	KM	05	Veneriete	VE	11
Veessen-Wapenveld	VW	06	Ganzendiep	GD	12
			Zwolle-IJsselkanaal	ZK	13

2.4.2

Locationid's

Aanvullend is per locatie een locationid opgenomen, zodat het makkelijker wordt om te controleren of alle locaties aanwezig en correct gevuld zijn. Deze ID's zijn ook noodzakelijk voor het gebruik van de databases in Riskeer².

¹ In het uitzonderlijke geval dat een dijkring een letter bevat (zoals de "a" in dit geval) kan in het locationid een trajectnummer gekozen worden dat één hoger is dan het maximaal aantal trajecten, zie ook paragraaf 2.4.2.

² Een locationid moet voor Riskeer gelijk zijn in de HRD, HLCD en config files.

Het volledige locationid voor [oeverlocaties](#) bestaat standaard uit 8 posities, welke altijd uniek is. Indien nodig worden posities opgevuld met nullen om te zorgen dat het aantal posities voor elk locationid gelijk blijft aan 8:

a. Standaard normtrajecten

1. Voorloopnummer: cijfer 1 (geeft aan dat het een dijktraject is)
2. Dijkkringnummer: 2 cijfers (evt. toevoeging van een "a" of "b" weglaten)
3. Trajectnummer: 1 cijfer (bij dijkkringen "a"/"b" doornummeren, dus 52a-1 krijgt nummer 5, want dijkkring 52 heeft 4 trajecten)
4. Volgnummer: 4 cijfers

b. Verbindende keringen

1. Voorloopnummer: cijfer 2 (geeft aan dat het een verbindende kering is)
2. Keringnummer: 3 cijfers
3. Volgnummer: 4 cijfers

Het volledige locationid voor [aslocaties](#) bestaat uit 9 posities, welke altijd uniek is. Indien nodig worden posities opgevuld met nullen om te zorgen dat het aantal posities voor elk locationid gelijk blijft aan 9:

c. Aslocaties

1. Voorloopnummer: cijfer 3 (geeft aan dat het een aslocatie is)
2. Riviertakcode: 2 cijfers
3. Volgnummer: 4 cijfers

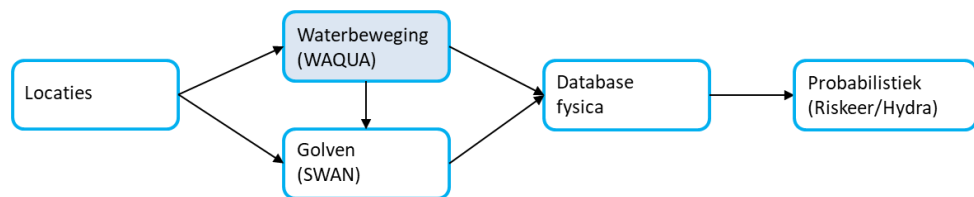
In Tabel 3 staan naast de naamgeving van de locaties ook de bijbehorende locationid's.

3 Waterstanden

Een database met Hydraulische randvoorwaarden bevat waterstanden en golven. Voor elke belastingcombinatie bevat de database een waterstand en golfcondities op elke locatie. Elke waarde in de databases moet gevuld zijn, een volledige set is dus vereist.

Dit hoofdstuk beschrijft hoe de resultaten van de WAQUA-berekeningen [Stijnen et al., 2018] zijn bewerkt om te komen tot een volledige set waterstanden.

Figuur 9 Databases VIJD – Waterstanden



3.1 Stappen tot een volledige set waterstanden

Om te komen tot een volledige waterstandset vanaf de WAQUA-uitvoer nemen we de volgende stappen per normtraject.

1. **WAQUA-uitvoer**: Databases max13, maximum en last25 alle locaties (inclusief droogvalcorrectie) [Stijnen et al., 2019];
2. **Opvulling** tot volledig gevulde set
3. **Filtering** en **correctie** pieken en dalen
4. Verwijderen **afgekeurde golflocaties** [Bijlage 0].
5. **Waterstandset** per normtraject

3.2 WAQUA-uitvoer

De resultaten van alle WAQUA-berekeningen en alle locaties zijn verzameld in drie CSV-bestanden (elk ongeveer 700 Mb groot). Het gaat hier om de zogenaamde "max13", "maximum" en "last25"-bestanden, die waterstanden bevatten zoals WAQUA deze uitvoert.

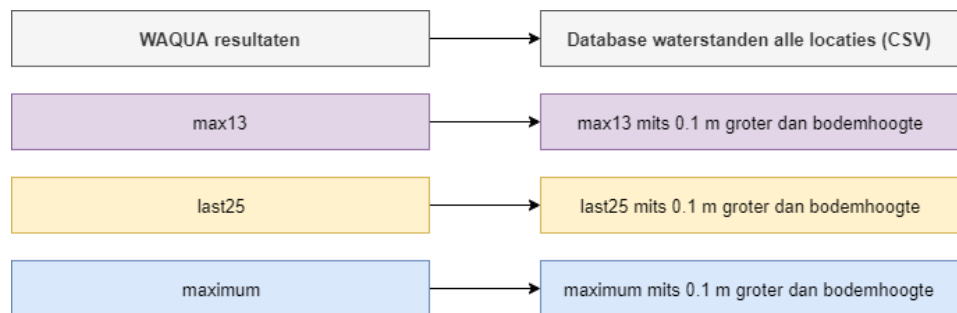
De "max13" waterstand is het gemiddelde van de waterstanden over 13 tijdstappen. Het betreft de waterstanden van zes tijdstappen voor, tot en met zes tijdstappen na de maximale waterstand. Deze uitvoerparameter voor de waterstand wordt standaard gebruikt bij het beschouwen van de uitkomsten van het WAQUA-model, omdat deze robuuster is dan alleen het "maximum" te gebruiken. Het is belangrijk op te merken dat wanneer de maximum waterstand binnen de eerste of laatste zes tijdstappen van de simulatie ligt,

er geen "max13"-waarde wordt bepaald. In dat geval wordt een "NaN"-waarde (not-a-number) uitgevoerd.

De "maximum"-waarde is de hoogst berekende waterstand gedurende het tijdsverloop van de simulatie in WAQUA. De "last25"-waarde is het gemiddelde van de waterstanden gedurende de laatste 25 tijdstappen van een simulatie.

Wanneer een locatie in een WAQUA-berekening droog staat, schrijft WAQUA de initiële condities weg als maximale waterstand. Dit is de bodemhoogte plus 0.5 centimeter. Voor de hydraulische randvoorwaarden moet gekozen worden voor een manier om met deze "droge" condities om te gaan, er komt immers (onder bepaalde omstandigheden) geen water op de locatie. Om deze "droge" condities te filteren uit de basisdata stellen we de voorwaarde dat er tenminste 0.1 meter water moet staan op een locatie (de "maximum", "last25" en "max13" moeten minimaal 0.1 meter boven de bodemhoogte liggen). Wanneer op een locatie minder dan 0.1 meter staat, nemen we aan dat sprake is van droogval en vervangen we de waterstand door een NaN-waarde. De keuze voor een grens van 0.1 meter is enigszins arbitrair, maar is bedoeld om kleine numerieke onnauwkeurigheden uit de WAQUA-berekeningen te filteren. Toepassing van deze methode leidt tot drie nieuwe csv-bestanden Figuur 10. Deze gegevens vormen de basis voor het verdere vullen van de HR-databases die door Hydra-NL en Riskeer gebruikt kunnen worden.

*Figuur 10
Stroomschema voor
het genereren van
databases van de
WAQUA-resultaten
voor alle locaties.*



3.3

Database waterstanden per normtraject (CSV)

Vanuit het oogpunt van volledigheid, maar ook vanuit het oogpunt van robuustheid in de berekeningen, heeft het de voorkeur om te zorgen dat voor alle locaties en voor alle belastingcombinaties een waarde aanwezig is in de uiteindelijke databases. Elke belastingcombinatie moet leiden tot een waarde (waterstand of golfconditie). Eventuele NaN-waarden, of ontbrekende belastingcombinaties zorgen of voor problemen op het gebied van rekensnelheid, of worden door het probabilistische programma "gerepareerd" of geëxtrapoleerd. Om dit voorkomen en meer controle te hebben over de eindresultaten, is een volledig gevulde database een goede oplossing. In het geval van droogval geeft dit mogelijk problemen, omdat bij droogval de waterstand is vervangen voor een NaN-waarde. Bij het vullen van de databases moet hier dus in het bijzonder aandacht aan worden besteed.

Voor elk normtraject vormen de locaties langs de oever de basis van de database (met die locaties worden immers later de dijken beoordeeld). De "max13"-waarden op deze oeverlocaties vormen de basis voor de waarden die in de database terechtkomen. Bij droogval bevat deze dataset NaN-waarden, die moeten worden vervangen voor realistische waarden.

In de door ons gevolgde procedure gebruiken we bij droogval niet de bodemhoogte, maar de waterstand op een gekoppelde back-uplocatie of aslocatie. Door uit te wijken naar een andere locatie wordt het mogelijk om waterstanden te bepalen bij lagere terugkeertijden. Deze waterstanden kunnen lager uitvallen dan de lokale bodemhoogte, maar zijn een goede indicatie van de omstandigheden bij de lagere terugkeertijden. De gebruiker van de database kan de data, met kennis van de plaatselijke bodemhoogte en voorliggende keringen, naar goed inzicht gebruiken. Door de frequentielijnen beschikbaar te maken voor waarden onder de bodemhoogte, kan daar in een beoordeling gebruik van worden gemaakt voor een faalmechanisme als piping.

We onderscheiden drie methoden voor het vullen van de databases:

- **Methode A:** Bij droogval van de oeverlocatie, vallen we terug op de waterstand op de gekoppelde back-uplocatie. Staat deze ook droog, dan vallen we terug op de waterstand van de gekoppelde aslocatie.
- **Methode B:** De waterstand op de aslocatie wordt standaard gebruikt.
- **Methode C:** Er wordt een "knip" aangebracht in de belastingcombinaties. Voor een deel van de belastingcombinaties wordt methode A gebruikt, voor het andere deel wordt methode B gebruikt.

Tabel 5 geeft een overzicht van de gebruikte methode per normtraject. Deze keuzes en methoden lichten we verderop in deze paragraaf nader toe.

*Tabel 5
Toegepaste methode
voor het bepalen
van waterstanden op
oeverlocaties voor
elk van de
normtrajecten.*

Normtraject	Methode
7-1	A
8-4	A
9-1	A
9-2	A
10-1	A
10-2	B
10-3	A
11-1	A
11-2	A
52a-1	C
52-3	C
52-4	A
53-2	A
53-3	A
202	A
206	A
225	A
227	A

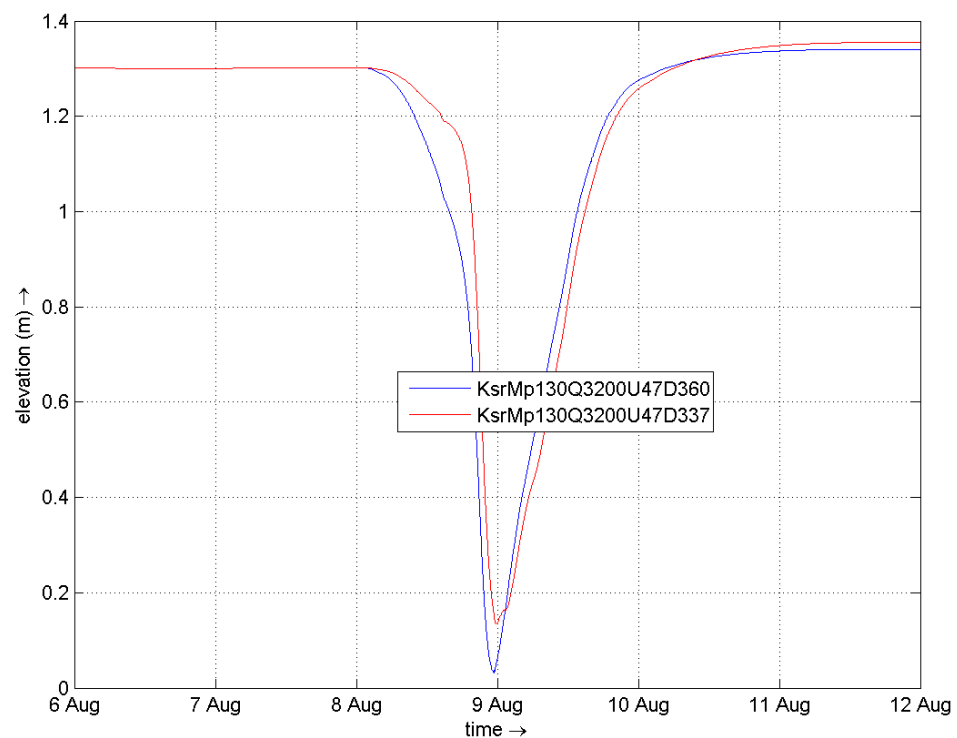
In alle drie de methoden houden we rekening met afwaaiing. Afwaaiing vindt plaats in een situatie waarbij de waterstand gedurende een WAQUA-berekening eerst daalt en vervolgens stijgt naar het meerpeil door afluende wind. In Figuur 11 is te zien hoe afwaaiing de waterstand op een locatie beïnvloedt in twee verschillende belastingcombinaties. In dergelijke situaties kan WAQUA geen "max13"-waarde bepalen, omdat waterstanden ontbreken in de zes tijdstappen voor of na de maximum waterstand.

In geval van afwaaiing geeft de "last25"-waarde de beste benadering van de waterstand. Om de gebeurtenis van afwaaiing te herkennen, doen we de volgende twee aannamen:

- De betreffende belastingcombinaties heeft geen "max13"-waarde;
- Het absolute verschil tussen de maximum waterstand van de simulatie en de "last25"-waarde is kleiner dan 0.1 m.

Met het maximale verschil voorkomen we gebruik van de last25-waarde als de tijdserie een grote piek bevat. In dat geval is geen sprake van afwaaiing en de piek kan een fysische oorzaak hebben. De last25 bevat deze piek niet. Hierom is het gebruik van de last25 in deze situatie niet gewenst.

*Figuur 11
Voorbeeld van
afwaaiing op een
locatie bij twee
belasting-
combinaties.*



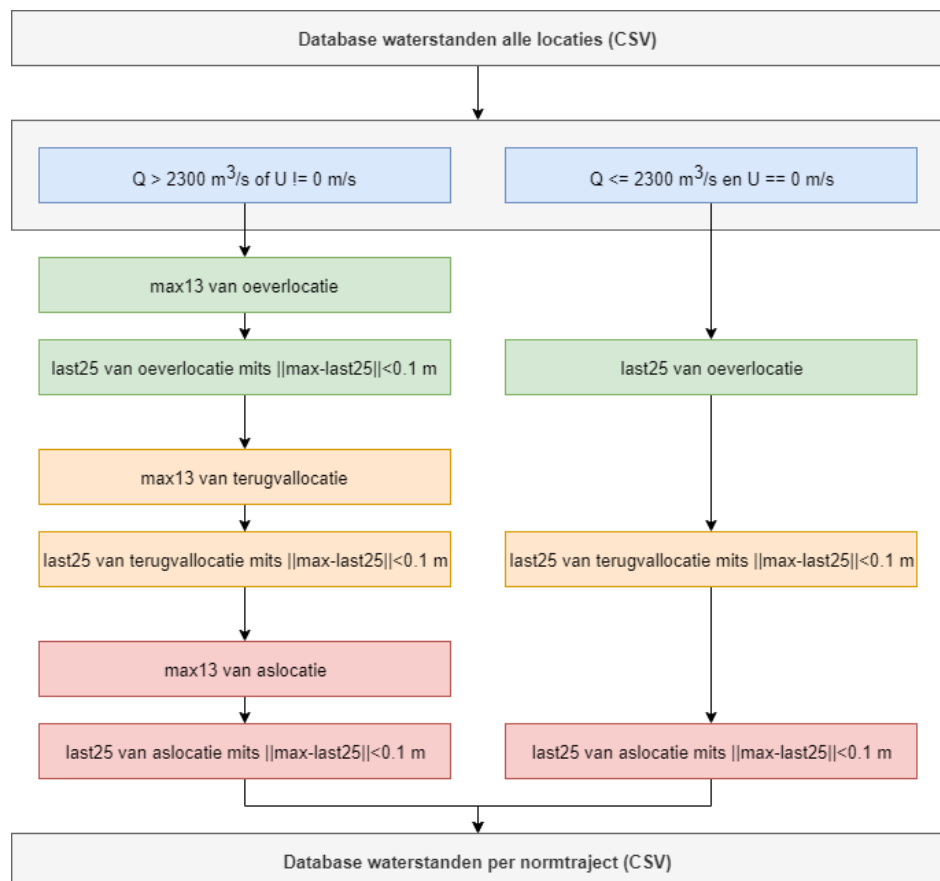
Bij IJsselafvoer kleiner dan 2300 m³/s gebruikt WAQUA een constante afvoer in plaats van een afvoergolf. Voor de belastingcombinaties waarbij de afvoer (Q) kleiner of gelijk is aan 2300 m³/s én de windsnelheid (U) gelijk is aan 0 m/s wordt in alle methoden de "last25"-waarde gebruikt in plaats van de "max13"-waarde. Bij de afwezigheid van wind in combinaties met constante afvoer zijn alle randvoorwaarden constant in de tijd. Dit betekent dat de waterstand in de tijd ook constant is. Bij een constante waterstand is de "last25"-waarde het meest betrouwbaar, omdat de berekening voor deze waarde de volledige inspeeltijd heeft benut.

3.3.1

Methode A

Deze methode is binnen het huidige project de standaardmethode om waterstanden op oeverlocaties te bepalen. Van de 18 normtrajecten hanteren we voor 15 normtrajecten methode A. Ter illustratie beschouwen we normtraject 9-2. Per oeverlocatie en belastingcombinatie volgen we het stroomschema in Figuur 12. Zo geeft de belastingcombinatie met $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ en $U = 32 \text{ m/s}$ in eerste instantie de "max13"-waarde op de oeverlocatie. Mocht deze niet beschikbaar zijn, dan controleren we of sprake is van afwaaiing. In dit geval wordt de "last25"-waarde op de oeverlocatie gebruikt. Is die ook niet beschikbaar, dan beschouwen we de "max13"-waarde van de back-uplocatie, enzovoorts. De aslocaties staan in principe nooit droog (er zijn uitzonderingen) en op deze locaties is bijna altijd een "max13" beschikbaar. Mocht dit niet zo zijn, bijvoorbeeld in een extreme situatie met afwaaiing, dan hanteren we de "last25"-waarde waar aanwezig. Uiteindelijk volgt een waarde voor vrijwel elke belastingcombinatie en voor elke locatie. Eventueel missende waterstanden worden opgevuld door lineaire interpolatie tussen opeenvolgende locaties.

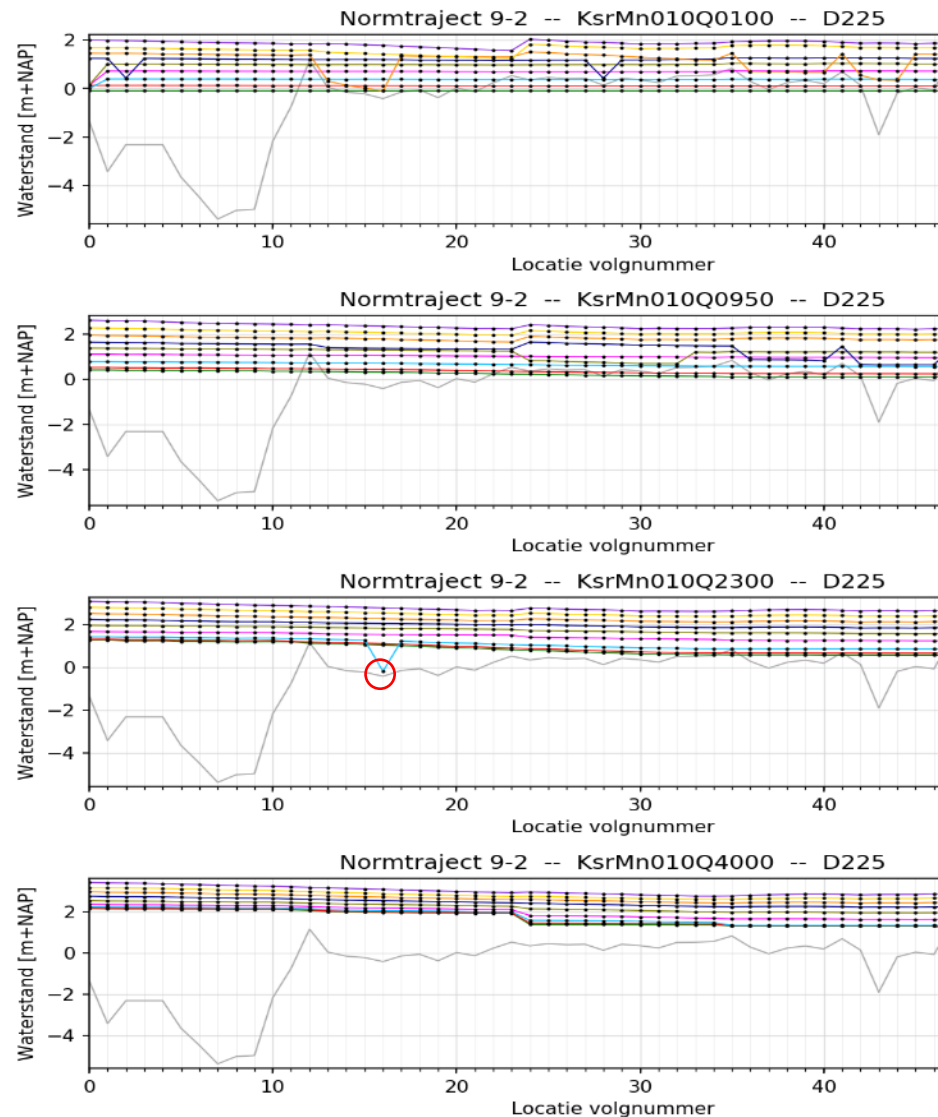
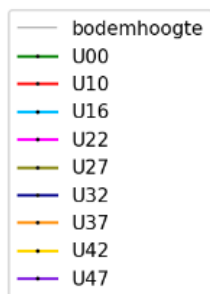
*Figuur 12
Stroomschema voor
het bepalen van de
waterstanden op
oeverlocaties
volgens methode A.*



Figuur 13 toont de verhanglijnen van de waterstanden op normtraject 9-2 voor vier verschillende afvoerniveaus ($Q = 100, 950, 2300$ en $4000 \text{ m}^3/\text{s}$). In de getoonde belastingcombinatie werkt de Ramspolkering volgens sluitregime, is het meerpeil -0.1 m NAP en is een windrichting 225 graden. In de figuur zijn de windsnelheden gevisualiseerd met verschillende kleuren. Daarnaast is de bodemhoogte toegevoegd (grijze lijn). Figuur 13 laat zien dat

vooral bij lage afvoerniveaus de waterstanden op back-uplocaties en aslocaties worden gebruikt in de database. Dit is te herkennen aan de plotselinge sprongetjes in de waterstand en waterstanden die lager zijn dan de bodemhoogte. Omdat dit gedrag veel onregelmatigheden geeft, worden de resultaten uit methode A nog gefilterd voordat ze de uiteindelijke sqlite-database in gaan. Dit lichten we nader toe in paragraaf 3.3.4.

*Figuur 13
Verloop van
waterstanden langs
normtraject 9-2 voor
methode A bij
afvoerniveaus van
100, 950, 2300 en
4000 m³/s. Zie ook
[Stijnen et al.,
2019]*



In Figuur 13 is één van de onregelmatigheden gemarkeerd met een rode cirkel. Bij een windsnelheid van 16 m/s is goed te zien dat een afwijkend resultaat wordt gevonden ten opzichte van alle andere omliggende locaties en windsnelheden. Ter illustratie is het interessant om uit te zoeken wat hier precies aan de hand is.

In Tabel 6 t/m Tabel 8 zijn de data uit de bronbestanden van WAQUA verzameld voor deze en de omliggende locaties (er zijn op dit normtraject geen zinvolle back-uplocaties beschikbaar). We constateren het volgende:

- bij U=10 m/s vinden we voor locatie 16 (ZW_HR_R_9_396) geen "max13" waarde, deze locatie staat droog. Vervolgens wordt gekeken of sprake is

van afwaaiing. Dat is niet het geval (het verschil tussen de "last25"-waarde en de bodemhoogte is <0.1 m), dus wordt teruggevallen op de "max13"-waarde op de as, resulterend in een waterstand van 1.11 m NAP.

- bij $U=16$ m/s vinden we voor dezelfde locatie wel een "max13"-waarde. Er staat ongeveer 0.23 meter water. Aangezien het verschil tussen de "max13"-waarde en de bodemhoogte meer is dan de grens van 0.1 m, hanteren we de gevonden "max13"-waarde van -0.19 m NAP (deze achten we betrouwbaar).
- bij $U=22$ m/s vinden we voor locatie 16 een "max13" waarde van 1.54 m NAP, die ruim boven de bodemhoogte ligt.
- de waterstanden van naastgelegen locatie 15 (ZW_HR_R_9_395) lijken erg op die van locatie 16. Bij $U=16$ m/s wordt ook een lage "max13"-waarde gevonden, maar omdat dit wel binnen de 0.1 m grens voor droogval valt, wordt voor deze locatie teruggevallen op de "max13"-waterstand op de as van 1.27 m NAP.
- De waterstandsverschillen tussen oever- en as-locatie kunnen oplopen tot enkele centimeters. Bij een (veel) lagere oeverwaterstand is er sprake van plasvorming. Daarnaast kan het verschil tussen oever en as komen door de gekoppelde locaties, de locaties met gelijke oever- en aswaterstanden verschillen per belastingcombinatie.

Tabel 6
WAQUA-resultaten
bij $U=10$ m/s.

Locatie	Bodemhoogte [m NAP]	Waterstand oever		Waterstand as	
		max13	last25	max13	last25
ZW_HR_R_9_392	1.155	1.21	1.164	1.1891	1.132
ZW_HR_R_9_393	0.04	NaN	0.045	1.1759	1.1208
ZW_HR_R_9_394	-0.155	NaN	-0.15	1.1594	1.1028
ZW_HR_R_9_395	-0.225	NaN	-0.22	1.1332	1.0739
ZW_HR_R_9_396	-0.42	NaN	-0.415	1.1106	1.0471
ZW_HR_R_9_397	-0.145	NaN	-0.14	1.0843	1.0195

Tabel 7
WAQUA-resultaten
bij $U=16$ m/s.

Locatie	Bodemhoogte [m NAP]	Waterstand oever		Waterstand as	
		max13	last25	max13	last25
ZW_HR_R_9_392	1.155	1.3373	1.1679	1.32	1.14
ZW_HR_R_9_393	0.04	NaN	0.045	1.31	1.13
ZW_HR_R_9_394	-0.155	-0.0896	-0.1177	1.29	1.11
ZW_HR_R_9_395	-0.225	-0.1602	-0.2109	1.2685	1.0804
ZW_HR_R_9_396	-0.42	-0.1851	-0.2409	1.2501	1.0535
ZW_HR_R_9_397	-0.145	1.3373	-0.14	1.2298	1.0256

Tabel 8
WAQUA-resultaten
bij $U=22$ m/s.

Locatie	Bodemhoogte [m NAP]	Waterstand oever		Waterstand as	
		max13	last25	max13	last25
ZW_HR_R_9_392	1.155	1.5972	1.1742	1.5931	1.149
ZW_HR_R_9_393	0.04	1.5592	1.2426	1.5852	1.1375
ZW_HR_R_9_394	-0.155	1.5522	1.2426	1.576	1.1196
ZW_HR_R_9_395	-0.225	1.5468	1.2426	1.5586	1.0911
ZW_HR_R_9_396	-0.42	1.5405	1.2426	1.5461	1.0647
ZW_HR_R_9_397	-0.145	1.5356	1.2426	1.5329	1.0363

Bovenstaande is slechts één voorbeeld, maar het laat zien hoe lastig de fysica onder bepaalde omstandigheden te interpreteren is. We constateren

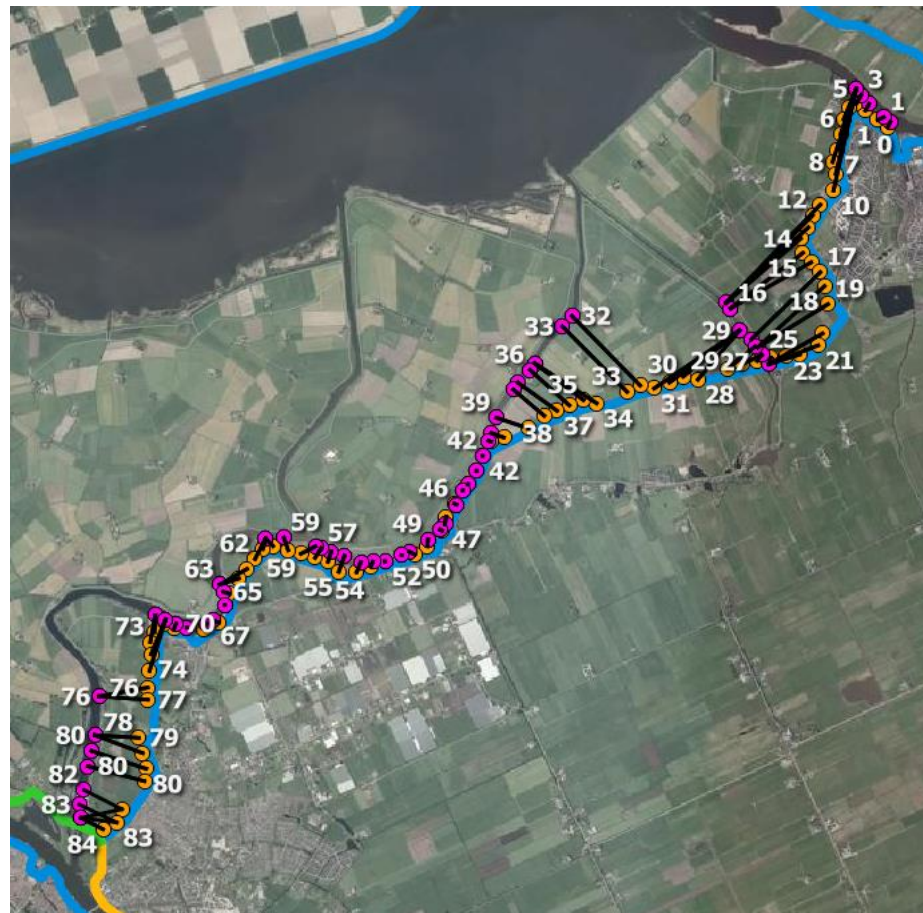
verder dat het gehanteerde algoritme correct functioneert in deze situatie. Daarnaast geldt: 1) het resultaat blijft lastig uitlegbaar zonder verdere detailanalyse, 2) het zorgt voor onregelmatigheden in de database met fysica, waar de probabilistische modellen die er gebruik van maken hun eigen reparaties op loslaten, of wat voor problemen voor de rekensnelheid kan zorgen. Daarom passen we aanvullend een "filter" toe dat deze onregelmatigheden repareert (zie hoofdstuk 3.3.4).

3.3.2

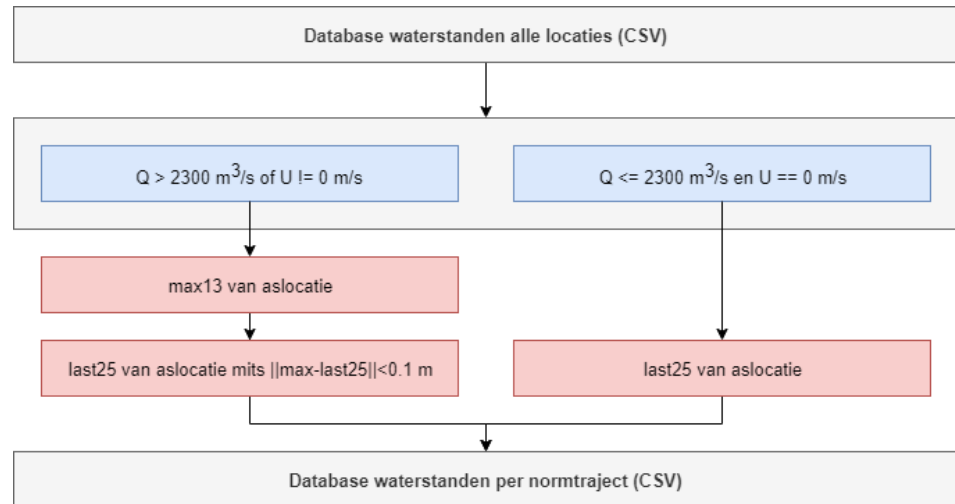
Methode B

Voor deze methode is alleen gekozen bij normtraject 10-2. Figuur 14 toont het betreffende normtraject met gekoppelde oeverlocaties en aslocaties (er zijn geen zinvolle back-uplocaties beschikbaar). Methode A geeft voor dit normtraject zeer onregelmatige langsverlopen van de waterstanden. De aanwezigheid van voorlanden, kreken, dijkes en polders zorgt voor veel afwisseling tussen oever- en aslocaties bij het toepassen van methode A. Voor regelmatigere waterstandsverlopen en betere traceerbaarheid hebben we uiteindelijk gekozen om hier alleen de waterstanden op de aslocaties te gebruiken. Figuur 15 toont het stroomschema voor methode B waarbij alleen waterstanden op aslocaties worden gebruikt. Deze methode is daarmee enigszins conservatief, maar levert wel stabiele resultaten op.

*Figuur 14
Oeverlocaties
(oranje) en
aslocaties (roze) van
normtraject 10-2. Er
zijn geen back-
uplocaties voor dit
normtraject
beschikbaar.*



*Figuur 15
Stroomschema voor
het bepalen van de
waterstanden op
oeverlocaties
volgens methode B.*

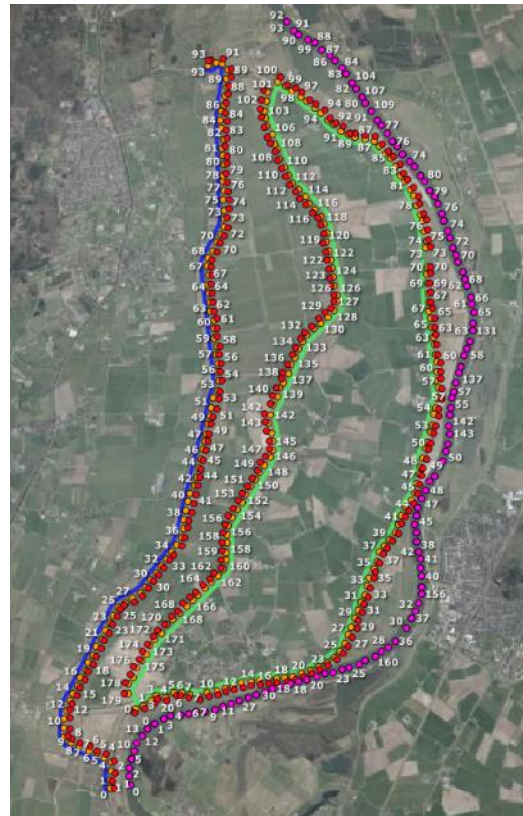


3.3.3

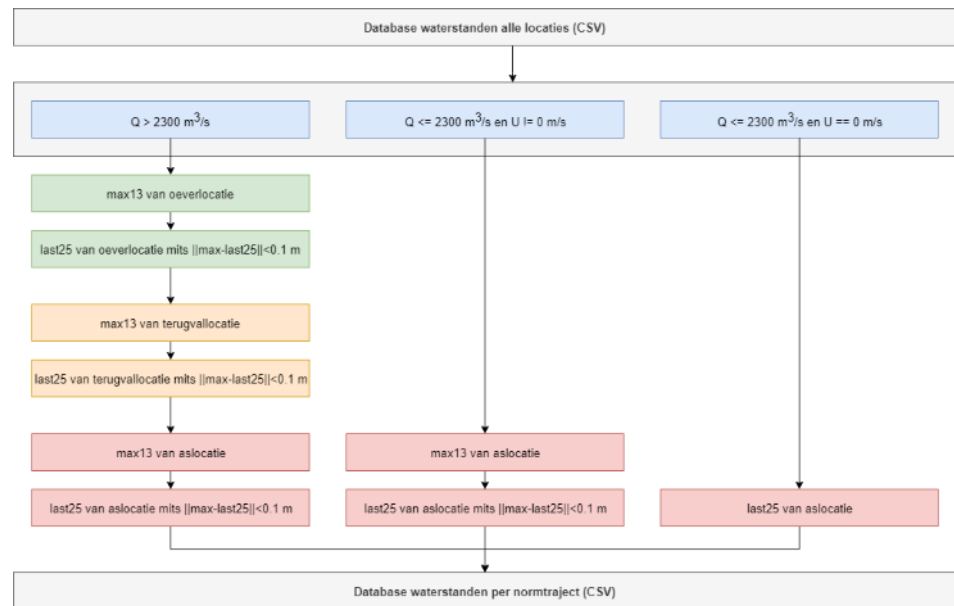
Methode C

Figuur 16 toont de ligging van normtrajecten 52a-1 en 52-3. De nevengeul Veessen-Wapenveld stroomt in bij een afvoer van ongeveer 2300 m³/s (1/100 per jaar afvoer). De oeverlocaties van beide trajecten zijn daarom gekoppeld aan aslocaties in de IJssel. Om grote sprongen in de langsverlopen van de waterstanden te vermijden, gebruiken we tot en met een afvoerniveau van 2300 m³/s de waterstanden in de aslocaties. Voor hogere afvoeren stroomt de geul volledig mee en kunnen waterstanden in de geul zelf gebruikt worden. Figuur 16 toont het stappenplan voor methode C.

*Figuur 16
Oeverlocaties
(oranje), back-
uplocaties (rood)
en aslocaties (roze)
van normtraject 52a-1
(groen) en 52-3
(blauw).*



*Figuur 17
Stroomschema voor
het bepalen van de
waterstanden op
oeverlocaties
volgens methode C.*



Figuur 18 toont langfiguren van de waterstand langs normtraject 52a-1. We beschouwen de waterstanden bij een geopende Ramspolkering, een meerpeil van +0.4 m NAP, een afvoer van 100 m³/s, een windrichting van 270 graden t.o.v. N en windsnelheden van 32 m/s en van 47 m/s. De bovenste en middelste figuur tonen de "max13"-waarden op de oever-, back-up- en aslocaties bij respectievelijk U = 32 m/s en U = 47 m/s. Een duidelijke tweedeling is zichtbaar tussen de waterstanden op de oever- en back-uplocaties aan de oostzijde van het normtraject (locaties 0 t/m 100, Figuur 16) en de waterstanden aan de westzijde van het normtraject (locaties 101 t/m 178). Door het koppelen van oeverlocaties aan de westzijde van het normtraject met aslocaties aan de IJssel ontstaan grote sprongen in het waterstandsverloop wanneer methode A wordt toegepast. Door het toepassen van methode C, onderste figuur, worden deze grote sprongen vermeden. Aan de oostzijde van het traject komen de waterstanden op de oeverlocaties overeen met de waterstanden op de aslocaties. Toepassen van methode C leidt hier dus niet tot andere waterstanden.

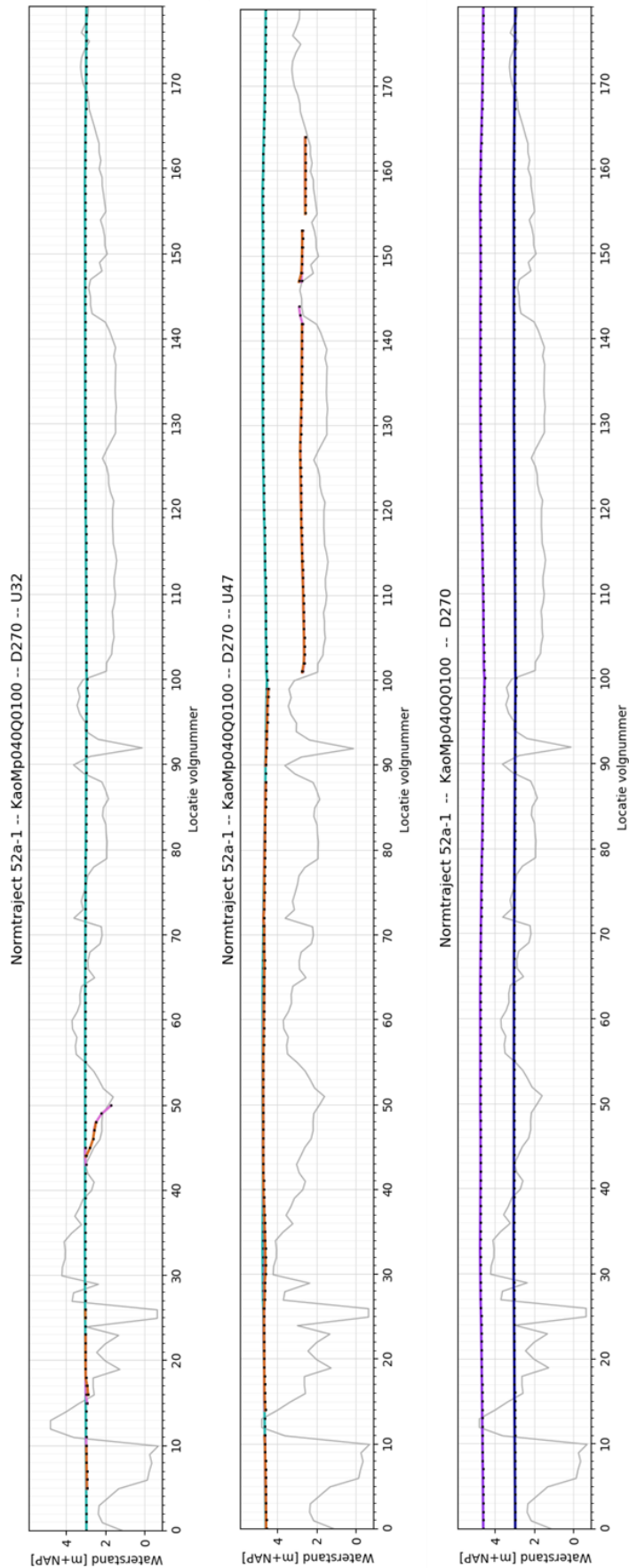
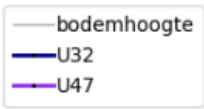
Figuur 18
Verloop van waterstanden langs normtraject 52a-1.

Bovenste figuur:
"max13"-waarde van de oever-, back-up- en aslocaties bij $U=32$ m/s.

Middelste figuur:
"max13"-waarde van de oever-, back-up- en aslocaties bij $U=47$ m/s.



Onderste figuur:
Verloop van waterstanden na toepassing van methode C.



3.3.4

Filtering

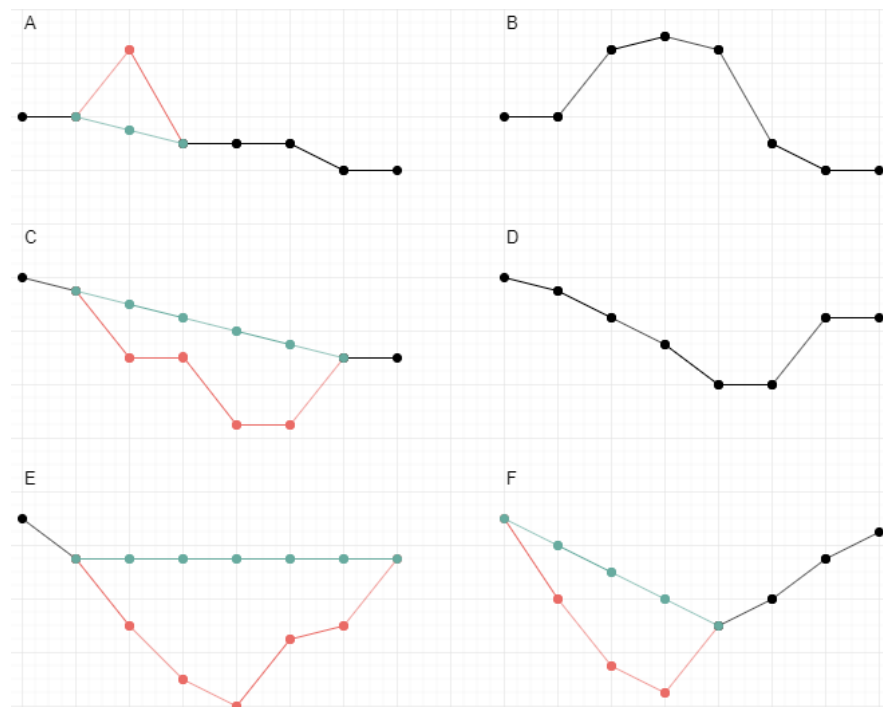
In Figuur 13 hebben we al een voorbeeld gegeven van een onregelmatig langsvverloop van de waterstand voor normtraject 9-2. De database is gevuld met een combinatie van waterstanden op oever-, back-up- en aslocaties met methode A. De resultaten van methode A bevatten plotselinge sprongetjes en worden daarom gefilterd. Deze paragraaf beschrijft het toegepaste filter.

Figuur 19 illustreert de werking van de filterfunctie aan de hand van zes voorbeelden. De zwarte lijn toont een deel van het originele waterstandsverloop dat niet wordt aangepast. Rood geeft het originele resultaat dat wordt vervangen door de gefilterde groene lijn. In Figuur 19 representeert één blokje in horizontale richting de afstand tussen twee opeenvolgende oeverlocaties. In verticale richting representeert één blokje een afstand van 0.1 m.

De filterfunctie herkent waterstandverschillen van meer dan 0.1 m tussen twee locaties als mogelijke randen van een stuk traject dat moet worden aangepast. Lokale pieken, met een linker- en rechterraand op één locatie, worden gefilterd, zie A. Een piek over meerdere locaties, zoals B, blijft aanwezig. Daarentegen worden dalen over meerdere locaties wel gefilterd, zie C. Hierbij moet wel een linker- en rechterraand worden herkend. In D herkent het filter slechts de rechterraand en geen linkerrand (alle waterstandsverschillen tussen twee locaties zijn kleiner dan 0.1 m) hierdoor valt dit deel van het traject buiten de filtering. E is een voorbeeld van een gefilterd traject en F toont een traject dat deels wordt gefilterd.

Het filter verwijdert onvolkomenheden uit de langsvverlopen. De ontstane gaten vullen we op door middel van lineaire interpolatie tussen opeenvolgende locaties (groene lijnen in Figuur 19).

*Figuur 19
Voorbeelden van het
filteren van een
waterstandsverloop.*

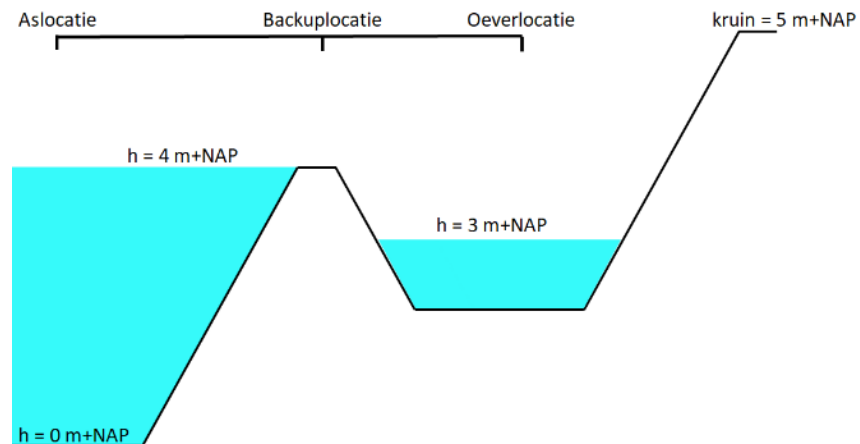


De WAQUA-berekeningen en methode A geven in twee gevallen resultaten die minder goed bruikbaar zijn voor het vullen van de sqlite-databases:

1. Met methode A kan één enkele waterstand in een langsfiguur afkomstig zijn van de as, terwijl de omliggende punten van de oever komen. Dit zorgt voor een individuele uitschieter naar boven. In dit geval is een ruimtelijke interpolatie tussen beide buurlocaties een betere benadering van de lokale waterstand (geval A in Figuur 19).
2. In WAQUA liggen verschillende gebieden in een soort "bakje". Figuur 20 is een grafische weergave van een oeverlocatie in een dergelijk gebied. Deze "bakjes" zijn gebieden omringd door een klein dijkje of dammetje. In verschillende belastingcombinaties stroomt op het hoogtepunt van de storm een beetje water in het "bakje". De waterstand in het "bakje" komt hiermee boven het droogvalcriterium van 0.1 m. Dit geeft een waterstand op de oeverlocatie lager dan de waterstand op de as.

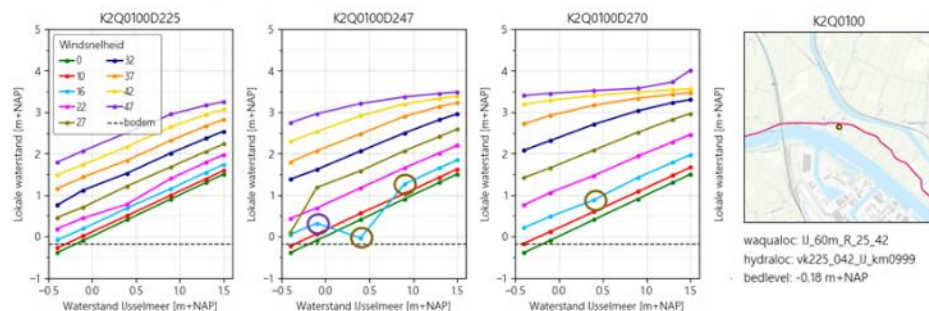
In het WAQUA-model is aangenomen dat deze voorliggende dijkjes onder deze omstandigheden niet bezwijken. Mocht dit wel het geval zijn (zeker bij hogere belastingsituaties), dan is de waterstand aan de dijk in werkelijkheid juist hoger dan gesimuleerd in WAQUA. Het filteren komt overeen met een benadering waarbij die uitgaat van een situatie waarin deze kleinere dijkjes wél bezwijken. Dit zorgt ervoor dat de waterstand aan de oever niet wordt onderschat en is dus een veilige aanname.

*Figuur 20
Voorbeeld van een oeverlocatie in een "bakje"*



Figuur 21 toont de waterstanden op een locatie langs normtraject 225 bij een afvoerniveau van 100 m³/s en een Ramspolkering die werkt volgens het sluitregime.

*Figuur 21
Waterstanden op en locatie van normtraject 225. De paars omcirkelde waterstand komt van een oeverlocatie, de bruin omcirkelde waterstanden komen van aslocaties.*



In de deelfiguur voor windrichting 247.5 graden t.o.v. N is de waterstand bij een meerpeil (M) van +0.4 m NAP l ger dan de waterstand bij M = -0.1 m NAP. Voor M = -0.1 m NAP wordt de waterstand op de aslocatie gebruikt. Deze waterstand is hoger dan de bodemhoogte op deze locatie. De oeverlocatie wordt waarschijnlijk beschermd door een verhoging (kleine dijk of dam) waardoor de oeverlocatie droog blijft staan. Bij een hoger meerpeil stroomt kennelijk wel water in een "bakje": de waterstand aan de oever wordt gebruikt, maar is relatief laag. Bij een hoger meerpeil van 0.9 m NAP wordt de oeverlocatie gebruikt en staat het bakje in zijn geheel onder water. Deze waterstand is wel weer in lijn met de omliggende resultaten. Wanneer de wind vanuit een andere hoek komt, zoals 270 graden in de derde figuur, dan stroomt meer water het bakje in en staat het bakje weer in zijn geheel onder water. Dit is een typisch voorbeeld waar het filter de waterstand bij een meerpeil van M = +0.4 m NAP repareert.

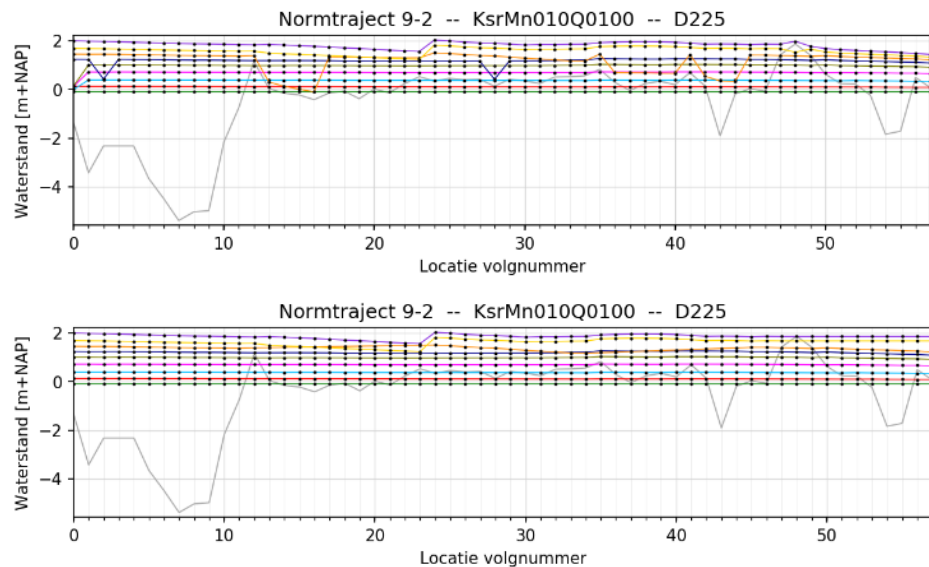
Het maximale aantal opeenvolgende locaties waarvoor het filter uit Figuur 19 geldt, verschilt per normtraject. Dit aantal locaties is iteratief bepaald, door na elke aanpassing te bekijken in hoeverre de langsfiguren een logisch verloop laten zien, zonder onregelmatigheden. De waarde is steeds het minimum waarvoor de geconstateerde "bakjes" nog net binnen het filter vallen. Het maximaal aantal locaties waarover we filteren op de uiteinden van de normtrajecten is gelijk aan 10. In de meeste gevallen zijn de "bakjes" echter veel minder groot dan de afstand over 10 locaties. Tabel 9 geeft een overzicht van de gefilterde normtrajecten en gebruikte parameters.

*Tabel 9
Overzicht van
gefilterde
normtrajecten en
daarbij gebruikte
parameters.*

Normtraject	Max aantal opeenvolgende locaties waarover filter is toegepast	Max aantal locaties rand
8-4	5	10
9-1	15	10
9-2	15	10
10-1	20	10
10-3	20	10
11-1	25	10
11-2	15	10
52-4	10	10
53-2	20	10
53-3	15	10
225	20	10

Figuur 22 geeft een voorbeeld van enkele langsverlopen van normtraject 9-2 voor en na filteren van de resultaten. De individuele pieken en korte "bakjes" zijn "gladgestreken".

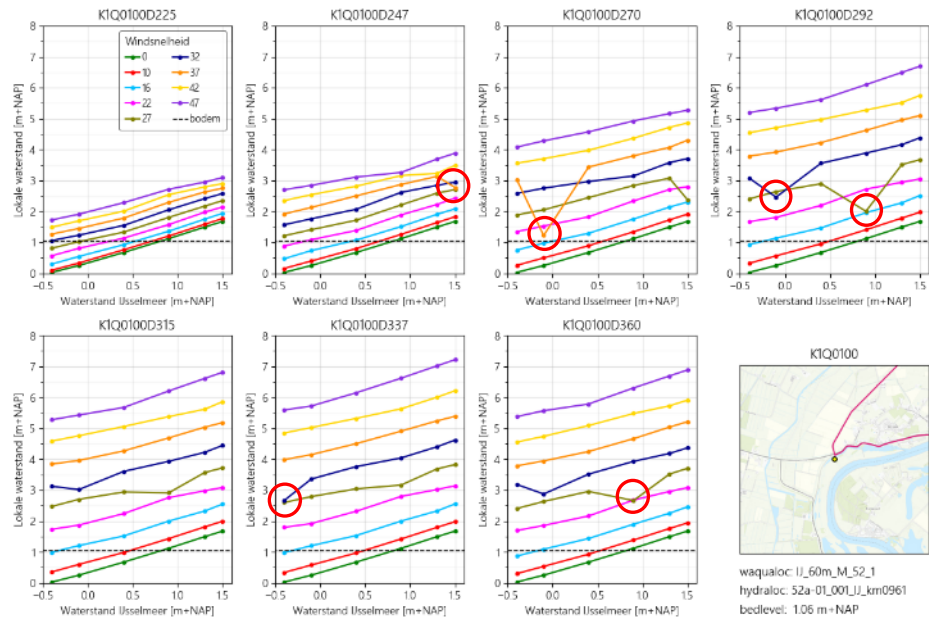
*Figuur 22
Voorbeeld van
werking van het
filter.
Boven: voor filteren.
Onder: na filteren.*



In zijn algemeenheid geldt dat de waterstanden toenemen bij een toenemende windsnelheid. Er zijn situaties waarbij een toenemende windsnelheid zorgt voor een afname van de waterstanden, bijvoorbeeld rondom een stormvloedkering. Een toename van de windsnelheid zorgt voor het sluiten van de kering, met lagere waterstanden tot gevolg. Dit gedrag achten we fysisch correct en willen we zoveel mogelijk meenemen in de database. Merk op dat dergelijke situaties in Hydra-NL worden "gerepareerd": de waterstand wordt gelijk genomen aan de waterstand die hoort bij één windsnelheidsniveau hoger uit de database. Deze reparaties hebben als voordeel dat ze een robuust probabilistisch model geven (werkt altijd), maar als nadeel heeft dat het een conservatieve benadering is. Een dergelijke afweging zal altijd gemaakt moeten worden, daarbij de gehele keten van het BWI en OI overziend.

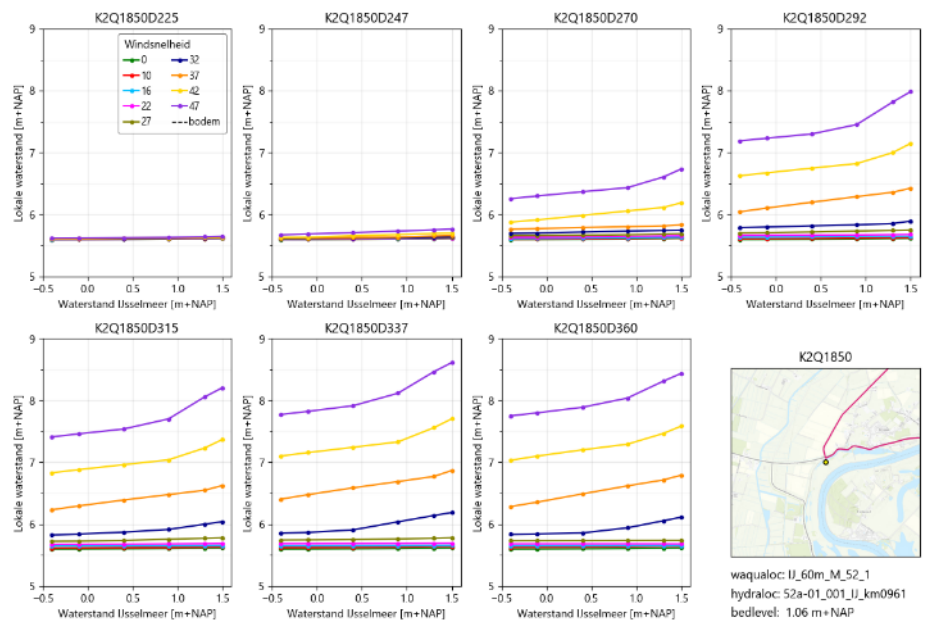
Zoals hiervoor benoemd, ontstaan onregelmatigheden in de langsfiguren of locatiefiguren met name bij lage afvoerniveaus, als bepaalde locaties net wel of niet droogvallen (in het bijzonder in kleine "bakjes" met een omliggende hogere kering). Een ander voorbeeld voor een locatie in normtraject 52a-1 bij een afvoerniveau van $100 \text{ m}^3/\text{s}$ is terug te vinden in Figuur 23. Er is goed zichtbaar dat een deel van de resultaten uit WAQUA zich onder de lokale bodemhoogte bevindt (gestreepte zwarte lijntje). In die gevallen is teruggevallen op de as van de rivier. Met rode cirkels zijn onregelmatigheden gemarkeerd: soms ontstaat een lagere waterstand bij een hogere windsnelheid (kruisende lijnen). Het betreft dan een klein "bakje" dat kennelijk net volloopt en een klein beetje water geeft, zonder dat het bakje helemaal ondergelopen is.

Figuur 23
Voorbeeld van onregelmatigheden in de verlopen van de waterstanden voor één locatie. De Ramspolkering volgt het sluitregime en de afvoer bedraagt 100 m³/s.



Bij een hoger afvoerniveau (b.v. 1850 m³/s) is het beeld anders en treden de eerdere onregelmatigheden niet langer op (Figuur 24). De "bakjes" staan dan volledig onder water en ongeacht de belastingcombinatie staat er altijd water.

Figuur 24
Voorbeeld van onregelmatigheden in de verlopen van de waterstanden voor één locatie. De Ramspolkering volgt het sluitregime en de afvoer bedraagt 1850 m³/s.



Door het optreden van droogval treden onregelmatigheden op die fysisch (waarschijnlijk) correct zijn, maar die in relatie tot nabijgelegen belastingcombinaties of resultaten van nabijgelegen locaties niet altijd wenselijk zijn. De probabilistische modellen Riskeer en Hydra-NL kunnen op zich prima met deze onregelmatigheden omgaan. In de beoordelingsmodus van Hydra-NL worden deze onregelmatigheden automatisch "gerepareerd". In de testmodus van Hydra-NL kan een gebruiker de reparaties in de afvoer en het meerpeil

uitzetten, maar de reparaties in de windsnelheid blijven altijd aanwezig. Voor Riskeer vormen de genoemde onregelmatigheden theoretisch geen probleem, maar er zijn praktijkgevallen bekend waarbij de rekestijden erg groot kunnen worden.

Het blijkt niet eenvoudig om een algoritme te bedenken dat in alle situaties het ideale resultaat geeft. Zodra de instellingen van het filter zijn aangepast voor een specifieke situatie, blijken deze instellingen elders weer een ongewenst effect teweeg te brengen. Het lukt overigens goed om individuele uitschieters of kleine "bakjes" in de langsfijnen te repareren, maar hier blijft een zekere mate van subjectiviteit in zitten. En zeker niet alle aanpassingen door het filter zullen optimaal zijn. We verwachten dat hier ruimte is voor verbetering.

Om in alle gevallen een betrouwbare, stabiele en realistisch gevulde database te krijgen (minimaliseren conservatisme) is maatwerk nodig per normtraject. O.a. kennis van de lokale omstandigheden, de schematisering in het WAQUA-model en overzicht over de gehele modelketen binnen het WBI zijn hierbij onontbeerlijk. Bezien in het grote geheel van het WBI, is de vraag of het de moeite waard is om hier in zoveel detail naar te kijken. Binnen de scope van dit project hebben we daarom soms een pragmatische (conservatieve) keuze gemaakt. Deze keuzen zijn ongetwijfeld voor verbetering vatbaar, maar aanpassing en onderbouwing vergt naar verwachting een flinke inspanning. Omdat het filter met name in werking treedt bij de laagste afvoerniveaus achten we het gebruik ervan acceptabel. De betreffende belastingcombinaties dragen niet of nauwelijks bij aan maatgevende omstandigheden. Verder geldt dat het filteren van "bakjes" een conservatieve aanpassing is. Bij hogere afvoerniveaus zien we vrijwel geen "bakjes" in het waterstandsverloop en wordt het filter slechts voor enkele locaties gebruikt.

We voeren het filter uit om een zinvolle frequentielijn voor piping en stabiliteit te kunnen bepalen. Hierbij is het geen probleem om waterstanden te gebruiken op locaties die volgens de berekeningen eigenlijk droogliggen. Om mee te nemen dat de waterstanden lager zijn dan de lokale bodemhoogte is het belangrijk om de lokale bodemhoogte mee te nemen. Waterstanden lager dan de lokale bodemhoogte dragen niet of nauwelijks bij aan de faalkans. Voor golfoverslag (GEKB) dient wel rekening te worden gehouden met droogval. Bij het toevoegen van golfcondities moet er wel voor worden gezorgd dat op droog liggende locaties géén golven in de database komen.

Het meenemen van de bodemhoogte in de analyse beperkt het conservatisme van de filtering. Filtering treedt immers op in het geval van droogval of plasvorming. Filtering heeft een verhogend effect in de volgende twee situaties:

- Bij waterstanden lager dan de lokale bodemhoogte;
- Op locaties waar de uitvoerlocatie in een bak of plas ligt;

Afgekeurde locaties

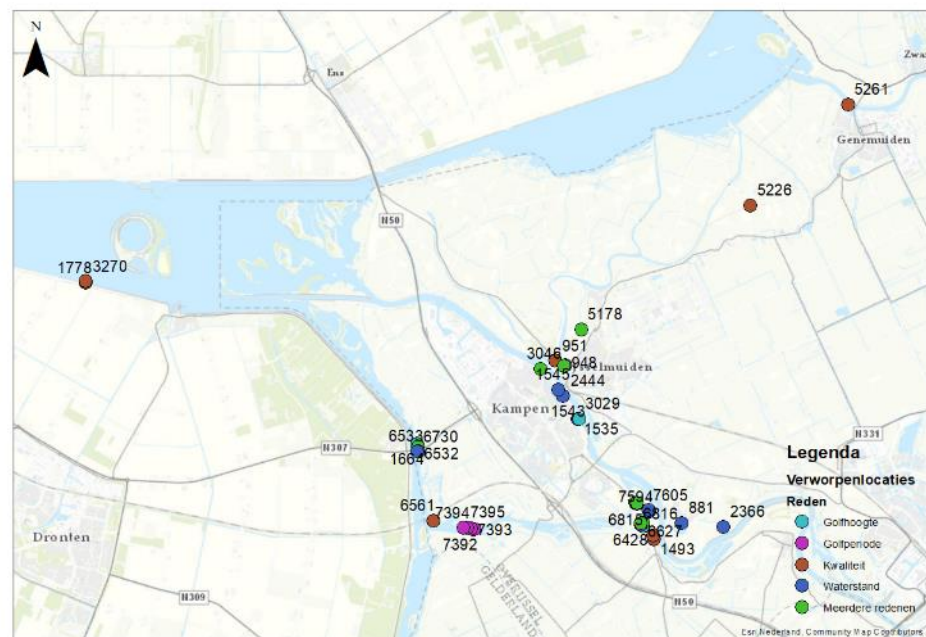
Naast correcties op basis van de waterstanden corrigeren we de dataset op basis van de kwaliteit van de golfgegevens. Als een locatie in de SWAN-berekeningen instabiel is verwijderen we deze locatie uit de locatieset.

In bijlage A en B staan analyses van de golfberekeningen voor waterstandsvelden en vlakke waterspiegels. Figuur 25 toont de eindresultaten. Golflocaties kunnen om verschillende redenen worden afgekeurd:

- **Kwaliteit uitvoerpunten:** Voor elke locatie is voor tien verschillende parameters bepaald of ze binnen de verwachte bandbreedte vallen. Het percentage van de simulaties waarin de locaties binnen de bandbreedtes valt leidt tot een kwaliteitskenmerk. Alle locaties met oordeel "matig" of "slecht" zijn afgekeurd.
- **Waterstanden:** Als de maximale of minimale waterstand op een uitvoerlocatie onrealistisch is keuren we de locatie af.
- **Golfhoogte:** Locaties met een minimale significante golfhoogte groter dan 0.4 m zijn afgekeurd.
- **Piek golfperiode:** Locaties met piekperiodes groter dan 7.5 s zijn afgekeurd.
- **Gemiddelde golfperiodes:** Locaties met een minimale $T_{m-1,0}$ groter dan 2.0 s zijn afgekeurd.

De analyse van de SWAN-resultaten toont aan dat de meeste locaties fysisch realistische resultaten vertonen. In totaal zijn 45 uitvoerlocaties verworpen omdat de SWAN-locatie op één of meerdere criteria is afgekeurd. Dit is acceptabel omdat er voldoende vervangende punten in de buurt liggen.

*Figuur 25
Afgekeurde SWAN-locaties*



De waterstanden in de databases hebben diverse bronnen. Waterstanden volgen uit "max13"-waardes, "last25"-waardes of interpolatie en de locatie waar de waterstand vandaan komt varieert tussen oever-, back-up- en aslocatie. De traceerbaarheid van alle waterstanden is geborgd met een extra csv-bestand. Dit csv-bestand geeft voor elke belastingcombinatie en elke locatie met een code weer waar de waterstand vandaan komt.

Deze csv-bestanden hebben nog geen plek binnen het databeheer van de HR-databases. Het is aangeraden om de csv-bestanden bij de databases te bewaren. Daarbij is het ook van belang dat heldere verwijzingen naar de brondata zijn opgenomen.

Traceerbaarheid

Methoden A, B en C en de filtering leiden tot een set waterstanden met diverse bronnen. Om de waterstanden in deze gemengde set traceerbaar te houden is per normtraject een extra csv-bestand gemaakt. Deze beschrijven met cijfercodes de oorsprong van de waterstanden op alle locaties in alle combinaties. Onderstaande tabel toont de codes en hun betekenis.

Code	Betekenis
0	"NaN"-waarde
1	"max13"-waarde van oeverlocatie
2	"last25"-waarde van oeverlocatie
3	"max13"-waarde van back-uplocatie
4	"last25"-waarde van back-uplocatie
5	"max13"-waarde van aslocatie
6	"last25"-waarde van aslocatie
7	Lineair geïnterpoleerde waarde

De tabel hieronder toont een voorbeeld van de tabel die voor ieder normtraject is gegenereerd. De eerste 5 kolommen beschrijven de belastingcombinatie, de kolommen daarna geven per locatie en per belastingcombinatie aan hoe de waterstand is bepaald.

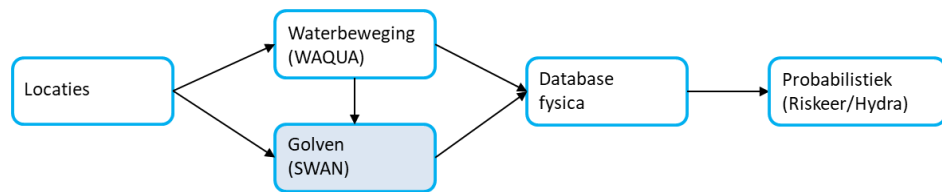
K	Q	U	D	M	Locatie 1	Locatie 2	...
1	100	10	225	-0.1	1	5	...
1	100	10	247	-0.1	2	7	...

4 Golven

Een database met Hydraulische randvoorwaarden bevat waterstanden en golven. Voor elke belastingcombinatie bevat de database een waterstand en golfcondities op elke locatie. Elke waarde in de databases moet gevuld zijn, een volledige set is dus vereist.

Dit hoofdstuk beschrijft hoe de resultaten van de SWAN-berekeningen en Bretschneiderberekeningen zijn gecombineerd tot een volledige set golven.

Figuur 26 Databases VIJD – Golven



4.1 Stappen tot een volledige set golven

Om te komen tot een volledige set golfcondities vanaf de WAQUA-uitvoer nemen we de volgende stappen per normtraject.

1. **Golfberekeningen** met SWAN en Bretschneider
2. **Controle** SWAN-gegevens [Bijlagen A en B]
3. **Verwerpen** afgekeurde locaties
4. **Combineren** van berekeningensets tot volledige golvensets
5. **Set golfcondities**

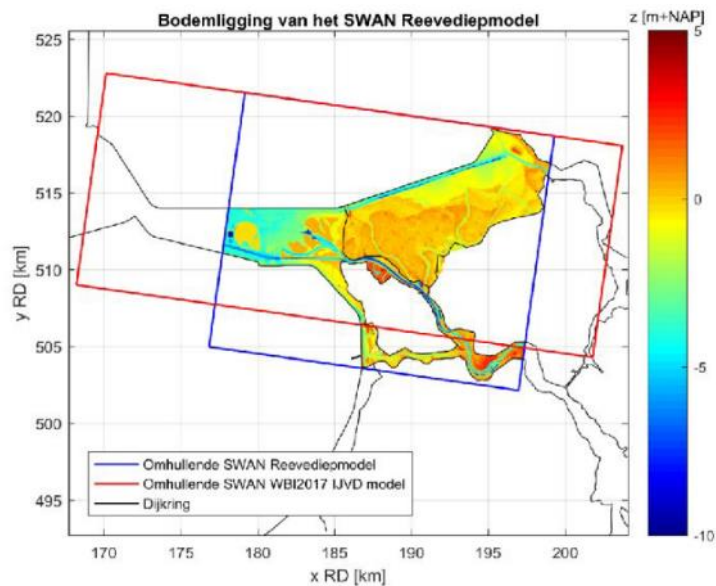
4.2 Golfberekeningen

De golven voor de VIJD-databases komen uit drie verschillende bronnen.

1. SWAN-berekeningen met een waterstandsveld [Klein en Boersen, 2019]
2. SWAN-berekeningen met een vlakke waterspiegel [Boersen, 2020]
3. Bretschneiderberekeningen

De SWAN-berekeningen geven enkel uitvoer voor de locaties binnen het modeldomein (Figuur 27) en voor de doorgerekende belastingcombinaties. Paragraaf 4.3 gaat verder in op de combinatie van de verschillende golfgegevens. In de komende drie sub-paragrafen staan voor alle drie de golfberekening de uitgangspunten en methode toegelicht.

Figuur 27 SWAN-modeldomein



4.2.1 SWAN – Waterstandsvelden

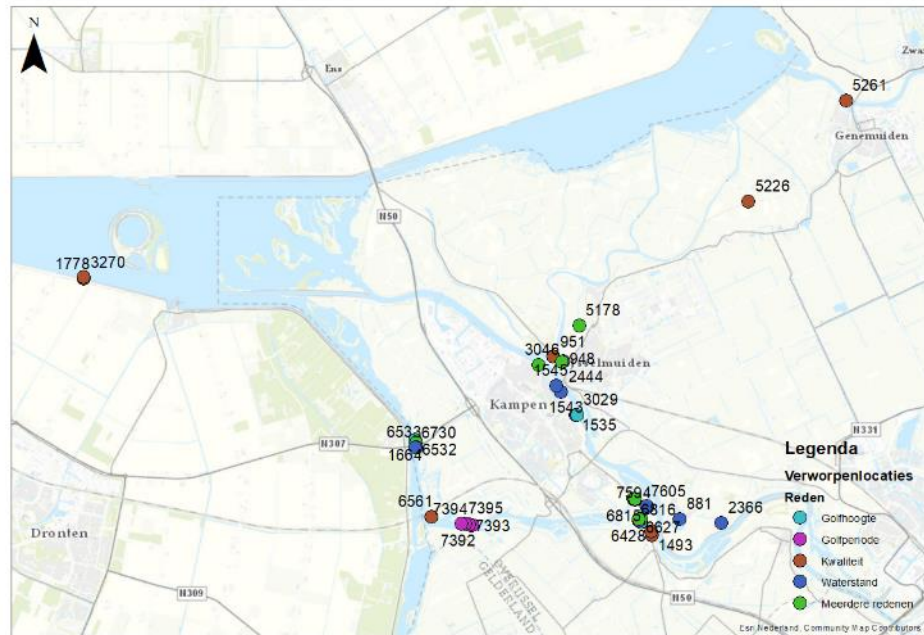
De SWAN-berekeningen met waterstandsvelden zijn uitgevoerd in opdracht van de provincie Flevoland in het kader van het amoveren van de Roggebotsluis. De berekeningen zijn uitgevoerd met de volgende uitgangspunten:

- Waterstandsvelden op basis van de maximale waterstanden in de WAQUA-berekeningen [Stijnen et al., 2018];
- Enkel westelijke windrichtingen zijn doorgerekend (ZW t/m N in sectoren van 22.5°);
- Winddragafkapping volgens [van Vledder, 2017] en [Bottema, 2018];
- Aan de westelijke modelrand is geen golfrandvoorwaarde opgelegd;
- De berekeningen zijn enkel uitgevoerd voor met een Ramspolkering die correct functioneert.

De berekeningen zijn gemaakt voor dezelfde stochastwaardes voor het Meerpeil, IJsselafvoer, Vechtafvoer, windrichting en windsnelheid als de waterstandsberekeningen in [Stijnen et al., 2018]. Met uitzondering van windsnelheid 0 m/s, deze berekening is overbodig aangezien de golven daarin afwezig zijn. Meer details over de berekeningen en uitgangspunten is te vinden in [Klein en Boersen, 2019].

[Klein en Boersen, 2019] hebben de berekeningen procedureel en fysisch gecontroleerd. Uit de procedurele controles blijkt dat de berekeningen goed zijn verlopen en stabiel zijn. De fysische controles zijn uitgevoerd voor 308 interesselocaties, hiervan zijn 4 locaties als onrealistisch beoordeeld. De overige 8569 uitvoerlocaties zijn niet fysisch gecontroleerd omdat deze niet van belang waren voor de provincie Flevoland. Voor de databases van dit project zijn deze uitvoerlocaties wel van belang. In bijlage A is de fysische controle op de extra uitvoerlocaties uitgevoerd. Hieruit blijkt dat van alle 8877 uitvoerlocaties 37 locaties onbetrouwbaar zijn (Figuur 28).

Figuur 28
Afgekeurde SWAN-locaties



4.2.2

SWAN – Vlakke waterspiegels

De SWAN-berekeningen met waterstandsvelden zijn speciaal uitgevoerd voor de nieuwe databases voor de VIJD. Deze berekeningen zijn nodig om te zorgen dat alle windrichtingen zijn doorgerekend. Op het Zwarte Meer dragen oostelijke windrichtingen ook bij aan de hoge waterstanden en HBN's, hierdoor is het niet afdoende enkel westelijke windrichtingen door te rekenen. Overeenkomstig met het WBI2017 is voor deze studie uitgegaan van een vlakke waterspiegel.

De berekeningen zijn uitgevoerd met de volgende uitgangspunten:

- De berekeningen maken gebruik van vlakke waterspiegels De waterstandsniveaus zijn gegeven in Tabel 10;
- Alle windrichtingen zijn doorgerekend in sectoren van 22.5°;
- Winddragafkapping volgens [van Vledder, 2017] en [Bottema, 2018];
- Aan de westelijke modelrand is geen golftrandvoorwaarde opgelegd;
- De berekeningen zijn enkel uitgevoerd voor met een open Ramspolkering.
 - De toestand van de Ramspolkering heeft nauwelijks invloed op de resultaten, de Ramspolkering beïnvloedt enkel de golfcondities dicht bij de kering.

Tabel 10
Waterstandsniveaus
SWAN-berekeningen
met een vlakke
waterspiegel

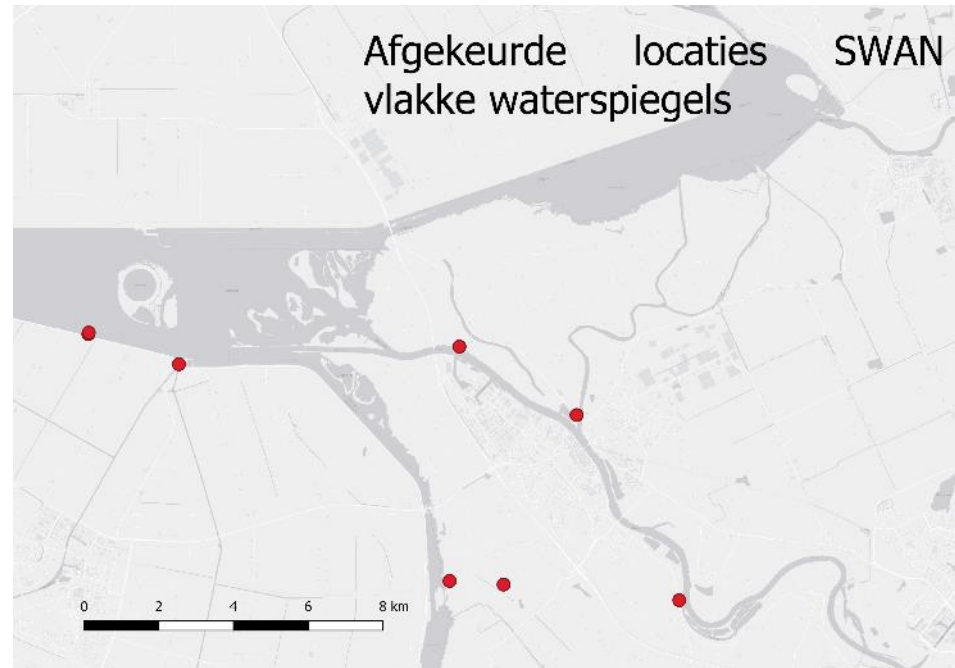
Waterstandsniveau (m NAP)				
-0.40	-0.10	0.60	1.10	1.60
1.90	2.20	2.50	3.00	3.50
4.00	4.50			

Meer details over de SWAN-berekeningen staan in [Boersen, 2020]. De controles in [Boersen, 2020] tonen aan dat de berekeningen betrouwbaar zijn en dat slechts 8 locaties verworpen moeten worden vanwege onrealistische

fysische resultaten. Hiermee zijn de berekeningen met vlakke waterspiegels stabiel(er) dan de berekeningen met schuine waterstandsvelden.

De afgekeurde locaties zijn te zien in Figuur 29. In Figuur 29 zijn 7 rode stippen te zien. De meest westelijke stip zijn twee locaties die direct naast elkaar liggen, hierdoor valt een van de stippen weg.

*Figuur 29
Afgekeurde SWAN-
vlakke waterspiegels*



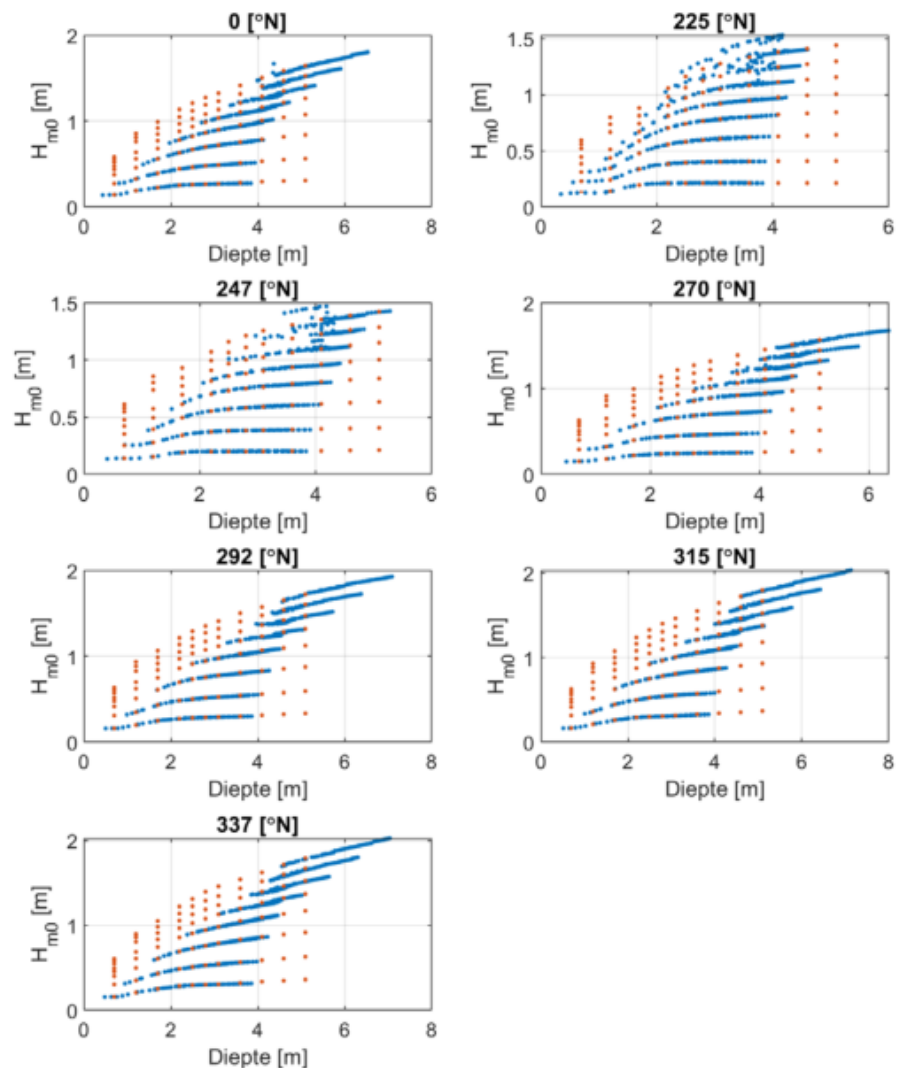
Vlakke waterspiegels t.o.v. waterstandsvelden

Door in deze studie nieuwe SWAN-berekeningen te maken met een vlakke waterspiegel is het mogelijk een vergelijking te maken tussen de resultaten met vlakke waterspiegels en schuine waterspiegels. Deze vergelijking is gemaakt in [Boersen, 2020] bijlage A.

Figuur 30 toont één van de resultaten van de vergelijking tussen de twee sets SWAN-berekeningen. Het figuur toont de golfhoogtes bij Kampen. In blauw staat de waterstanden op basis van ruimtelijk variërende waterstandsvelden. In oranje de resultaten op basis van vlakke waterspiegels. De volgende zaken vallen op:

- De spreiding van de vlakke waterspiegels is veel groter;
- Alle resultaten van beide sets berekening vormen een soort doorgaande lijnen, het aantal lijnen komt overeen met het aantal doorgerekende windsnelheden;
- De oranje punten vormen een interpolatiegrid om de blauwe resultaten te benaderen, inter- of extrapolatie van de vlakke waterspiegels geeft een goede benadering van de waterstandsvelden;
- Met vlakke waterspiegels is het goed mogelijk de resultaten van ruimtelijk variërende waterstandsvelden te benaderen;
- Het maximale waterstandsniveau ligt te laag om extrapolatie bij Kampen te voorkomen.

*Figuur 30
Analyse van
ruimtelijk variërende
waterstandsvelden
ten opzichte van
vlakke
waterspiegels.
Golfhoogtes nabij
Kampen*



Deze en de andere resultaten in [Boersen, 2020] tonen aan dat het goed mogelijk is te rekenen met vlakke waterspiegel in gebieden waar het verhang niet te groot is. Voor gebieden waar het verhang groter is kan op basis van de huidige studie geen conclusie worden getrokken.

4.2.3

Bretschneider

Op alle locaties buiten het SWAN-model zijn Bretschneiderberekeningen toegepast om de golven te bepalen. Bretschneider maakt gebruik van windsnelheid, windrichting, strijklengtes en gemiddelde bodemhoogtes om de hoogte en piekperiode van een golf te bepalen. Figuur 31 toont voorbeelden van de strijklengtes die horen bij verschillende locaties.

*Figuur 31
Voorbeeld
strijklengtes*



Winddragafkapping in de formules van Bretschneider

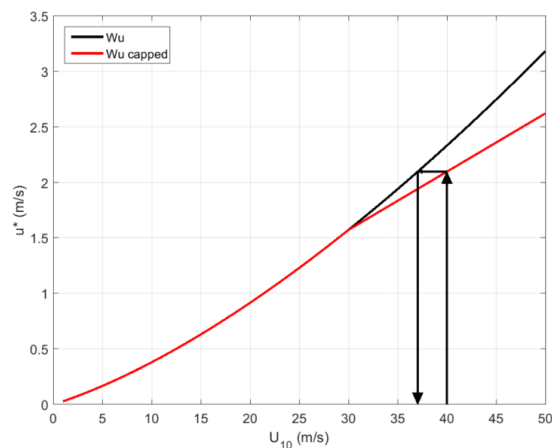
De formules van Bretschneider hebben geen winddrag, wat het lastig maakt om afkapping van de winddrag in deze formules door te voeren. Om op een pragmatische manier toch golfcondities met Bretschneider te berekenen, waarbij wél rekening wordt gehouden met een afgekapte winddragcoëfficiënt boven een open-water windsnelheid (u_{10}) van 30 m/s (conform rapport Van Vledder), is het volgende gedaan. Dezelfde methodiek is toegepast in [Stijnen et al., 2018].

Bij het bepalen van de golfcondities met Bretschneider hanteren we "gecorrigeerde" windsnelheden gebaseerd op een afgekapte winddrag. Deze gecorrigeerde windsnelheden zijn bepaald op eenzelfde manier als in het rapport van Van Vledder met het volgende principe:

"Welke windsnelheid zou bij toepassing van de oude dragformulering dezelfde schuifspanningssnelheid u^ geven als bij toepassing van de nieuwe dragformulering?"*

Dit is gevisualiseerd in Figuur 32 een open-water windsnelheid van b.v. 40 m/s wordt via de u^* (schuifspanningssnelheid) verlaagd naar een windsnelheid van 37 m/s.

*Figuur 32
Methode om
gecorrigeerde wind
te bepalen op basis
van een oude Wu
formulering (1982)
en de afgekapte Wu
formulering met
 $U_{cap}=30$ m/s (Bron:
Van Vledder)*



Door deze lagere windsnelheid te gebruiken in de Bretschneider formules, worden lagere golven gevonden en kan toch het effect van een afgekapte winddrag in beeld worden gebracht.

We realiseren ons dat deze aanpak niet ideaal is, maar wel het best haalbare binnen de scope van de huidige studie. We raden aan om over deze problematiek beter na te denken in het kader van het Basisinstrumentarium (2023), of om helemaal niet meer met Bretschneider te rekenen. Dit laatste zal in de praktijk nog lastig blijken, omdat keringbeheerders, onderzoekers, of adviesbureaus vaak snelle analyses met aangepaste golfcondities zullen willen doen en daarvoor is Bretschneider vaak een pragmatische keuze.

4.3 Combineren van golven

Voorgaande paragraaf beschrijft dat er drie bronnen voor golfgegevens (golvensets) zijn. In de database moeten voor alle locaties en stochastcombinaties waterstanden en golfcondities staan. Niet alle sets voldoen daar nu aan.

1. SWAN-berekeningen met een waterstandsveld uit WAQUA [Klein en Boersen, 2019]
 - Voor de oostelijke windrichtingen bevat deze golvenset geen gegevens;
 - Deze set bevat alleen een correct functionerende kering, geen falende kering;
 - Deze set geldt dus niet achter de Ramspolkering waar
 - De situatie met een falende kering bijdraagt aan de hydraulische belastingen;
 - De oostelijke windrichtingen maatgevend kunnen zijn.
2. SWAN-berekeningen met een vlakke waterspiegel [Boersen, 2020]
 - Deze set bevat alleen een falende kering;
 - Op basis van de optredende waterstanden moeten de golfcondities geïnterpoleerd worden tussen de waterstandsniveaus;
 - De maximale waterstand in deze set is 4.5 meter, daarboven wordt geëxtrapoleerd;
 - Deze set is minder geschikt in het geval van grote scheefstand, omdat de waterstand in het gehele gebied gelijk wordt gesteld aan de waterstand op de uitvoerlocaties. Dit geeft een overschatting van de golfhoogte;
 - Deze set is dus minder geschikt voor westelijke wind op de IJssel
3. Bretschneiderberekeningen
 - De Bretschneiderberekeningen zijn bruikbaar voor alle stochastcombinaties;
 - Het uitgangspunt van de databases is dat waar SWAN beschikbaar is SWAN-resultaten gebruikt worden;
 - Bretschneider is ongeschikt voor brede wateren.
 - Figuur 33 toont voor welke gebieden SWAN-golven beschikbaar zijn (geel) en voor welke gebieden Bretschneidergolven gebruikt (Blauw) worden.

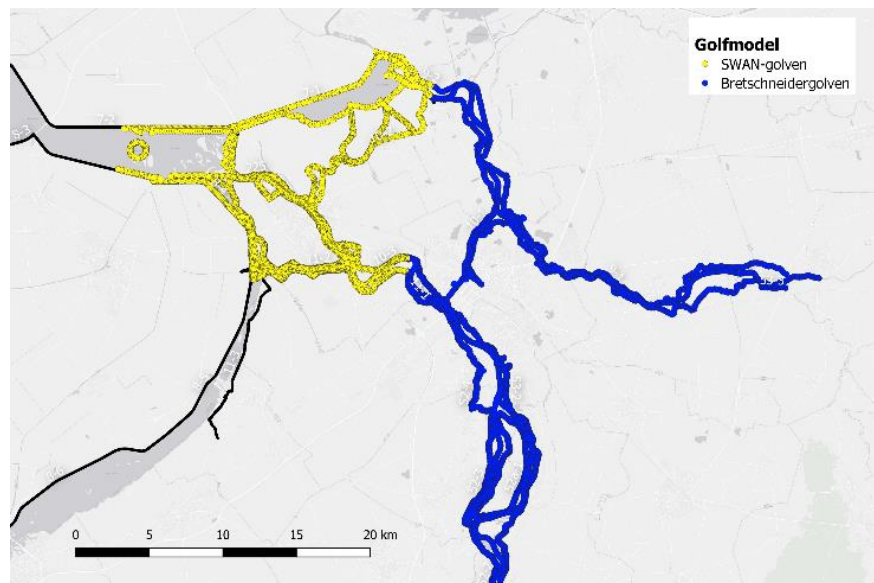
Vanwege bovenstaande voor- en nadelen van de verschillende golvensets maken we combinaties tussen golvenset 1 en 2 om tot een volledige set golfcondities te komen. Tabel 11 beschrijft de drie mogelijkheden om tot een set golven te komen, Figuur 34 toont waar deze combinaties gelden. De basis van de gebieden is gebaseerd op het WBI2017, in het WBI is voor de IJsseldelta gebruik gemaakt van waterstandsvelden en voor het Zwarte Water zijn vlakke waterspiegels toegepast.

*Tabel 11
Combinaties van
sets
golfberekeningen*

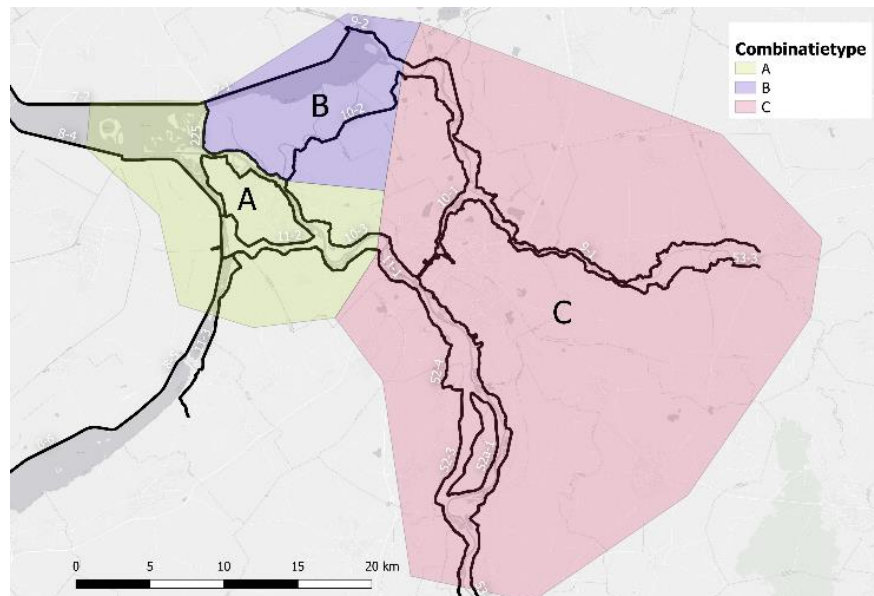
Gebied	Opvulmethode
A	<p>In gebied A (IJsseldelta) komen de maximale waterstanden voor bij een werkende Ramspolkering en westelijke wind. Bij een falende kering zijn de waterstanden en de golven op de IJssel lager.</p> <p>Golvenset 1 is gebruikt voor de westelijke windrichtingen (ZW t/m N) bij zowel een werkende als falende Ramspolkering.</p> <p>Golvenset 1 bevat geen golven voor oostelijke windrichtingen. De oostelijke windrichtingen dragen niet (of nauwelijks) bij aan de waterstanden of hydraulische belastingen in de IJsseldelta. De golfcondities voor de oostelijke windrichtingen opgevuld met golfgegevens uit golvenset 2.</p>
B	<p>In gebied B (Zwarte Water) kan de maximale waterstand voorkomen bij een hoge afvoer of bij een westelijke wind en een falende kering. Omdat alle windrichtingen kunnen bijdragen is gebruik gemaakt van golvenset 2.</p>
C	<p>In gebied C zijn alleen Bretschneiderberekeningen beschikbaar, voor alle windrichtingen en keringsituaties zijn Bretschneidergolven gebruikt.</p>

Op basis van [Boersen, 2020] kan gesteld worden dat het gebruik van schuine waterspiegels in de IJsseldelta (gebied A) niet nodig is. Dit zou betekenen dat alle golfcondities uit één set SWAN-berekeningen kunnen worden afgeleid. Toch is binnen dit project besloten deze schuine waterspiegels wel te gebruiken omdat dit het best aansluit bij het WBI2017. Verder onderzoek naar de verschillen tussen vlakke en schuine waterspiegels is aanbevolen om in de toekomst golfcondities op één set berekeningen te kunnen baseren.

Figuur 33
Golfmodel



Figuur 34
Combinaties van
golfberekeningen

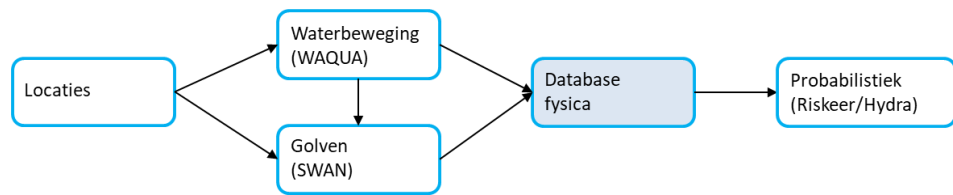


5 Databases

Een database met Hydraulische randvoorwaarden bevat waterstanden en golven. Voor elke belastingcombinatie bevat de database een waterstand en golfcondities op elke locatie. Elke waarde in de databases moet gevuld zijn, een volledige set is dus vereist.

Dit hoofdstuk beschrijft hoe de locaties, waterstanden en golven zijn gecombineerd tot een HR-database.

*Figuur 35 Databases
VIJD – Databases*



5.1 Stappenplan

Op basis van de vorige hoofdstukken hebben we voor elk normtraject een set locaties, waterstanden en golven beschikbaar. Op basis van de het overleg over de modelonzekerheden [Daggenvoorde, 2020] zijn ook de modelonzekerheden bekend.

Met deze basisdata maken we drie typen databases, de HR-database, de .config database en de hlcd. De laatste twee databases bevatten instellingen en statistiek zodat de databases ook met Riskeer gebruikt kunnen worden.

Om tot een database te komen volgen we de volgende stappen.

1. Toevoegen Locaties
2. Toevoegen Waterstanden
3. Toevoegen golven
4. Toevoegen modelonzekerheden
5. Locaties en statistiek toevoegen aan de .config en hlcd

5.2 HR-Database

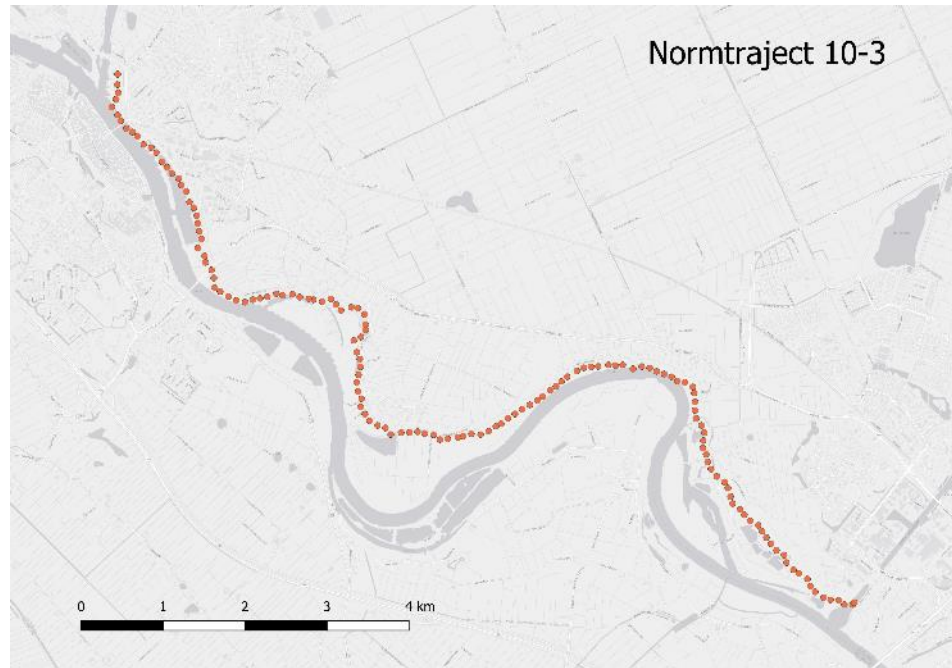
De HR-Database bevat de locaties, waterstanden en golfcondities Ook de modelonzekerheden staan in de HR-database.

5.2.1 Locaties

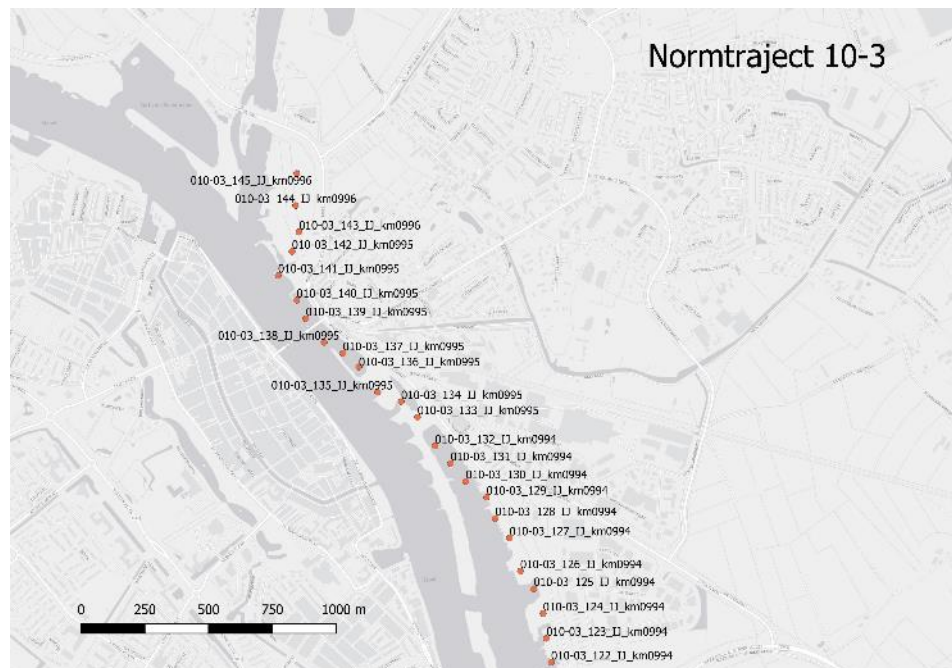
Voor elk normtraject zijn locaties langs de oever geselecteerd als uitvoerlocaties. Deze uitvoerlocaties liggen om de 100 meter tenzij een locatie is afgekeurd vanwege de golfcondities. De locatienamen en

locationid's volgen de methodiek zoals beschreven in paragraaf 2.4. Figuur 36 toont de ligging van alle locaties van normtraject 10-3. Figuur 37 toont in meer detail de locaties van normtraject 10-3 in de buurt van IJsselmuiden, Figuur 37 toont ook de namen van de verschillende locaties. Dezelfde namen zijn terug te vinden Figuur 38, dit figuur toont hoe de verschillende locaties in de database staan.

*Figuur 36
Locaties langs
normtraject 10-3*



*Figuur 37
Locatienamen langs
normtraject 10-3*



*Figuur 38
Locatietabel in de
database*

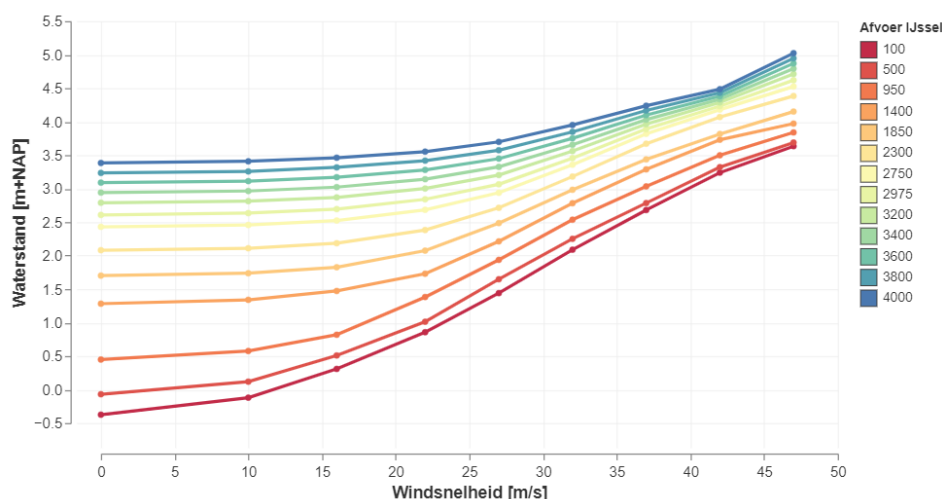
HRDLocationId *1	LocationTypeId	Name	XCoordinate	YCoordinate	WaterLevelCorrection	BedLevel	Acceptatie geometrie
Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter
11030147	2	010-03_147_IJ_km0996	191047.375	508770.094	0.0	0.195	1
11030146	2	010-03_146_IJ_km0996	191042.812	508644.219	0.0	0.295	1
11030145	2	010-03_145_IJ_km0996	191047.375	508770.094	0.0	0.07	1
11030144	2	010-03_144_IJ_km0996	191042.812	508644.219	0.0	0.155	1
11030143	2	010-03_143_IJ_km0996	191055.844	508540.25	0.0	0.665	1
11030142	2	010-03_142_IJ_km0995	191028.547	508464.125	0.0	0.315	1

5.2.2 Waterstanden

Na de locaties voegen we de waterstanden toe aan de database. De resultaten van hoofdstuk 3 beschrijven de waterstanden voor de westelijke windrichtingen. Voor de oostelijke windrichtingen zijn geen waterstanden met WAQUA uitgerekend. Om toch waterstanden bij de oostelijke windrichtingen te hebben gebruiken we hiervoor de waterstanden die horen bij windsnelheid 0 m/s. Dit is een conservatieve benadering omdat bij oostelijke wind het IJsselmeer scheef gaat staan en de waterstand op het Ketelmeer dus omlaag zal gaan. Dit effect nemen we nu niet mee.

De waterstanden in de database zijn vervolgens gecontroleerd met behulp van verschillende figuren, een voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 39.

*Figuur 39
Controle
waterstanden in de
database (locatie
010-
03_102_IJ_km0992)*



5.2.3 Golven

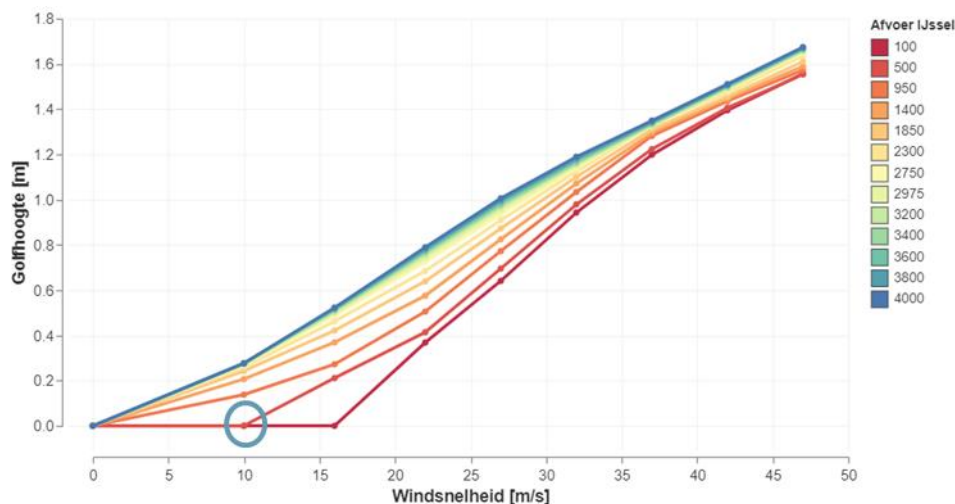
Na de waterstanden voegen we de golven toe aan de database. Op de golven voeren we de volgende bewerkingen uit:

- Interpoleren van de golfhoogte, golfperiodes en golfrichting in het geval van SWAN-golven op basis van vlakke waterspiegels
- Bretschneider golven uitrekenen in de gebieden waar SWAN niet beschikbaar is;
- De golfhoogte en golfperiodes op 0 zetten wanneer de waterstand lager is dan de lokale bodemhoogte.

Het op 0 zetten van golfhoogtes en golfperiodes is nodig omdat het mogelijk is dat er in de database waterstanden staan lager dan de bodemhoogte. Dit is een gevolg van de terugvalmethodiek uit paragraaf 3.3.

Figuur 40 toont de golfhoogtes zoals ze in de database aanwezig zijn. De golfhoogtes vertonen een logisch verloop. Ze nemen toe met de windsnelheid en de afvoer. In de cirkel is een voorbeeld te zien van golfhoogtes die op nul zijn gezet. De bodemhoogte op deze locatie is 0.285 m NAP. De waterstand bij deze belastingcombinatie is lager dan 0 (Figuur 39). Dus de bodem is hoger dan de waterstand, een golf is niet aanwezig.

Figuur 40
Controle Golfhoogte
in de database
(locatie 010-
03_102_IJ_km0992)



5.2.4 Modelonzekerheden

De modelonzekerheden zijn vastgesteld in overleg met experts van Deltares, RWS en HKV. De argumentatie is terug te vinden in [Daggenvoorde, 2020].

De modelonzekerheden voor de waterstanden zijn terug te vinden in Tabel 12 en Tabel 13.

De modelonzekerheden voor de golven passen we niet aan. Voor de gebieden waar we SWAN-toepassen geldt deelgebied II en voor de gebieden met Bretschneider geldt deelgebied III (Figuur 41). De formule waarmee de modelonzekerheden vertaald worden naar de databasewaarde passen we wel aan. Deze formule is te zien in formule (1).

$$f_{bias,corr} = \frac{1}{1 + \mu} \quad (1)$$

Tabel 12
Modelonzekerheden
waterstanden
IJsseldelta

IJsseldelta en randmeren	Mu (m)	Sigma (m)
IJssel bovenstrooms rkm 985	0	0.20
IJssel benedenstrooms van rkm 985 (inclusief Reevediep, Drontermeer, Vossemeer en Ketelmeer)	0	0.25

Tabel 13
Modelonzekerheden
waterstanden
Vechtdelta

Regio Vechtdelta	mu [m]	sigma [m]
Zwarte Meer (trajecten Flevoland en Mastenbroek)	0	0.15
Zwarte Water (Mastenbroek van Geertruidenberg naar Spooldersluis)	0	0.20
Noordoever Vecht van Zwartsluis t/m Ommen	0	0.15
Zuidoever Vecht van Spooldersluis naar Ommen	0	0.15

Figuur 41
Modelonzekerheden
golven [Chbab en
Groeneweg, 2017]

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

5.2.5

Controles van de HR-Databases.

De inhoudelijke controles van de databases staat in hoofdstuk 5.4. Na het maken van de databases is elke database procedureel gecontroleerd, dit houdt in dat voor elke database de volgende vragen positief zijn beantwoord:

1. Werkt de database in Hydra-NL?
2. Zijn golven en waterstanden terug te leiden naar de bronbestanden?
3. Komen de modelonzekerheden overeen met de waardes uit paragraaf 5.2.5?

Met het voldoen aan deze controles weten we dat we een werkende database hebben met golven en waterstanden uit de bronbestanden en met modelonzekerheden volgens de nieuwste afspraken.

5.3

HLCD- en config-Database

Om met een HR-database in Riskeer te kunnen werken zijn een .config en een HLCD-database nodig. De .config-database bevat de instellingen voor de rekentechnieken voor elke locatie, de HLCD-database bevat de statistische informatie. De HLCD- en config-databases zijn gebaseerd op de oude WBI2017-bestanden. Op deze bestanden zijn de volgende aanpassingen doorgevoerd:

- HLCD
 - Tabel Tracks: nieuwe traject invoegen en naam van HRD toevoegen.
 - Tabel Locations: Toevoegen nieuwe locationid's en koppelen aan de HRDLocationids (beide ID's zijn gelijk)
 - Tabel General: Aanpassingen aanmaakdatum
- .config
 - Tabellen DesignTableSettings, NumericSettings en TimeIntegrationSettings: Vervangen van de locationid's voor de nieuwe locaties, de rekeninstellingen zijn gelijk gebleven.

- Tabel General: Aanpassingen aanmaakdatum en naam van de bijbehorende HRD.

In bijlage C staan voorbeelden van de bovengenoemde tabellen.

Uit de interne controles (hoofdstuk 6.1) is gebleken dat de een extra aanpassing nodig is aan de HLCD-databases van de normtrajecten 8-4, 10-2, 10-3, 11-1, 11-2 en 225. Voor deze databases is het de PCR-correlatiemodel uitgezet met onderstaande commando:

```
UPDATE LoadVariablesData SET CorrelationTypeId = NULL WHERE RegionId = 5
```

5.4 Specialistische databases

Naast de regulier normtraject databases maken we acht specialistische databases. Vier van deze databases zijn zogenoemde asdatabases, deze databases bevatten enkel waterstanden. De overige vier databases bevatten waterstanden en golven.

Het vullen van de specialistische databases gaat op dezelfde wijze als het vullen van de HR-databases:

1. Toevoegen locaties
De geselecteerde locaties zijn terug te vinden in paragraaf 2.3.2.
2. Toevoegen waterstanden
De waterstanden zijn afgeleid volgens de methodiek beschreven in paragraaf 3.3. De gebruikte opvulmethode zijn te vinden in Tabel 14.
3. Indien nodig toevoegen golven
De golflocaties van de specialistische databases zijn niet afgekeurd. Wanneer een waterstand lager is dan de lokale bodemhoogte zetten we de golfcondities op nul.
4. Toevoegen modelonzekerheden
De modelonzekerheden zijn gelijk aan de modelonzekerheden van de normtraject databases.
5. Controles
Alle specialistische databases zijn gedraaid onder Hydra-NL en steekproefsgewijs zijn waardes uit de database teruggeleid naar de brondata.

Tabel 14
Opvulmethode
specialistische
databases

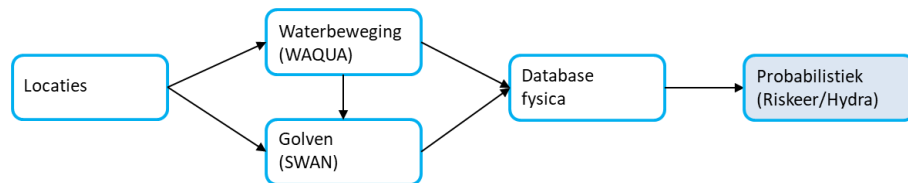
Database	Opvulmethode
Aslocaties IJssel en Reevediep	Geen, aslocaties zijn altijd nat
Aslocaties Vecht en Kampereiland	Geen, aslocaties zijn altijd nat
Aslocaties Veessen Wapenveld	Methode C, als de geul droog staat terugvallen op de as van de rivier.
Hoekpunten + midden IJsselmeer	Geen, het IJsselmeer is altijd nat
IJsseloog	Methode A
Ketelpolder	Methode A
Dijken Kampereiland	Methode A
Vogeleiland	Methode A

6 Probabilistiek & Controles

De inhoud van databases uit hoofdstuk 5 is getest op werkzaamheid en traceerbaarheid. De inhoudelijke controles komen in dit hoofdstuk aan bod. De databases zijn zowel intern (bij HKV) als extern (door Arcadis, [Benit, 2020]) getest.

Dit hoofdstuk beschrijft de uitgevoerde tests, uitkomsten en aanpassingen aan de databases.

Figuur 42 Databases VIJD – Controles



De interne controles van HKV controleren of de databases waterstands- en golfberekeningen bevat en maken een snelle doorkijk naar realistische resultaten. De externe controles door Arcadis zijn uitgebreider en bevatten meer analyse van de resultaten.

6.1 Interne controles

De interne controles van de databases bestaan uit drie verschillende controles:

- **Locatiecontrole**, liggen de locaties logisch
- **Waterstanden**, geven de waterstandsberekeningen een logisch verloop en realistische uitkomsten
- **Golven**, geven de golfberekeningen een logisch verloop en realistische uitkomsten

De locatiecontrole is een visuele controle van alle locaties in de databases. De controles van waterstanden en golven zijn controles met behulp van de probabilistische software. Alle controles zijn uitgevoerd met zowel Hydra-NL als Riskeer.

Na de interne controles weten we dat de databases werken onder Hydra-NL en Riskeer en dat de resultaten vergelijkbare uitkomsten geven. Daarnaast zijn sommige foutieve locaties verwijderd.

6.1.1 Ligging locaties

De locatieligging is visueel gecontroleerd, de aanpassingen uit deze controle en andere interne controles staan in Tabel 15 in paragraaf 6.2. Figuur 43 en

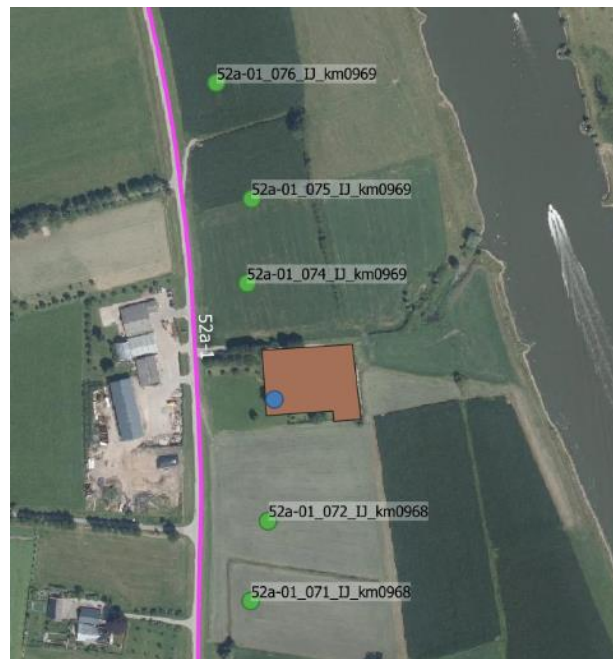
Figuur 44 tonen voorbeelden van locaties die zijn verwijderd na interne controle.

- Figuur 43 toont dat de originele locatieset 4 locaties achter de kering bevatte (blauw). Deze locaties zijn verwijderd en staan daarom niet meer in de database (groen).
- Figuur 44 toont een locatie gelegen op een hoogwatervrij terrein (bruin). Deze locatie bevat geen realistische waterstanden en is daarom verwijderd.

*Figuur 43
Locaties achter de
kering normtraject
10-1*



*Figuur 44
Locatie op
hoogwatervrij
terrein*



6.1.2

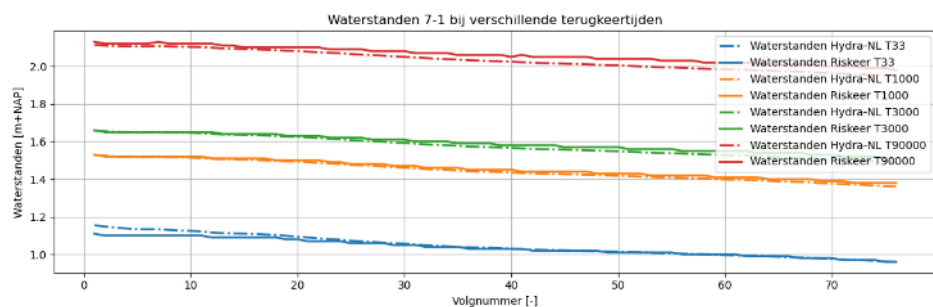
Waterstanden

We controleren de waterstanden in de databases met waterstandsberekeningen in zowel Hydra-NL als Riskeer voor alle locaties in de database. Voor elke locatie maken we vervolgens figuren met frequentielijnen en voor elk traject maken we langsfiguren met waterstanden bij de norm. Alle figuren zijn vervolgens visueel gecontroleerd op inconsistenties en onverwachte resultaten. Hieronder twee voorbeelden van de analyse voor verschillende trajecten. Alle langsfiguren zijn terug te vinden in bijlage D.1.

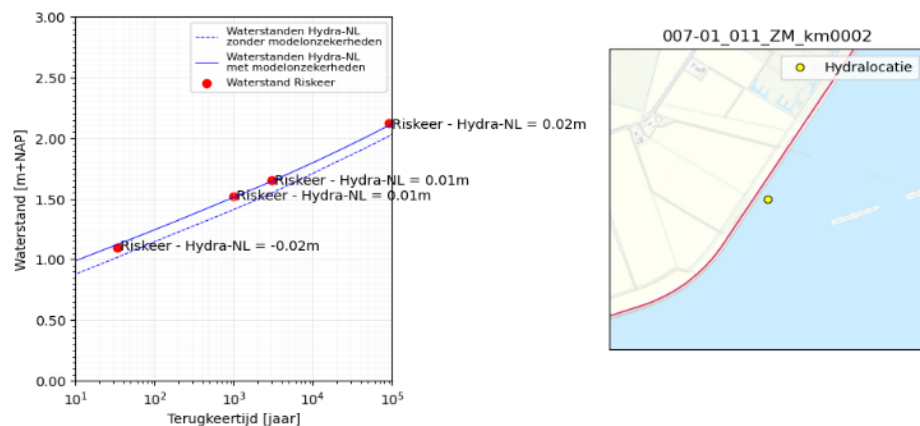
Normtraject 7-1

Figuur 45 toont een langsfiguur van de waterstanden langs normtraject 7-1 (noordzijde Zwarte Meer). Het volgnummer is het nummer dat in de naamgeving van de locaties terugkomt, locatie 1 ligt het meest bovenstrooms, locatie 76 ligt bij de Ramspolkering. De gekleurde lijnen representeren verschillende terugkeertijden, de doorgetrokken lijn de resultaten van Hydra-NL en de gestreepte lijn de Riskeerresultaten. Figuur 45 toont een constant verloop in de waterstanden en weinig verschillen tussen Hydra-NL en Riskeer, de resultaten lijken dus betrouwbaar en valide. De frequentielijnen in Figuur 46 en Figuur 47 ondersteunen deze conclusie, de frequentielijnen tonen een realistisch verloop en de Riskeer en Hydra-NL resultaten verschillen nauwelijks.

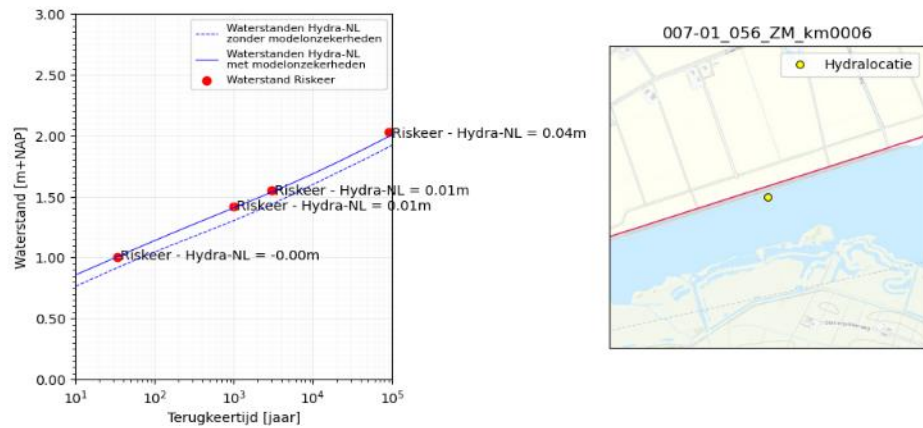
*Figuur 45
Langsfiguur met
waterstanden
normtraject 7-1*



*Figuur 46
Frequentielijn locatie
007-
01_011_ZM_km000
2*



Figuur 47
Frequentielijn locatie
007-
01_056_ZM_km000
2



Normtraject 225

Figuur 48 toont de waterstanden langs normtraject 225. Locatie 1 ligt bovenstrooms bij de Ganzensluis, locatie 98 ligt benedenstrooms bij de Ramspolkering.

Normtraject 225 toont verschillende dingen:

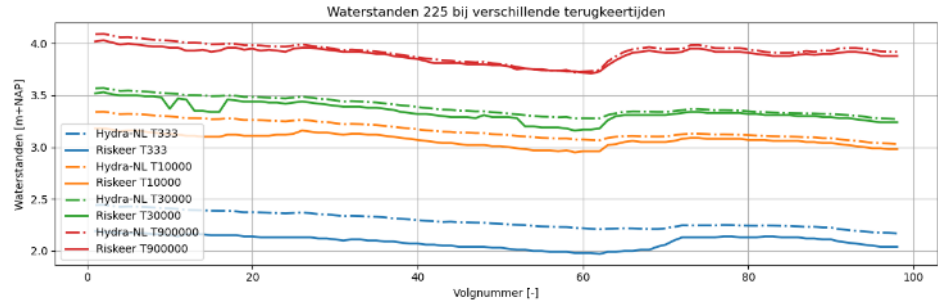
- Benedenstroom (locaties 70 t/m 98) komen Riskeer en Hydra-NL behoorlijk goed overeen, met een iets groter verschil bij de lage terugkeertijden (zie ook Figuur 49);
- Bovenstroom is het verloop van Riskeer grillig, het vertoont onverwacht sprongen in de waterstanden tussen verschillende locaties. Hydra-NL geeft wel een constant beeld. De verschillen zijn wederom groter bij kleine terugkeertijden (zie ook Figuur 50);
- De frequentielijnen uit Hydra-NL vertonen wel een vloeiend toenemend patroon, de orde grootte van deze resultaten komt ook overeen met de resultaten uit de studie naar de Roggebotsluis [Stijnen et al., 2019].

Bovenstaande observaties wijzen erop dat de oorzaak voor deze verschillen bij de Riskeerresultaten ligt. Na overleg en onderzoek door Deltares is gebleken dat de onverwachte verschillen zijn veroorzaakt door het PCR-model in Hydra-Ring (Riskeer). Het PCR-model is het correlatiemodel in Riskeer dat de correlatie tussen afvoer en meerpeil beschrijft. Het uitzetten van dit PCR-model zorgt dat de sprongen in de waterstanden verdwijnen en het verschil tussen Hydra-NL en Riskeer kleiner wordt. Het probleem met het PCR-model ontstaat doordat twee verschillende belastingscenario's (storm of hoge afvoer) maatgevend kunnen zijn in de VIJD, dit betekent dat er twee lokale maxima zijn in de numerieke analyse. Op dit moment gaat het PCR-model daar in de VIJD niet goed mee om.

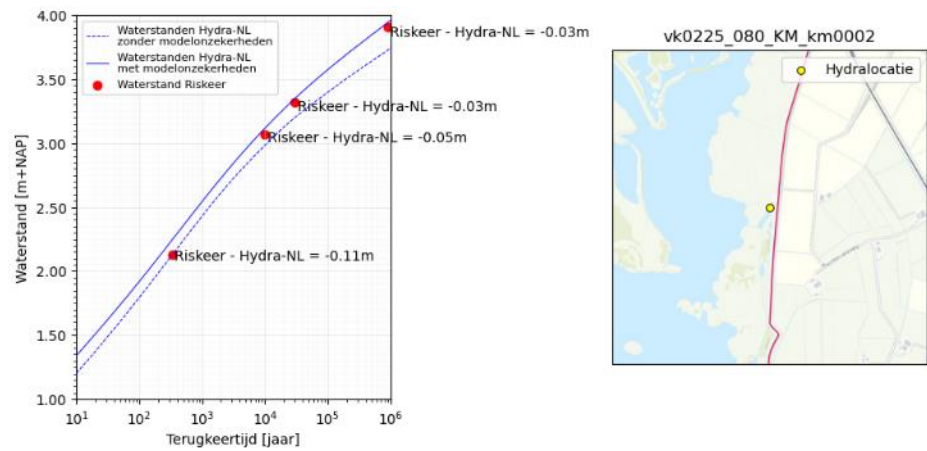
Dezelfde sprongen in de waterstanden zijn geobserveerd bij de analyses van normtrajecten 8-4, 10-2, 10-3, 11-1 en 11-2. Voor al deze normtrajecten zetten we het PCR-model uit, wanneer het PCR-model onderzocht en verbeterd is, is het mogelijk de toepassing van het PCR-model weer aan te zetten.

Het uitzetten van het PCR-model zorgt dat de resultaten van Riskeer dichter bij de Hydra-NL resultaten komen te liggen en zorgen dat de variatie uit het langfiguur verdwijnt (zie Figuur 51). Het uitzetten van het PCR-model is pas na de externe controles gedaan.

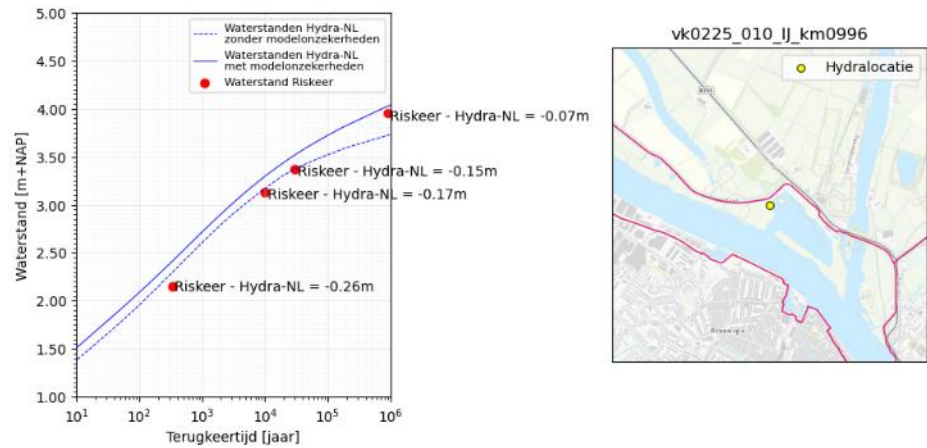
*Figuur 48
Langfiguur met
waterstanden
normtraject 225*



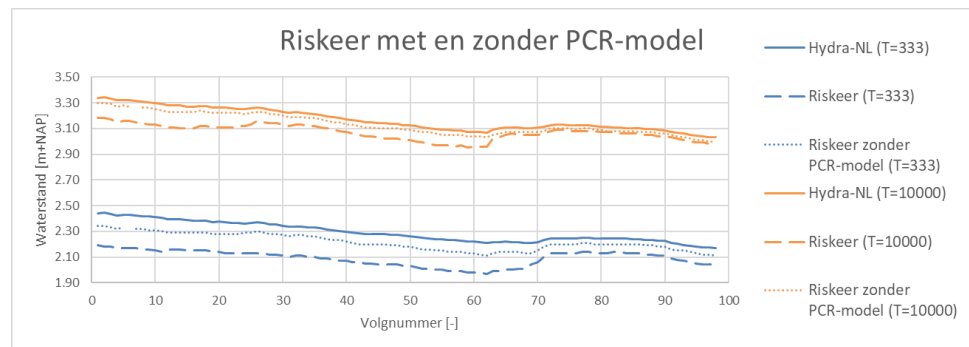
*Figuur 49
Frequentielijn locatie
vk0225_080_KM_km
0002*



*Figuur 50
Frequentielijn locatie
vk0225_010_IJ_km0
996*



*Figuur 51
Effect van het
uitzetten van het
PCR-model voor
normtraject 225*



6.1.3

Golven

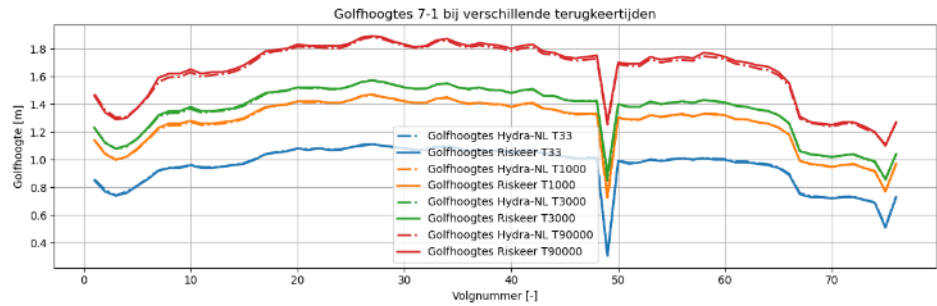
De controle van de golven werkt ook met langsfiguren en frequentielijnen. De golfresultaten vertonen meer ruimtelijke variatie omdat golven gevoeliger zijn voor de lokale omstandigheden, ligt een locatie beschut, dan is de golfhoogte lager. De vergelijking maken we wederom voor trajecten 7-1 en 225. Meer langsfiguren zijn terug te vinden in bijlage D.2.

Normtraject 7-1

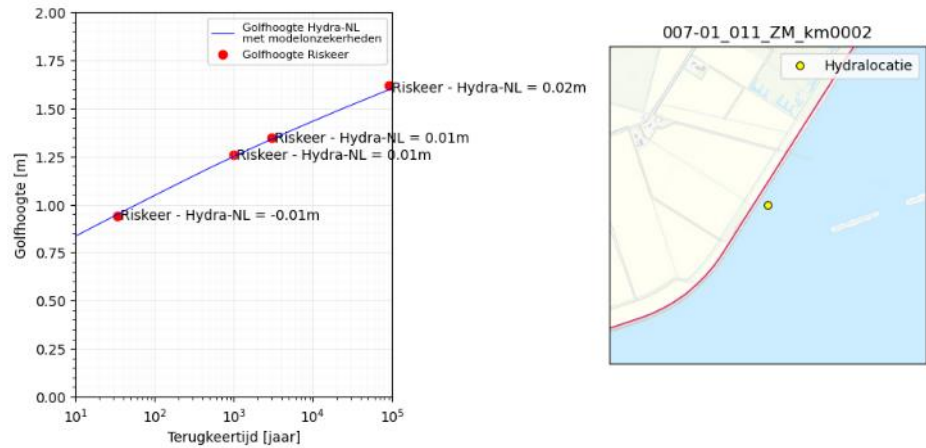
Figuur 52 toont de golfhoogtes langs normtraject 7-1. De verschillende kleuren tonen verschillende terugkeertijden. De doorgetrokken lijn toont Hydra-NL resultaten en de gestreepte lijn toont Riskeer resultaten. De volgende zaken vallen op in Figuur 52:

- Op locatie 49 is een dip in de golfhoogte aanwezig. Dit is een onverwacht resultaat. Op deze locatie is een aanlegkade aanwezig, waardoor droogval hier vaker voorkomt dan bij de omliggende locaties. Daarom is deze locatie niet verwijderd na de interne controle. De externe controle heeft deze locatie aangemerkt als onrealistisch. Na de externe controle is deze locatie wel verwijderd en zijn alle trajecten nog eens nagelopen op onrealistische golfhoogtes;
- Figuur 54 toont de locatie met de lage golfhoogtes, het kaartje toont dat op deze locatie een kleine uitstulping langs de oever ligt. Deze uitstulping zorgt voor droogval wat lagere golfhoogtes veroorzaakt.
- De golfhoogtes in het midden van het traject zijn hoger dan aan de randen. Dit heeft twee oorzaken aan de bovenstroomse zijde ligt de oriëntatie van normtraject 225 meer op het oosten. Harde wind en dus hoge golven uit het oosten komen minder vaak voor dan zuidelijke of westelijke richtingen. De locaties het meest benedenstrooms (60 t/m 76) liggen dicht bij de Ramspolkering, hierdoor liggen deze locaties meer beschut.

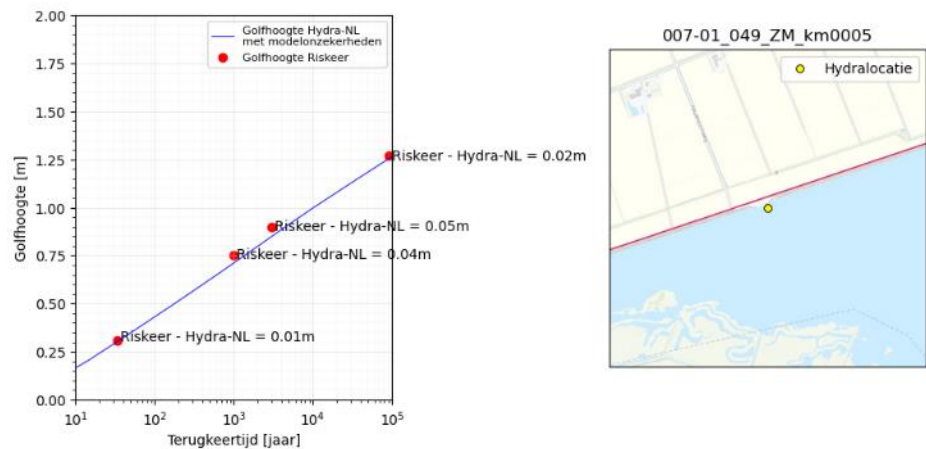
Figuur 52
Langsfiguur met
golfhoogtes
normtraject 7-1



Figuur 53
Frequentielijn locatie
007-
01_011_ZM_km000
2



Figuur 54
Frequentielijn locatie
007-
01_049_ZM_km000
5



Normtraject 225

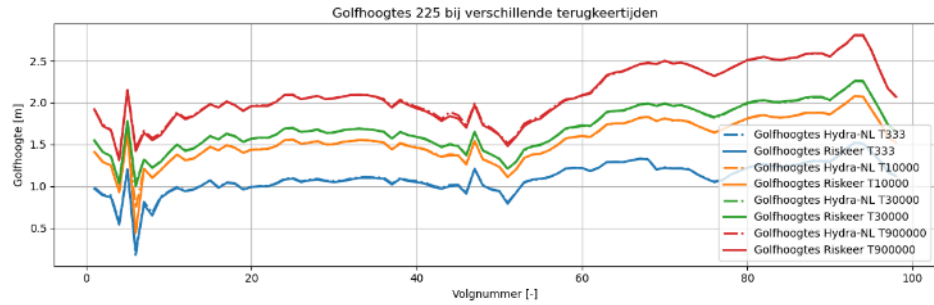
Figuur 55 toont de golfhoogtes langs normtraject 225. Figuur 56 en Figuur 57 tonen frequentielijnen van individuele locaties. De volgende zaken vallen op:

- De verschillen tussen Hydra-NL en Riskeer zijn minimaal, de verschillen in de waterstanden werken niet door in de golfhoogtes.
- Van locatie 5 tot en met 10 varieert de golfhoogte sterk. Dit komt door de ligging van deze locaties (Figuur 58), door de aanwezigheid grondlichamen en de variërende oriëntatie is het verklaarbaar dat de golfhoogte sterk locatie afhankelijk is.
- Ook op locatie 47 is de golfhoogte plotseling hoger, dit komt doordat deze locatie meer op de IJssel ligt dan de omliggende locaties (Figuur 59),

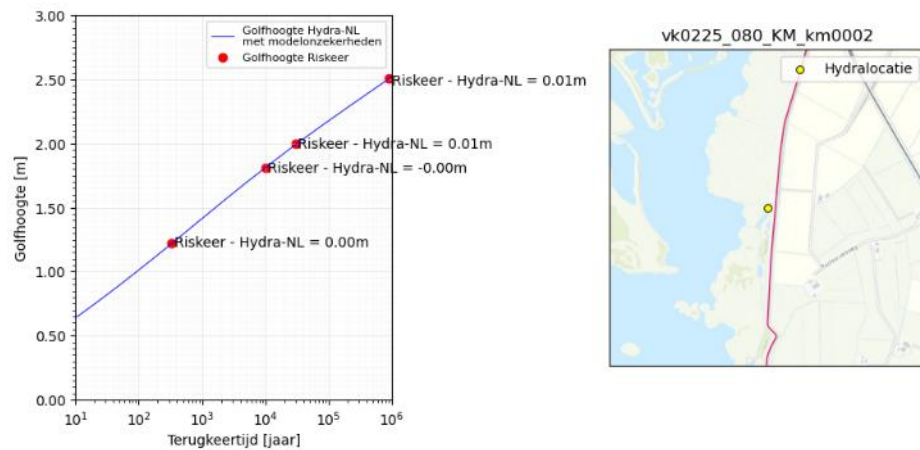
hierdoor komt droogval minder vaak voor en is de golfhoogte minder vaak 0 dan in de omliggende locaties. Dit zorgt voor een golfhoogte die ongeveer 20 centimeter hoger ligt dan de omliggende locaties.

- De golfhoogtes aan de meest benedenstroomse zijde van het normtraject (locatie 65 en verder) liggen hoger. Dit komt omdat deze locaties op het Ketelmeer liggen en de strijklengtes hier groter zijn dan op de IJssel.

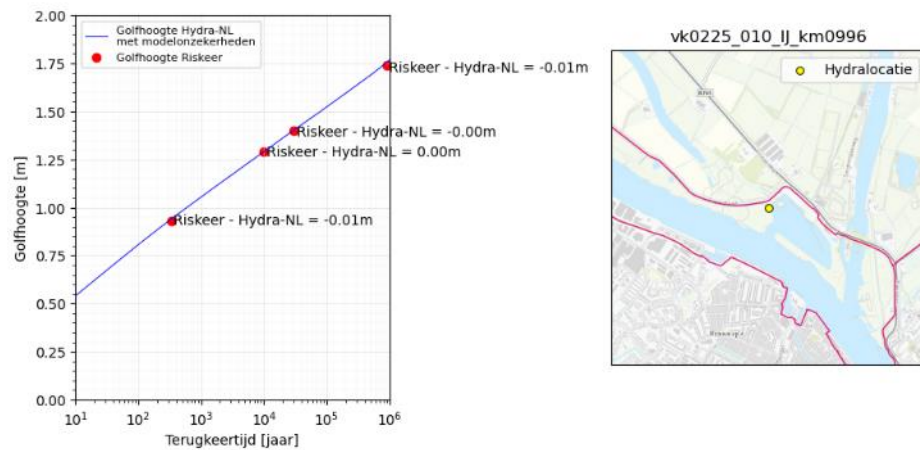
*Figuur 55
Langsfiguur
golfhoogtes
normtraject 225*



*Figuur 56
Frequentielijn locatie
vk0225_080_KM_km
0002*



*Figuur 57
Frequentielijn locatie
vk0225_010_IJ_km0
996*



*Figuur 58
Ligging locaties 5
t/m 10 van
normtraject 225*



*Figuur 59
Ligging locatie
vk0225_047_IJ_km1
000*



6.2

Aanpassingen naar aanleiding van interne controles

Naar aanleiding van de interne controles is een aantal locaties verwijderd uit de databases en is het PCR-model uitgezet voor verschillende normtrajecten. Een overzicht van alle aanpassingen naar aanleiding van de interne controles is te zien in Tabel 15.

*Tabel 15
Wijzigingen naar
aanleiding van de
interne controles*

Nr.	Traject	Resultaat	Verwerking
1	10-1	Locaties achter kering	Locaties verwijderd
2	52a-1	Locatie op hoogwatervrij terrein 52a-01_073_IJ_km0968	Locatie 01_073_IJ_km0968 verwijderd
3	225	PCR-model veroorzaakt verschillen tussen Riskeer en Hydra-NL	PCR-model uitgezet voor dit traject
4	11-1	PCR-model veroorzaakt verschillen tussen Riskeer en Hydra-NL	PCR-model uitgezet voor dit traject

Nr.	Traject	Resultaat	Verwerking
5	11-2	PCR-model veroorzaakt verschillen tussen Riskeer en Hydra-NL	PCR-model uitgezet voor dit traject
6	10-2	PCR-model veroorzaakt verschillen tussen Riskeer en Hydra-NL	PCR-model uitgezet voor dit traject
7	10-3	PCR-model veroorzaakt verschillen tussen Riskeer en Hydra-NL	PCR-model uitgezet voor dit traject
8	8-4	PCR-model veroorzaakt verschillen tussen Riskeer en Hydra-NL	PCR-model uitgezet voor dit traject

6.3 Externe controles

Na de interne controles zijn alle databases gecontroleerd door Arcadis [Benit, 2020]. In deze controles zijn voor alle locaties berekeningen gemaakt. De resultaten van de externe controles staan in de derde kolom van Tabel 23 en Tabel 24 in bijlage D. Alle resultaten van de controles van Arcadis zijn verwerkt in de definitieve databases. Hoe de resultaten van de externe controles zijn verwerkt staat in de vierde kolom van Tabel 23 en Tabel 24.

Paragraaf 6.4 gaat verder in hoe de verschillende resultaten uit de externe controles zijn verwerkt.

6.4 Aanpassingen naar aanleiding van externe controles

De externe controles van de reguliere normtraject-databases geven 52 observaties over locaties en resultaten met de databases. Deze resultaten zijn allemaal verwerkt of weerlegd voor de definitieve databases. De opmerkingen zijn onder te verdelen in de volgende vier categorieën:

- Rare ligging van locaties, zowel de locatie als de nummering kan hier een rol spelen
- Sprong in golfhoogte
- Grote verschillen tussen Hydra-NL en Riskeer
- Geen Hs of HBN uitgerekend

In deze paragraaf staat voor elke categorie een voorbeeld en de uitgevoerde oplossing.

6.4.1 Rare ligging locaties

De externe controles toonden aan dat:

- Meerdere locaties op dezelfde plek lagen
- Nummering en naamgeving niet altijd logisch verliep

- Locaties niet altijd op dezelfde afstand van de kering liggen.

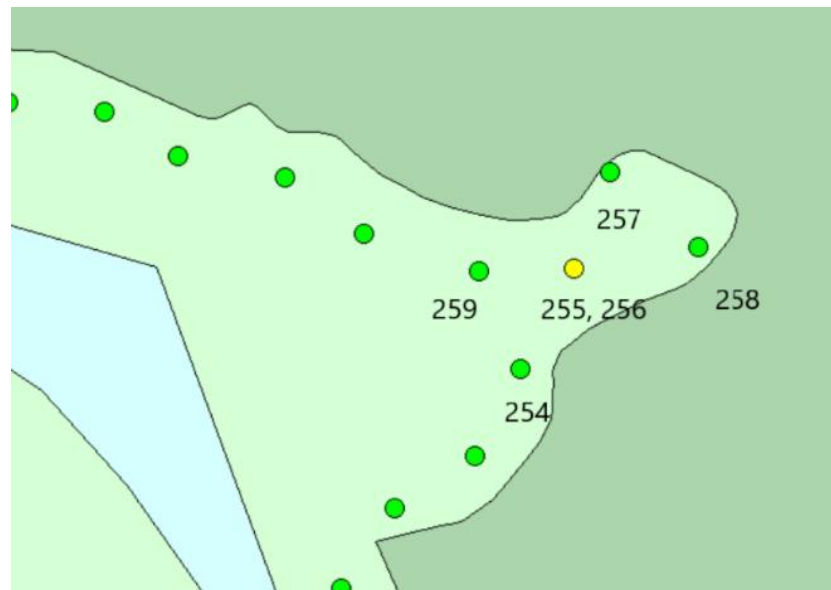
Hieronder enkele voorbeelden van hoe deze opmerkingen zijn verwerkt.

- Figuur 60 laat zien dat de nummering van de locaties niet logisch is en dat locatie 255 dezelfde coördinaten heeft als locatie 256. Dit is opgelost in de definitieve database door locatie 256 te verwijderen en 257 en 258 om te wisselen.
- Figuur 61 toont een rare locatieligging, de afstand tussen locaties 079 en 080 is erg groot. Dit komt doordat de tussenliggende locatie in de WAQUA-berekening op een hoogwatervrij terrein ligt en geen waterstandsuitvoer heeft. Voor de observatie is geen aanpassing gedaan aan de database.

*Figuur 60
Rare locatievolgorde
en locatie met
gelijke coördinaten
in normtraject 9-1*

*Boven: observatie
uit [Benit, 2020]*

*Onder:
Locatieligging
definitieve
databases*



*Figuur 61
Voorbeeld van rare
locatieligging in
normtraject 11-2
[Benit, 2020]*



6.4.2

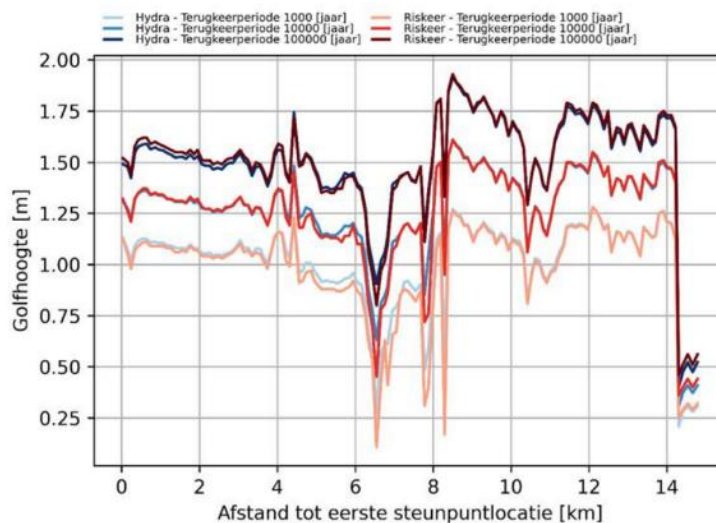
Sprong in golfhoogte

Voor meerdere locaties is in de externe controle een grote sprong in golfhoogtes gevonden. Al deze locaties zijn nader geanalyseerd en op basis van de analyse is de locatie al dan niet verwijderd.

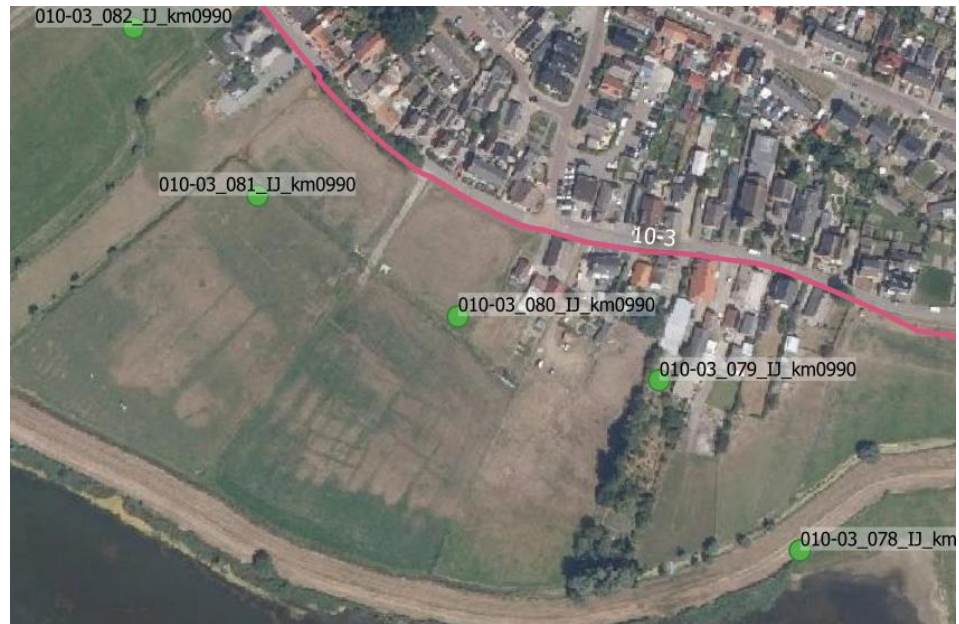
Figuur 62 toont voor drie locaties een sprong omlaag in de golfhoogte. Het gaat om locaties 010-03_067_IJ_km0987 (rond km 6,5), 010-03_079_IJ_km0990 en 010-03_080_IJ_km0990 (rond km 8). Voor locatie 067 is geen directe oorzaak gevonden in de ligging van de locatie, daarom is deze locatie verwijderd. Locaties 079 en 080 liggen achter een zomerdijk (Figuur 63), deze zomerdijk dempt de golven en daarom is het logisch dat juist deze twee locatie lagere golfhoogtes hebben.

Figuur 62 toont een derde piek omlaag. Dit gaat om locatie 084 (iets boven km 8), deze locatie ligt op hogere grond en staat hierdoor regelmatig droog. Droogval betekent in de database dat de golfhoogte 0 is. Dit zie je terug in de resulterende golfhoogtes in de probabilistische berekeningen

*Figuur 62
Sprong in
golfhoogte,
normtraject 10-3,
[Benit, 2020]*



*Figuur 63
Ligging locaties 010-03_079_IJ_km0990 en 010-03_080_IJ_km0990*



6.4.3 Grote verschillen tussen Hydra-NL en Riskeer

Voor verschillende trajecten is aangegeven dat er grote verschillen optreden tussen Hydra-NL en Riskeer. Dit is ook tijdens de interne controle opgevallen en is opgelost door het PCR-model uit te zetten. In de databases uitgeleverd voor de externe controle stond het PCR-model nog aan. Deze observaties zijn dus opgelost door het PCR-model uit te zetten.

6.4.4 Geen Hs of HBN berekend

Voor verschillende locaties is het niet gelukt om HBN's of golfhoogtes te berekenen in Riskeer. Deze observaties zijn nagegaan op basis van de eigen berekeningen. Wanneer de fout gereproduceerd kon worden is de locatie verwijderd, als de resulterende golfhoogte 0 was is de locatie behouden. Een golfhoogte van 0 betekent dat de locatie droog staat.

6.5 Specialistische databases

De controles van de specialistische databases is vergelijkbaar met de controles van de reguliere databases. Het doel van de databases is een extra controle mogelijk te maken in de toekomst als de Hydraulische Belastingen worden geüpdatet. Het belangrijkste verschil is dat de specialistische databases niet in Riskeer gebruikt kunnen worden.

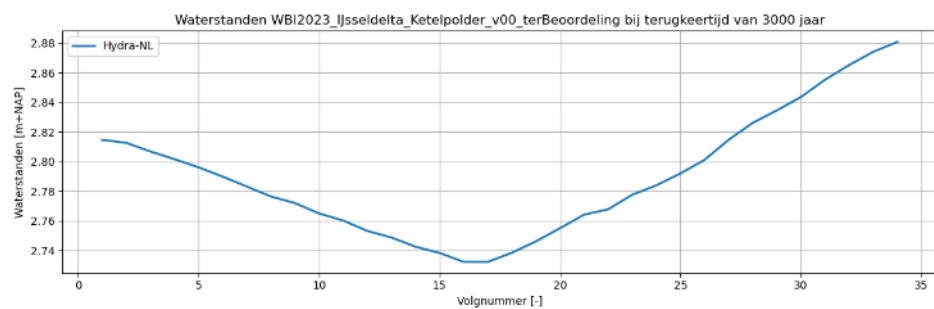
6.5.1

Waterstandsfiguren

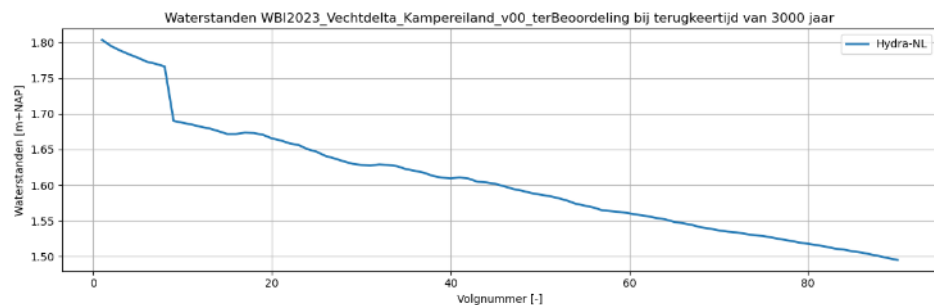
Figuur 64 en Figuur 65 tonen waterstandsverlopen langs de Ketelpolder en langs de noordzijde van het Kampereiland. Beide figuren vertonen verwachte realistische resultaten:

- Figuur 64 toont een verloop dat eerst daalt en vervolgens weer toeneemt. Dit komt overeen met het verloop van het traject, beginnend aan de bovenstroomse kant op de IJssel daalt de waterstand tot de monding van de IJssel en het Vossemeer is bereikt. Vanaf dat punt gaat de locaties stroomopwaarts het Vossemeer op en nemen de waterstanden weer toe.
- Figuur 65 toont een dalend verloop langs het Kampereiland. Het meest bovenstrooms is de waterstand het hoogst en deze neemt gelijkmatig af naar benedenstrooms.

*Figuur 64
Langsverloop van de
waterstanden voor
de Ketelpolder*



*Figuur 65
Langsfiguur
waterstanden
Kampereiland*



6.5.2

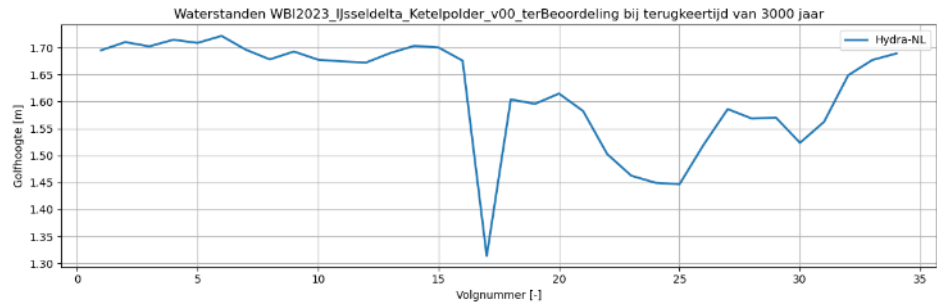
Golffiguren

Ook de langsfiguren voor de golven (Figuur 66 en Figuur 67) vertonen realistische uitkomsten. De volgende dingen vallen op:

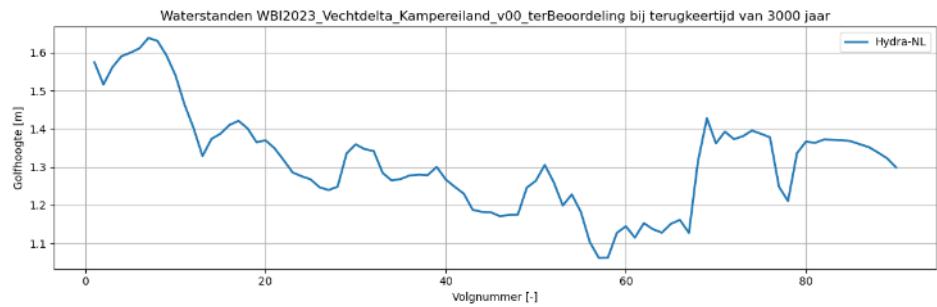
- Locatie 17 van de Ketelpolder heeft een veel lagere golfhoogte. Dit is te verklaren door de ligging van deze locatie, deze locatie ligt op hoger gelegen terrein dan de omliggende punten en staat hierdoor vaak droog (Figuur 68).
- De golfhoogtes op de locaties 18 t/m 34 liggen lager dan de overige punten. Dit komt doordat deze locaties aan de zuidkant van de Ketelpolder liggen. Een westerstorm heeft hier minder invloed.
- De golfhoogtes langs het Kampereiland (Figuur 67) vertonen geen onverwachte resultaten. De golfhoogte varieert tussen 1.05 en 1.65 meter, dit is geen onrealistische variatie aangezien de beschutting,

bodemhoogte en oriëntatie van de dijk sterk variëren langs de noordkant van het Kampereiland.

*Figuur 66
Langsfiguur golven
Ketelpolder*



*Figuur 67
Langsfiguur golven
noordzijde
Kampereiland*



*Figuur 68
Locatie
VM_0017_km0007
ligt hoger dan de
omliggende punten*



6.5.3

Externe controle

Ook de specialistische databases zijn extern gecontroleerd. De uitkomsten van de controles zijn samengevat in Tabel 24 in bijlage D. Op basis van de externe controles door Arcadis (Benit et al, 2020) zijn vier locaties verwijderd uit de as-databases, dit waren dubbele locaties met dezelfde coördinaten.

7

Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Databases

De volgende databases zijn gemaakt, getest, aangepast en opgeleverd. De normtraject databases zijn opgeleverd voor zowel Hydra-NL als Riskeer, de specialistische databases enkel voor Hydra-NL.

Tabel 16
Reguliere
normtraject
databases

Normtraject	Normtraject	Normtraject	Normtraject
7-1	10-2	52-4	206
8-4	10-3	52a-1	225
9-1	11-1	53-2	227
9-2	11-2	53-3	
10-1	52-3	202	

Tabel 17
Overige
specialistische
databases

Traject	Traject
Aslocaties IJssel en Reevediep	IJsselooog
Aslocaties Vecht en Kampereiland	Ketelpolder
Aslocaties Veessen Wapenveld	Dijken Kampereiland
Hoekpunten + midden IJsselmeer	Vogeleiland

Locaties

In de databases hebben alle locaties een nieuwe locatiennaam en locationid gekregen. Deze nieuwe namen hebben een vaste opbouw, die leidt tot unieke locatienamen die eenvoudig te traceren zijn.

Waterstanden

Het creëren van een volledige waterstandset vergt diverse bewerkingen op de data. De waterstanden zijn hoofdzakelijk afkomstig van de oeverlocaties, maar in het geval van droogval kunnen dit ook waterstanden van de back-up- of aslocaties zijn. Daarnaast is rekening gehouden met afwaaiing en zijn onregelmatigheden uit de dataset gefilterd. Deze bewerkingstappen leiden tot consistente waterstanden en betrouwbare datasets voor toepassing binnen het WBI en OI. Het filteren van de data verwijdert individuele uitschieters en past de onregelmatige verlopen bij "bakjes" aan via lineaire interpolatie tussen omliggende locaties. Het filter geeft in die gevallen wat hogere waterstanden dan gesimuleerd en is daarmee een veilige benadering.

De nabewerkingsstappen zijn traceerbaar doordat na iedere stap een csv-bestand met de resulterende data beschikbaar is. Hiermee kunnen de getallen in de database teruggeleid worden naar specifieke WAQUA-berekeningen.

Golven

De golven in de databases hebben drie verschillende bronnen, twee verschillende SWAN-modellen en de formules van Bretschneider. Alle SWAN-uitvoerlocaties zijn gecontroleerd om stabiliteit en betrouwbaarheid. Alle SWAN-berekeningen zijn goed verlopen en het overgrote deel van de uitvoerlocaties is betrouwbaar.

Door de verschillende gegevensbronnen slim te combineren is voor elke locatie een bruikbare golvenset gecreëerd. De SWAN-resultaten met vlakke waterspiegels komen goed overeen met de resultaten van schuine waterspiegels.

Controles

Zowel de interne als de externe controles laten zien dat de databases goed functioneren. Ondanks interne controles tonen ook de externe controles nog verschillende verbeterpunten aan, deze verbeterpunten zijn meegenomen en aangepast in de databases.

7.2 Aanbevelingen

Uit voorliggende rapportage zijn verschillende aandachtspunten en aanbevelingen naar voren gekomen, hieronder staan de aanbevelingen samengevat:

- De externe controles dragen enorm bij aan de kwaliteit en de consistentie van de databases. Het is aan te raden in toekomstige database-projecten eenzelfde structuur met externe controles op te zetten.
- Onderzoek de werking van het PCR-model in Hydra-Ring/Riskeer. De toepassing van dit model zorgt voor onverwachte resultaten en is daarom in meerdere databases uitgeschakeld. Het is echter niet uit te sluiten dat hetzelfde probleem optreedt bij WBI2017-databases van andere trajecten.
- De bovenranden van het VIJD-model liggen bij Olst en Dalfsen. In situaties met flinke wind en een lage afvoer speelt de windinvloed door tot Olst, hiermee beïnvloedt de modelrand de uitkomsten van het model. Een vervolgstudie naar de gevolgen van deze modelrand is aan te raden.
- De SWAN-berekeningen met vlakke waterspiegels vertonen heel vergelijkbare resultaten als de berekeningen met variërende waterstandsvelden. Minder locaties worden afgekeurd en het aantal benodigde berekeningen is een factor 5 tot 10 kleiner. Het is aan te bevelen om te onderzoeken of vlakke waterspiegels ook voor andere watersystemen bruikbaar zijn.
- In dit project is de koppeling tussen as-, back-up- en oeverlocatie gebaseerd op kortste afstand tussen de locaties. Idealiter wordt deze

koppeling uitgevoerd op basis van "isolijnen met een gelijke waterstand". Dit is met name mogelijk in de bovenrivieren, waar de waterstanden hoofdzakelijk door het afvoerniveau worden bepaald. Bij RWS zijn voor sommige riviertakken betrekkinglijnen beschikbaar die hiervoor gebruikt zouden kunnen worden. Deze actie vergt een extra inspanning, maar zal naar verwachting leiden tot een nauwkeurigere database.

- Zorg voor zinvolle locaties bij elke normtraject. Op een aantal plekken liggen de oever en/of back-up locaties op hoogwatervrije terreinen. We raden aan ervoor te zorgen dat dit in de toekomst niet meer het geval is.
- Waterstanden in de databases kunnen verschillende bronnen hebben. De waterstand kan afkomstig zijn van: verschillende locaties, verschillende uitvoerparameters ("max13", "last25", of "maximum"), of interpolatie. Op dit moment zijn hiervoor codes per locatie en per belastingcombinatie beschikbaar in een csv-bestand per normtraject. Dit vergroot de traceerbaarheid van de hydraulische belastingen. Het is te overwegen om deze codes ook toe te voegen aan de sqlite-databases. Deze csv-bestanden moeten bij de databases bewaard worden om te zorgen dat de traceerbaarheid altijd bij de database terug te vinden is. Op dezelfde bewaarlocatie is het aanbevolen om een heldere verwijzing naar de brondata op te nemen. In het geval van deze studie is de brondata opgeslagen op het NWM.
- Door het gebruik van waterstanden van terugvallocaties bij de oever staan waterstanden in de databases die lager zijn dan de lokale bodemhoogte. Controleer bij het bepalen van de faalkans of waterstanden lager dan de bodemhoogte bijdragen aan de faalkans. Als dit zo is wordt de faalkans overschat.
- Het toepassen van filtering op de langsfiguren van de waterstanden leidt tot verhogingen van waterstanden. Deze verhogingen kunnen doorwerken in hydraulische belastingen bij lage waterstanden. De huidige filtermethode pragmatisch gekozen en nog niet geoptimaliseerd. Een uitgebreidere analyse naar mogelijke filtermethodes en de gevolgen daarvan helpt om in de toekomst beter onderbouwde keuzes rondom de filtering te maken.
- In dit project zijn de oeverlocaties van de nevengeul Veessen-Wapenveld op normtrajecten 52a-1 en 52-3 gekoppeld aan as-locaties van de IJssel. De complexiteit en de combinatie met wind in dit bovenrivierengebied is tot op heden onvoldoende onderzocht om volledige vertrouwen te hebben in de resultaten. Daarnaast zijn de resultaten op deze trajecten mogelijk beïnvloed door randeffecten in het model. Dit laatste geldt ook voor normtraject 52-4 en gedeeltelijk voor normtraject 53-2. Voor de volledigheid zijn databases voor deze trajecten gevuld, maar we raden aan om deze databases alleen te gebruiken voor onderzoeksdoeleinden.

- Een andere mogelijkheid voor traject 52a-1 is om een geografische knip te leggen tussen de locaties in de IJssel en in de hoogwatergeul. Op basis van die knip kunnen locaties in de IJssel gevuld worden met een andere methode dan die in de hoogwatergeul.
- Trajecten 52a-1 en 52-3 vallen nu terug naar de rivier-as wanneer deze droogvallen. Dit geldt zowel bij afvoeren hoger als lager dan 2300 m³/s. Wanneer de afvoer hoger is dan 2300 m³/s is de nevengeul watervoerend en is het beter om terug te vallen naar de as van de nevengeul. Een mogelijke verbetering voor deze trajecten zou dus zijn om bij hogere afvoeren in eerste instantie terug te vallen naar de as van de nevengeul en pas daarna terug te vallen naar de as van de rivier.
- In de golven op basis van de formules van Bretschneider is de winddragafkapping indirect meegenomen. Dit is voor nu de best mogelijke benadering, maar voor BOI is het aan te raden nader onderzoek te doen naar een golfformulering voor de bovenrivieren die winddragafkapping in beschouwing neemt. Een methode hiervoor is het toepassen van SWAN in het bovenrivierengebied.

8 Referenties

Bottema, 2018

Advies wind Vecht IJssel delta en verrekening dragaftopping. Marcel Bottema RWS-WVL memorandum. 12 februari 2018.

Botterhuis et al., 2016

Hydraulische Belastingen Vecht- en IJsseldelta, Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017 .Ton Botterhuis, Joost den Bieman en Houcine Chbab, juni 2016

Botterhuis et al., 2020

Voorstel naamgeving locaties voor BOI. Ton Botterhuis, Jan Stijnen, Hans de Waal, Karolina Wojciechowska, Jacco Groeneweg, Peter van de Bosch, Matthijs Benit, Robert Slomp. In opdracht van RWS-WVL. HKV-memorandum PR4248.10, Lelystad augustus 2020.

Benit, 2020

Bevindingen testen databases IJssel-Vecht. Matthijs Benit. In opdracht van RWS-WVL. Arcadis rapport D10021180:9. Zwolle, 18 december 2020.

Boersen 2020

SWAN sommen open Kering Zwarte Meer Kampereiland. Stef Boersen. In opdracht van HKV lijn in water. RHDHV-rapport H5468WATRP2010070956. 13 oktober 2020.

Daggenvoorde, 2020

Bespreekverslag overleg modelonzekerheden Vecht-IJsseldelta. Roy Daggenvoorde. In opdracht van RWS-WVL, HKV-bespreekverslag PR4280.10, Lelystad juni 2020.

Duits, 2018

Invloed correctie onjuistheden golfparameters in WBI2017-databases. M.T. Duits. In opdracht van RWS-WVL, HKV-rapport PR3919.10, Lelystad, november 2018.

Duits, 2019

Hydra-NL gebruikershandleiding versie 2.7. Matthijs Duits. In opdracht van RWS-WVL. HKV-rapport PR4022.10, september 2019.

Duits, 2020

Hydra-NL met correlatie tussen modelonzekerheden golfhoogte en – periode. Matthijs Duits. In opdracht van Wetterskip Fryslân. HKV-memorandum PR4163.10, februari 2020.

Klein en Boersen, 2018

SWAN-berekeningen Reevediep. M. Klein en S. Boersen. In opdracht van provincie Flevoland. HKV/RHDHV-rapportage PR3871/BE7380, november 2018.

Klein en Westra, 2016

SWAN productieberekeningen IJssel-Vechtdelta – WBI2017. M.D. Klein en M. Westra. In opdracht van RWS-WVL. Deltares rapport 1220082-001-HYE-0017, juni 2016.

Geerse, 2018

Adviezen voor verbetering onzekerheidsmodellering golven WBI2017 – Schattingsmethodes voor twee multiplicatieve modellen [HKV-rapport PR3919.10]. Chris Geerse. HKV Lijn in Water, november 2018.

Groeneweg, 2018

Inconsistentie in modelonzekerheden golfcondities. Jacco Groeneweg. Deltares memo 11202225-004-0001, 11 september 2018.

Paarlberg en Kater, 2018

Reevediep fase 2 - Optimalisatie inlaatdrempel en verkenning systeemwerking. A. Paarlberg (HKV) en E. Kater (RWS-ON). In opdracht van RWS-ON. HKV-rapport, PR3638.10, juni 2018.

RWS-ON, 2010

Betrekkinglijnen Rijn. RWS Oost-Nederland, Rolf van der Veen. versie 2010, 14-7-2010

Smale, 2018

Correlation between model uncertainties wave height and wave period. . A. Smale. Deltares memo 11202225-003-GEO-0001.

Stijnen et al., 2018.

Proefproductieberekeningen IJVD met het Nationaal Watermodel. Jan Stijnen, Roy Daggenvoorde en Andries Paarlberg. In opdracht van RWS-WVL. HKV-rapport PR3707.10, juni 2018.

Stijnen et al., 2019a.

Databases Vecht-IJsseldelta – Nationaal Water Model. J.W. Stijnen, A van Hove en R.J. Daggenvoorde. In opdracht van RWS-WVL. HKV-rapport PR4108.10, november 2019.

Stijnen et al., 2019b.

Amoveren Roggebotsluis; Waterveiligheid in de IJsseldelta (status: concept). J.W. Stijnen, R. Daggenvoorde, J. ter Hoeven (RHDHV). In opdracht van provincie Flevoland. HKV/RHDHV-rapport PR3871.10, Lelystad, september 2019.

Strijker en Geerse, 2020

Model uncertainty in the Vecht delta – Estimation of water level uncertainty substantiated with physical calculations. Bart Strijker en Chris Geerse. In opdracht van RWS-WVL. HKV-rapport PR4049.10, februari 2020.

Van den Bosch, 2020

Email van Peter van den Bosch over het testprotocol van Deltares. Juni 2020.

Van Vledder, 2017

Stappenplan aanpassing hydraulische Randvoorwaarden op basis van nieuwe inzichten winddrag. G. van Vledder, Van Vledder Consulting, 2017.

Wegman, 2020

Controle SWAN-berekeningen Reevediep. Carolien Wegman. HKV-memo PR4280.10. 30 juni 2020.

Bijlagen

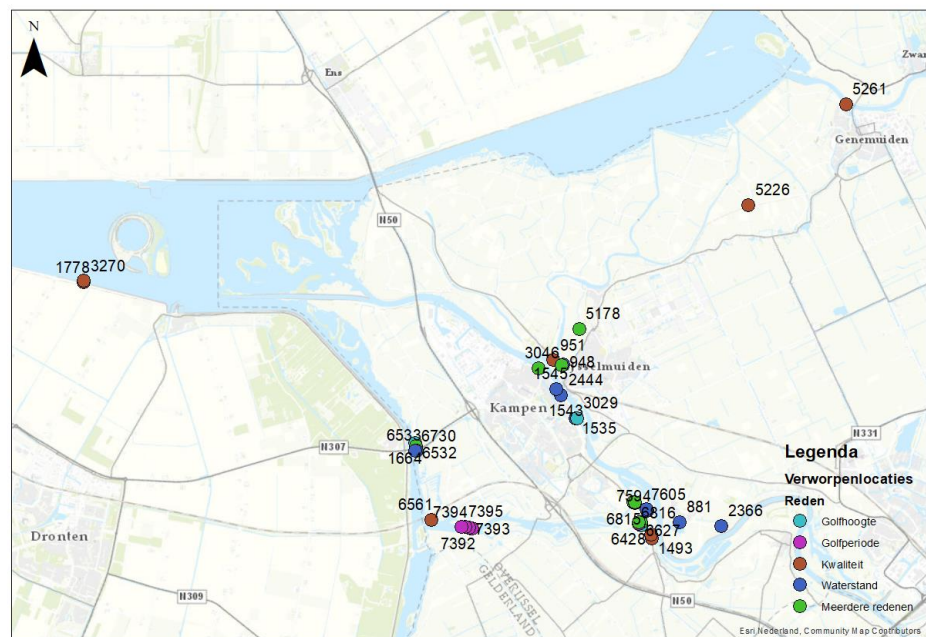
A Afgekeurde golflocaties Waterstandsvelden

Hieronder staat de conclusie van [Wegman, 2020], voor de gehele kwaliteitscontrole verwijzen we door naar het memorandum.

Op basis van de kwaliteitscontroles in dit memo concluderen we dat het overgrote deel van de uitvoerlocaties fysisch realistische uitkomsten heeft. Een vijftal controles is uitgevoerd op alle uitvoerlocaties.

Een aantal locaties is op meerdere criteria afgekeurd In totaal zijn 37 locaties verworpen. Figuur 69 geeft een ruimtelijk beeld van de afgekeurde locaties.

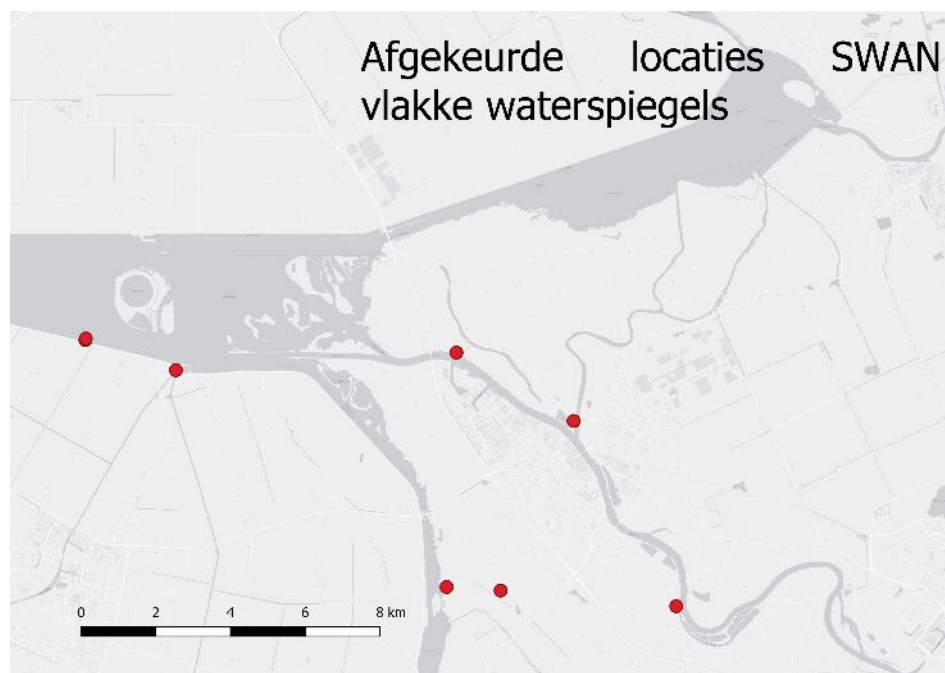
*Figuur 69
Afgekeurde locaties
in de SWAN-
berekeningen met
variërende
waterstandsvelden.*



B Afgekeurde golflocaties vlakke waterspiegels

De controle van de SWAN-berekeningen met vlakke waterspiegels is terug te vinden in [Boersen, 2020]. De conclusie is dat alle 1536 SWAN-berekeningen fysisch logische, verklaarbare en betrouwbare resultaten geven. Acht uitvoerlocaties worden verworpen vanwege onrealistische uitkomsten, deze 8 locaties zijn te zien in Figuur 70.

Figuur 70
Afgekeurde SWAN-
vlakke waterspiegels



C HLCD en Config

Deze bijlage toont de aangepaste tabellen in de HLCD en .config-databases. De voorbeelden in deze paragraaf komen uit de database behorende bij normtraject 10-3.

c.1 HLCD-database

In de HLCD zijn de volgende tabellen aangepast:

- General
- Tracks
- Locations

Daarnaast is voor de normtrajecten 8-4, 10-2, 10-3, 11-1, 11-2 en 225 ook het PCR-correlatiemodel uitgezet (Tabel 18). Deze HLCD's wijken dus af van de overige HLCD's.

*Tabel 18
Commando om het
PCR-correlatiemodel
uit te zetten.*

```
UPDATE LoadVariablesData SET CorrelationTypeId = NULL WHERE RegionId = 5
```

Alle HLCD's bevatten de traject en locatieinformatie van alle trajecten, de HLCD werkt dus met alle HR-databases. De HLCD's van de normtrajecten 8-4, 10-2, 10-3, 11-1, 11-2 en 225 wijken wel af van de overige HLCD's vanwege het PCR-model.

General

De tabel General bevat enkel de aanmaakdatum van de HLCD.

*Figuur 71
Tabel General uit de
HLCD behorende bij
normtraject 10-3*

CreationDate	
	Filter
1	20-11-2020 11:38:4

Tracks

De tabel Tracks bevat een TrackId, RegioId (5 voor IJsseldelta, 6 voor Vechtdelta) en de naam van de HRD.

Figuur 72
Tabel Tracks van de
HLCD

TrackId	RegionId	Name	HRDFileName
Filter	Filter	Filter	Filter
5084	5	8-4	WBI2023_IJsseldelta_8-4_v00_terBeoordeling.sqlite
5103	5	10-3	WBI2023_IJsseldelta_10-3_v00_terBeoordeling.sqlite
5111	5	11-1	WBI2023_IJsseldelta_11-1_v00_terBeoordeling.sqlite
5112	5	11-2	WBI2023_IJsseldelta_11-2_v00_terBeoordeling.sqlite
5206	5	206	WBI2023_IJsseldelta_206_v00_terBeoordeling.sqlite
5225	5	225	WBI2023_IJsseldelta_225_v00_terBeoordeling.sqlite
5227	5	227	WBI2023_IJsseldelta_227_v00_terBeoordeling.sqlite
5523	5	52-3	WBI2023_IJsseldelta_52-3_v00_terBeoordeling.sqlite
5524	5	52-4	WBI2023_IJsseldelta_52-4_v00_terBeoordeling.sqlite
5525	5	52a-1	WBI2023_IJsseldelta_52a-1_v00_terBeoordeling.sqlite
5532	5	53-2	WBI2023_IJsseldelta_53-2_v00_terBeoordeling.sqlite
6071	6	7-1	WBI2023_Vechtdelta_7-1_v00_terBeoordeling.sqlite
6091	6	9-1	WBI2023_Vechtdelta_9-1_v00_terBeoordeling.sqlite
6092	6	9-2	WBI2023_Vechtdelta_9-2_v00_terBeoordeling.sqlite
6101	6	10-1	WBI2023_Vechtdelta_10-1_v00_terBeoordeling.sqlite
6102	6	10-2	WBI2023_Vechtdelta_10-2_v03_terBeoordeling.sqlite
6202	6	202	WBI2023_Vechtdelta_202_v00_terBeoordeling.sqlite
6533	6	53-3	WBI2023_Vechtdelta_53-3_v00_terBeoordeling.sqlite

Locations

De tabel Locations bevat informatie in de kolommen LocationId, TypeofHydraulicDataId, TrackId en HRDLocationId. De overige kolommen zijn leeg voor zowel de IJssel- als de Vechtdelta.

Figuur 73
Tabel Locations van
de HLCD. Dit
voorbeeld is gefilterd
om enkel een aantal
locaties van
normtraject 10-3 te
tonen.

LocationId	TypeOfHydraulicDataId	TrackId	HRDLocationId	AreaNumber	InterpolationSupportId	ImplicInterpolationSupportId	ImplicPerformanceLevelSupportId
Filter	Filter	5103	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter
11030001		2	5103	11030001	NULL	NULL	NULL
11030002		2	5103	11030002	NULL	NULL	NULL
11030003		2	5103	11030003	NULL	NULL	NULL
11030004		2	5103	11030004	NULL	NULL	NULL
11030005		2	5103	11030005	NULL	NULL	NULL
11030006		2	5103	11030006	NULL	NULL	NULL
11030007		2	5103	11030007	NULL	NULL	NULL
11030008		2	5103	11030008	NULL	NULL	NULL

Config-database

In de config-database zijn de volgende tabellen aangepast:

- General
- DesignTableSettings
- TimeIntegrationSettings
- NumericSettings

De inhoud van de tabellen is gebaseerd op de WBI2017-databases. Binnen dit project zijn geen redenen gevonden op af te wijken van deze rekeninstellingen.

General

*Figuur 74
Tabel General van
de .config van
normtraject 10-3*

CreationDate	HRDName	HRDCreationDate	HRDTrackID	HRDNameRegion
Filter	Filter	Filter	Filter	Filter
1 20-11-2020 11:38:4	WBI2023_IJsseldelta_10-3_v00_terBeoordeling.sqlite	20-11-2020 11:38:4	5103	IJsseldelta

DesignTableSettings

*Tabel 19
DesignTableSettings*

LocationID	CalculationTypeID	Min	Max
123456	0	2	4
123456	1	10	50
123456	2	1	4
123456	5	2	4

TimeIntegrationSettings

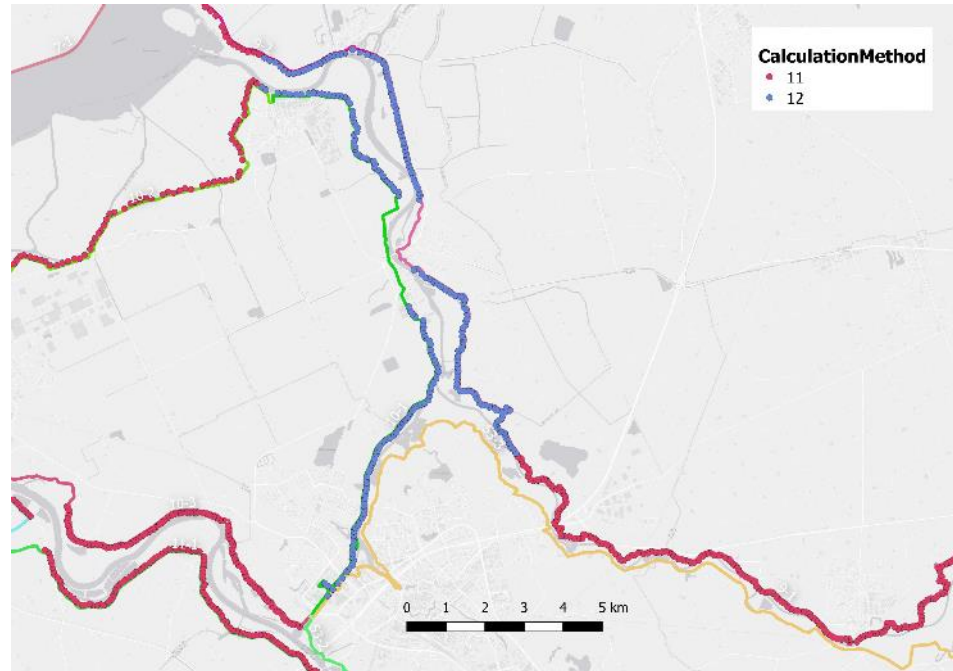
*Tabel 20
TimeIntegrationSettings*

LocationID	CalculationTypeID	TimeIntegrationSchemeID
123456	0	1
123456	1	1
123456	2	1
123456	3	1
123456	4	1
123456	5	1
123456	6	1
123456	7	1
123456	8	1
123456	9	1

NumericSettings

De NumericSettings van de WBI2017-databases is niet constant over de gehele Vecht en IJsseldelta. De CalculationMethod verschilt tussen een deel van de Vecht en de rest van het gebied (Figuur 75). Deze instelling is overgenomen voor de nieuwe databases om geen numerieke verschillen te introduceren met WBI2017. Tabel 21 en Tabel 22 tonen de NumericSettings van de gebieden met CalculationMethod 12 en 11.

*Figuur 75
CalculationMethod
12 in een deel van
de Vecht*



Tabel 21
 NumericSettings
 CalculationMethod
 12

LocationID	MechanismID	SubMechanismID	CalculationMethod
600708	1	1	12
600708	3	5	4
600708	11	11	12
600708	11	14	12
600708	11	16	12
600708	101	102	12
600708	101	103	12
600708	110	421	11
600708	110	422	11
600708	110	423	11
600708	111	422	1
600708	111	424	11
600708	111	425	11
600708	111	426	1
600708	111	427	1
600708	112	422	1
600708	112	424	11
600708	112	425	11
600708	112	430	11
600708	112	431	1
600708	112	432	1
600708	112	433	1
600708	112	434	11
600708	112	435	11

Tabel 22
 NumericSettings
 CalculationMethod
 11

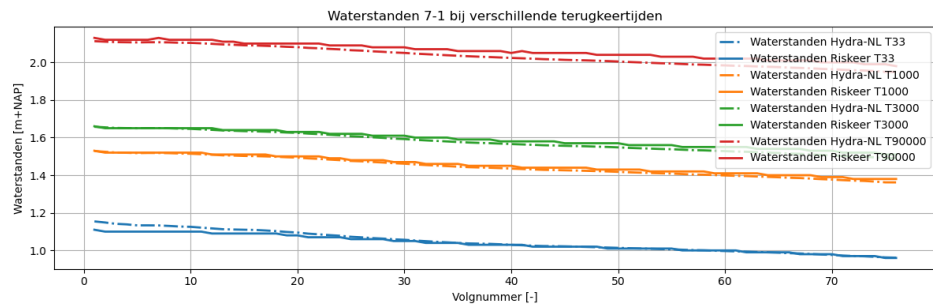
MechanismID	SubMechanismID	CalculationMethod	FORM_StartMethod
1	1	11	4
3	5	4	4
11	11	11	4
11	14	11	4
11	16	11	4
101	102	11	4
101	103	11	4
110	421	11	4
110	422	11	1
110	423	11	4
111	422	1	1
111	424	11	5
111	425	11	4
111	426	1	1
111	427	1	1
112	422	1	1
112	424	11	4
112	425	11	4
112	430	11	4
112	431	1	1
112	432	1	1
112	433	1	1
112	434	11	4
112	435	11	4

D Langsfiguren interne controles

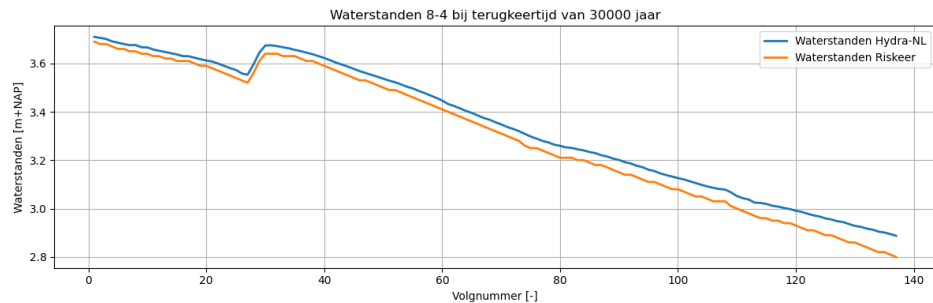
Deze bijlage bevat alle langsfiguren gemaakt bij de interne controles (voor verbeteringen aan de databases). Voor normtrajecten 202 en 206 is een frequentielijn ingevoegd, omdat deze trajecten uit slechts één locatie bestaan.

D.1 Waterstanden

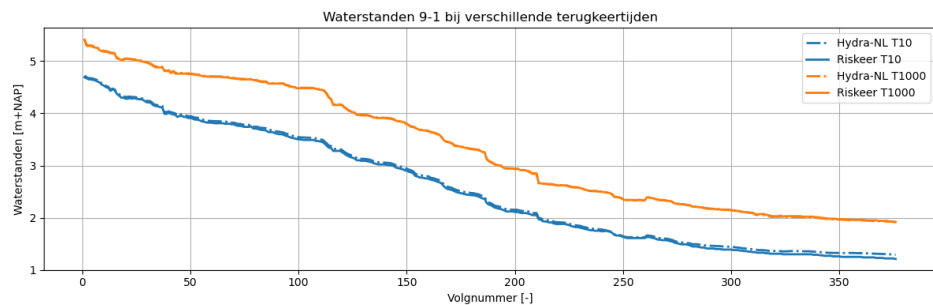
*Figuur 76
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 7-1*



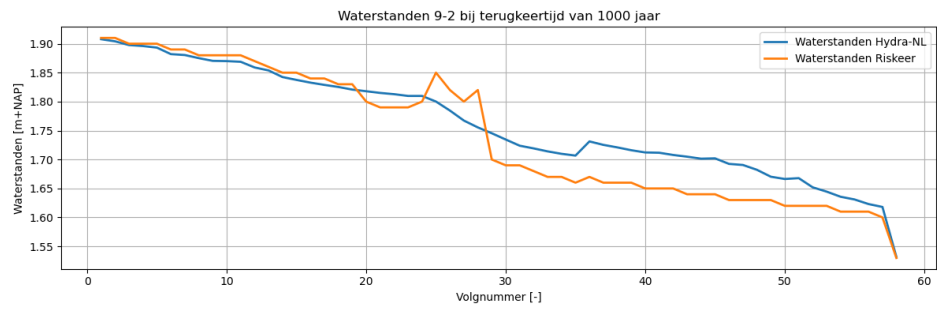
*Figuur 77
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 8-4*



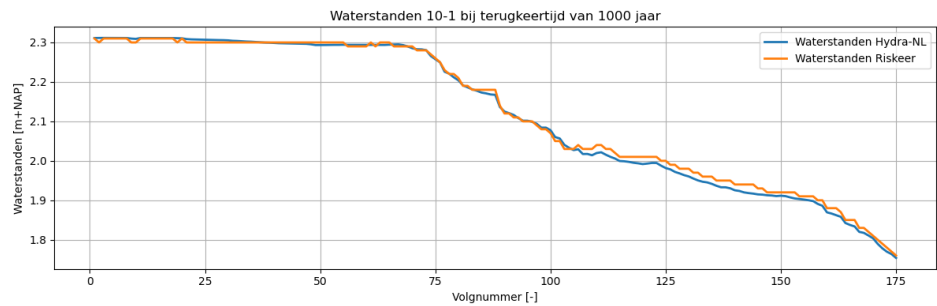
*Figuur 78
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 9-1*



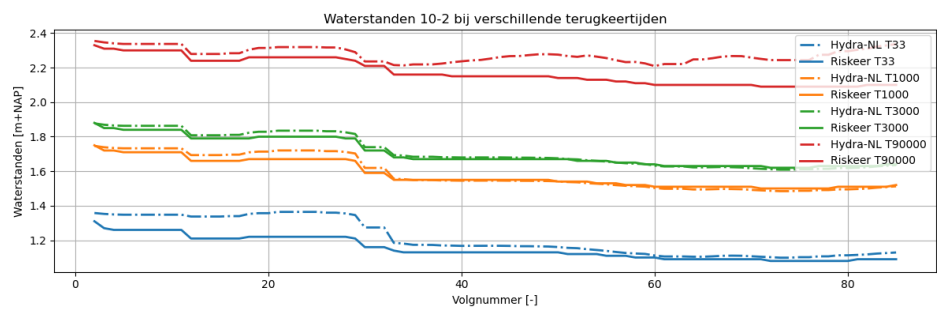
*Figuur 79
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 9-2*



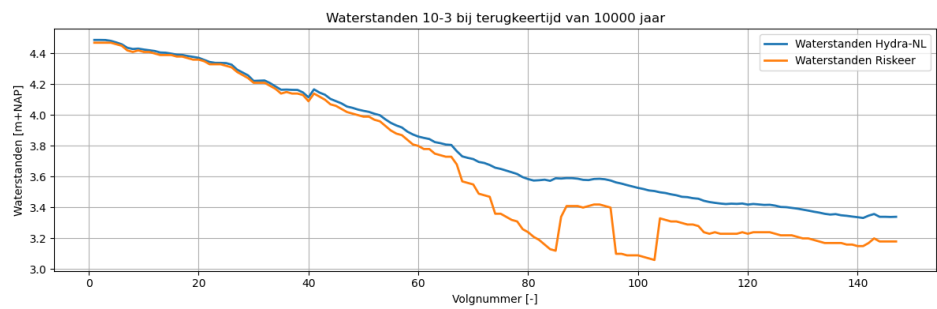
*Figuur 80
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 10-1*



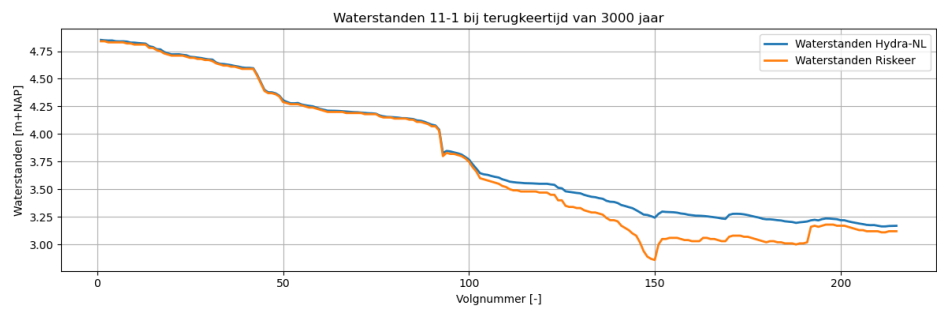
*Figuur 81
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 10-2*



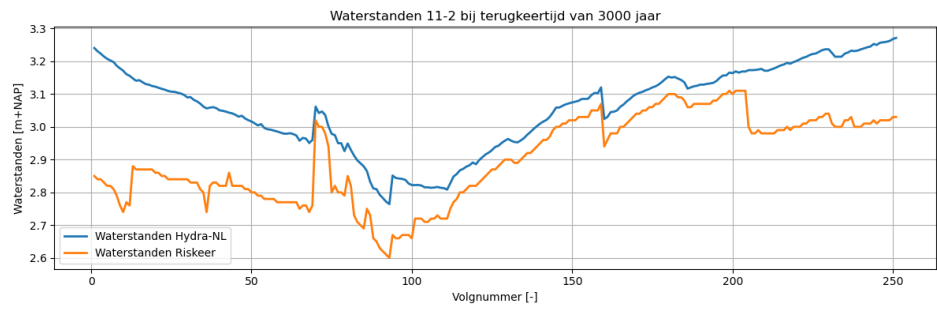
*Figuur 82
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 10-3*



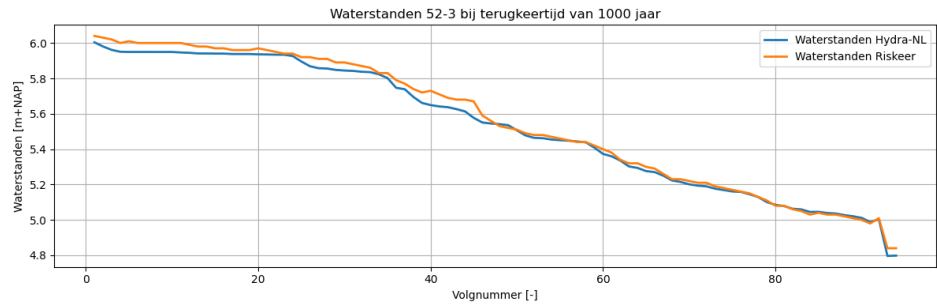
*Figuur 83
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 11-1*



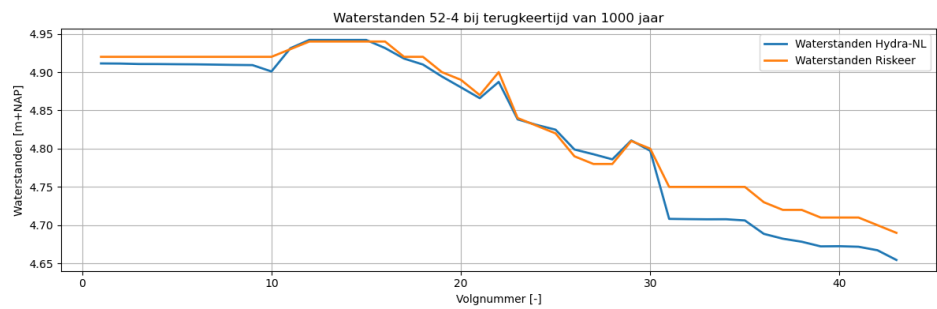
*Figuur 84
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 11-2*



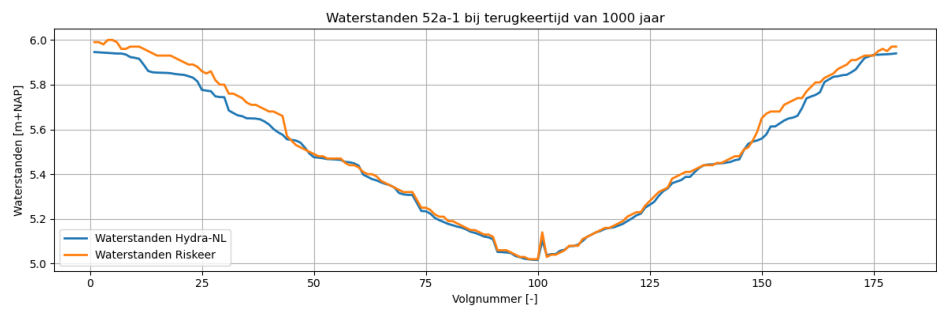
*Figuur 85
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 52-3*



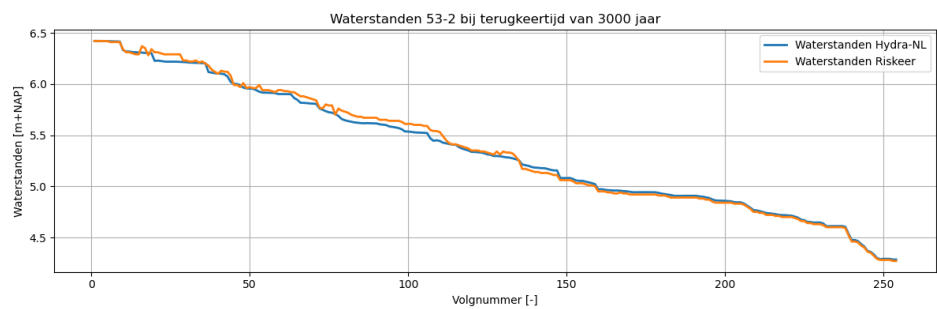
*Figuur 86
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 52-4*



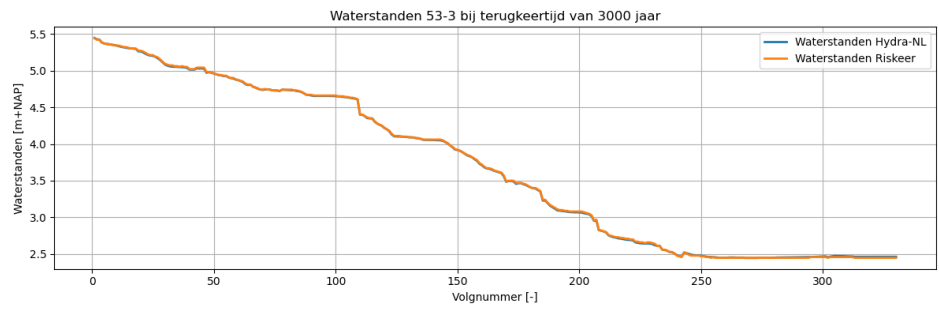
*Figuur 87
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 52a-1*



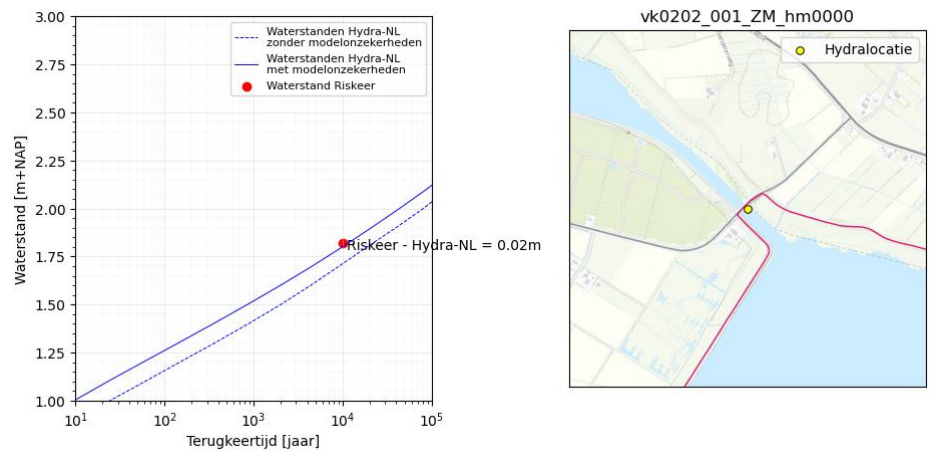
*Figuur 88
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 53-2*



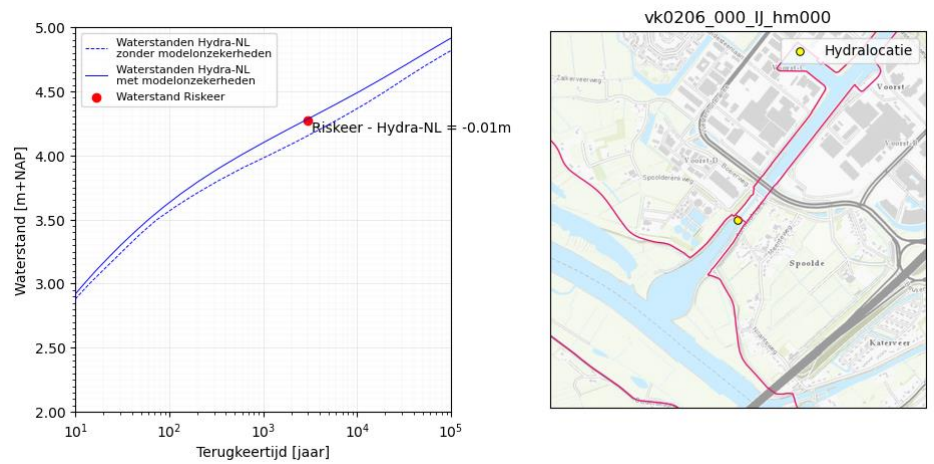
*Figuur 89
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 53-3*



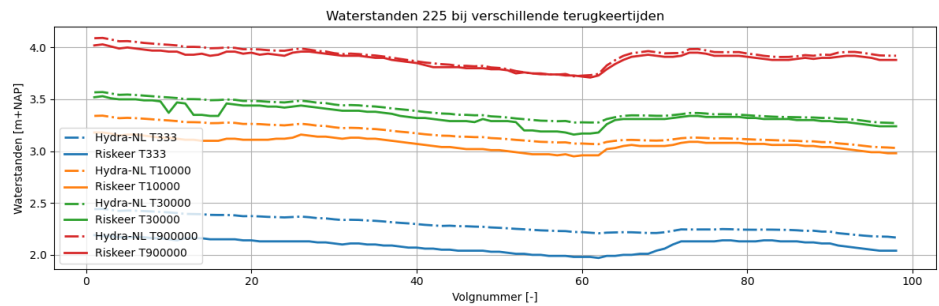
*Figuur 90
Frequentielijn
waterstand
normtraject 202*



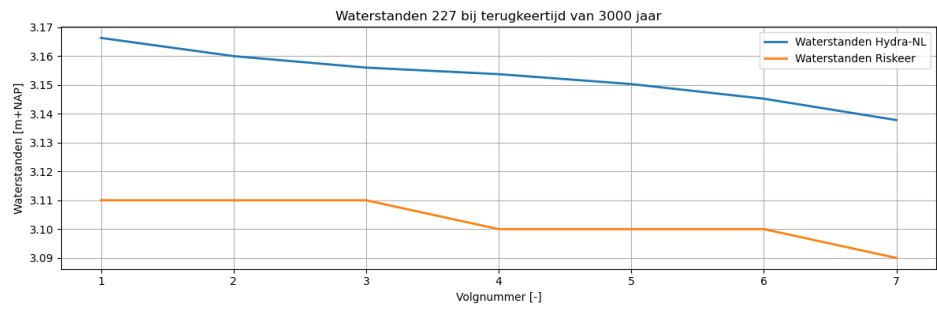
*Figuur 91
Frequentielijn
waterstand
normtraject 206*



*Figuur 92
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 225*



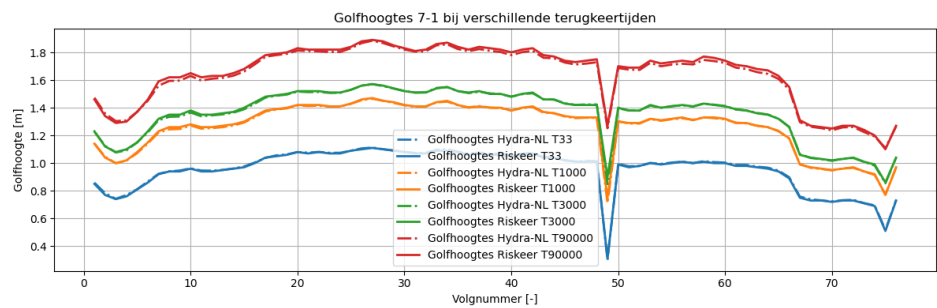
*Figuur 93
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 227*



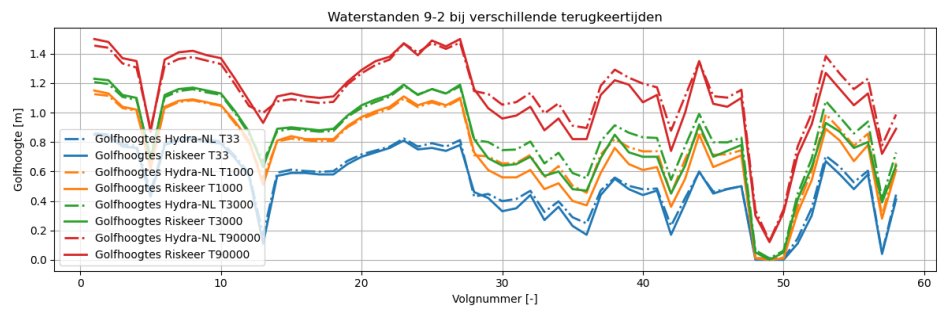
D.2

Golven

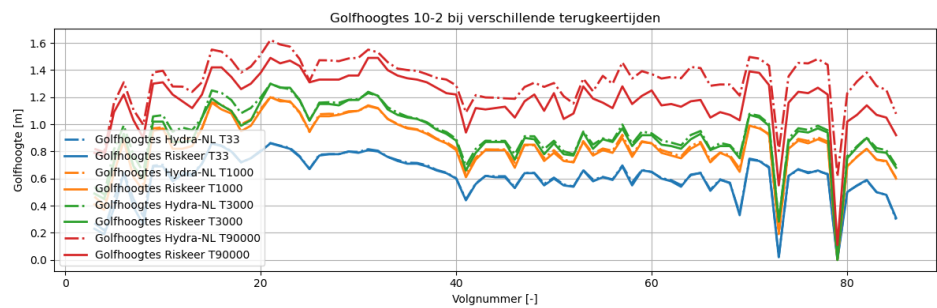
*Figuur 94
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 7-1*



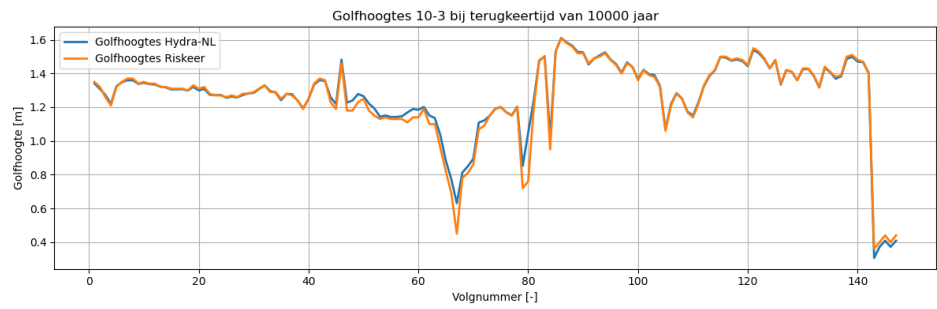
*Figuur 95
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 9-2*



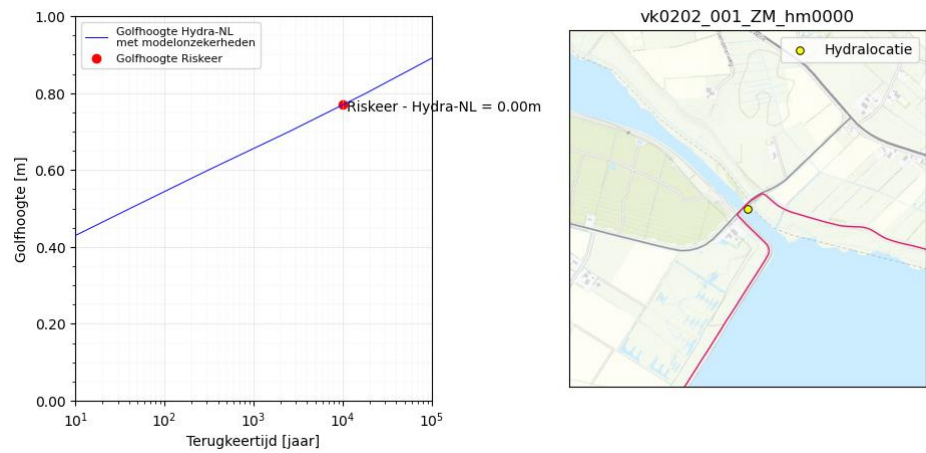
*Figuur 96
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 10-2*



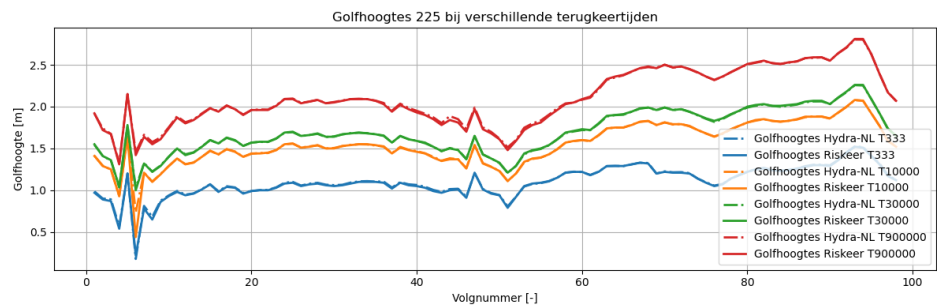
Figuur 97
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 10-3



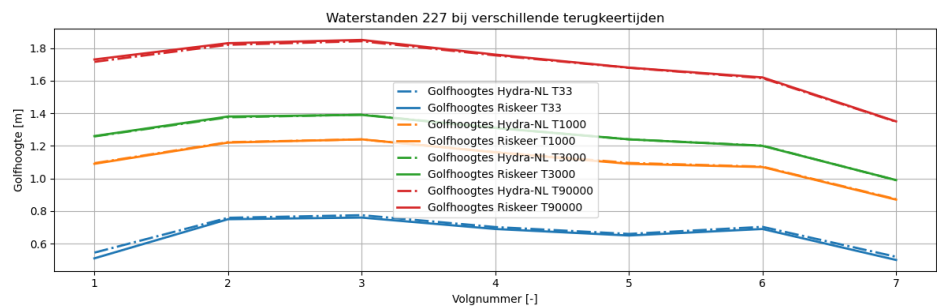
Figuur 98
Frequentielijn
normtraject 202



Figuur 99
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 225



Figuur 100
Langsfiguur
waterstanden
normtraject 227



E Resultaten externe controles

Onderstaande tabellen toont alle resultaten van de externe controles. Deze resultaten zijn ook terug te vinden in [Benit, 2020].

E.1 Normtraject-databases

*Tabel 23
Resultaten van de
externe controles,
databases
normtrajecten*

Nr.	Traject	Observatie	Verwerking
1	9-1	Rare nummering locaties	009-01_256_OV_km0058 verwijderen en 258 en 257 omdraaien
2	10-1	Hs riskeer geeft resultaat 0 m op enkele locaties	De berekeningen op deze locaties resulteren in een golfhoogte van 0, dit komt door droogval, dit is geen probleem voor de database
5	52a-1	Geen HBN berekent op locatie 52a-01_078_IJ_km0969	Locatie verwijderd
6	9-1	Geen Hs berekent op locatie 009-01_004_OV_km0035	Locatie verwijderd
7	9-1	Geen Hs berekent op locatie 009-01_005_OV_km0035	Locatie verwijderd
8	9-1	Geen Hs berekent op locatie 009-01_017_OV_km0037	Locatie verwijderd
9	9-1	Geen Hs berekent op locatie 009-01_032_OV_km0038	Locatie verwijderd
10	9-1	Geen Hs berekent op locatie 009-01_036_OV_km0038	Locatie verwijderd
11	9-1	Geen Hs berekent op locatie 009-01_037_OV_km0039	Locatie verwijderd
12	9-1	Geen Hs berekent op locatie 009-01_038_OV_km0039	Locatie verwijderd
13	9-1	Geen Hs berekent op locatie 009-01_039_OV_km0039	Locatie verwijderd

Nr.	Traject	Observatie	Verwerking
14	9-1	Geen HBN berekent op locatie 009-01_048_OV_km0039	Locatie verwijderd
15	52-4	Geen HBN berekent op locatie 052-04_002_IJ_km0972	Locatie verwijderd
16	7-1	Sprong in Golfhoogte 007-01_049_ZM_km0005	Locatie verwijderd
17	8-4	Vershil tussen Hydra en Riskeer	HLCD aangepast PCR-model uitgezet
18	9-2	Droogval	Geen aanpassingen
19	10-2	Grote afstand tussen locaties	De afstand tussen locaties is nergens groter dan 400 meter, dit vinden we acceptabel
20	10-2	Geen Hs berekend	Verwijderen
21	10-2	Grote HBN verschillen	HLCD aangepast PCR-model uitgezet. Het HBN in 10-2 is sterk afhankelijk van de waterstanden. Dit omdat vanwege het voorliggende Kampereiland de golfhoogte beperkt is. De afwijking van het PCR-model werkt hier dus sterk door in het HBN.
22	10-3	Rare locatievolgorde bij locatie 001 en 002	Locaties 001 en 002 omgedraaid
23	10-3	Aantal locaties verder van kering	Geen probleem voor de werking van de database
24	10-3	Vershil tussen Hydra en Riskeer	HLCD aangepast PCR-model uitgezet
25	10-3	Grote verschillen in golfhoogte voor locaties 067, 079 en 080	Locatie 067 verwijderen, locaties 079 en 080 liggen achter een zomerdijk, hier zijn de lagere golfhoogtes logisch
26	11-1	Rare locatieligging rond 011-01_169_RD_km0001	Geen probleem voor de werking van de database
27	11-1	011-01_201_RD_km0005 ligging niet logisch	Geen probleem voor de werking van de database
28	11-1	Vershil tussen Hydra en Riskeer	HLCD aangepast PCR-model uitgezet
29	11-1	Geen golfhoogtes op locatie 011-01_151_RD_km0000	Locatie verwijderd
30	11-2	Vershil tussen Hydra en Riskeer	HLCD aangepast PCR-model uitgezet

Nr.	Traject	Observatie	Verwerking
31	225	Vershil tussen Hydra en Riskeer	HLCD aangepast PCR-model uitgezet
32	225	Golfhoogte wijkt sterk af op locatie vk0225_006_IJ_km0996	Locatie verwijderd
33	11-2	Rare ligging locatie 011-02_018_IJ_km0993	Betere locatie in de vaargeul dan in de uiterwaarde
34	11-2	Rare ligging locatie 011-02_029_IJ_km0994	Geen betere locatie beschikbaar
35	11-2	Rare ligging locatie 011-02_047_IJ_km0996	Geen betere locatie beschikbaar
36	11-2	Rare ligging locatie 011-02_079_IJ_km0998	Tussen 079 en 080 ligt een hoogwatervrij terrein er is geen dichterbij liggende locatie beschikbaar
37	11-2	Rare ligging locatie 011-02_080_IJ_km0998	Tussen 079 en 080 ligt een hoogwatervrij terrein er is geen dichterbijliggende locatie beschikbaar
38	11-2	Rare ligging locatie 011-02_089_IJ_km1000	Best mogelijk locatie
39	11-2	Rare ligging locatie 011-02_161_DM_km0003	Locatie op recreatieterreinen rond de roggebot
40	11-2	Rare ligging locatie 011-02_162_DM_km0003	Ligt dicht bij 163, deze locatie verwijderd
41	11-2	Rare ligging locatie 011-02_163_DM_km0003	Ligt dicht bij 162 en 164 deze locatie bewaard
42	11-2	Rare ligging locatie 011-02_164_DM_km0003	Ligt dicht bij 163, deze locatie verwijderd
43	11-2	Rare ligging locatie 011-02_165_DM_km0003	Locatie ligt goed, achter de recreatieterreinen bij de Roggebot
44	11-2	Rare ligging locatie 011-02_180_DM_km0001	Locatie bij de noordelijke kanteldijk van de Drontermeertunnel, beste beschikbare locatie
45	11-2	Rare ligging locatie 011-02_181_DM_km0001	Locatie bij de noordelijke kanteldijk van de Drontermeertunnel, beste beschikbare locatie
46	11-2	Rare ligging locatie 011-02_192_RD_km0007	Locatie bij de zuidelijke kanteldijk van de Drontermeertunnel, beste beschikbare locatie
47	11-2	Rare ligging locatie 011-02_193_RD_km0007	Locatie bij de zuidelijke kanteldijk van de Drontermeertunnel, beste beschikbare locatie

Nr.	Traject	Observatie	Verwerking
48	11-2	Rare ligging locatie 011-02_229_RD_km0003	Locatie ligt goed, volgende locatie ligt dichtbij vanwege het grondlichaam van de brug die hier het Reevediep over gaat.
49	11-2	Locaties 011-02_077_IJ_km0998 en 011-02_078_IJ_km0998; hebben dezelfde coördinaten	Locatie 078 verwijderd
50	11-2	Locaties 011-02_145_VM_km0002 en 011-02_146_VM_km0002; hebben dezelfde coördinaten	Locatie 078 verwijderd
51	11-2	Locaties 011-02_197_RD_km0006 en 011-02_198_RD_km0006; hebben dezelfde coördinaten	Locatie 078 verwijderd
52	11-2	Locaties 011-02_233_RD_km0003 en 011-02_234_RD_km0002; hebben dezelfde coördinaten	Locatie 078 verwijderd

E.2

Specialistische databases

Tabel 24
Resultaten externe
controle speciale
databases

Nr.	Database	Observatie	Verwerking
1	Ijsselas	De afstand tussen locaties varieert ritmisch tussen 80 en 120 meter	Geen aanpassing, deze variatie is het gevolg van de roosterzellen in het WAQUA-model
2	Ijsselas	Locatie RD_0023_km0002 en RD_0023_km0003 hebben dezelfde coördinaten.	Locatie RD_0023_km0003 verwijderd
3	Vechtas	Locaties GO_0041_km0004 en GO_0042_km0004 hebben dezelfde coördinaten	Locatie GO_0042_km0004 verwijderd
4	Vechtas	Locaties GO_0041_km0004 en GO_0042_km0004 hebben dezelfde coördinaten	Locatie GD_0043_km0005 verwijderd
5	Vechtas	Locaties GD_0050_km0005 en GD_0051_km0005 hebben dezelfde coördinaten	Locatie GD_0051_km0005 verwijderd



Hoofdkantoor

HKV lijn in water BV
Botter 11-29
8232 JN Lelystad

Nevenvestiging

Informaticalaan 8
2628 ZD Delft

0320 294242
info@hkv.nl
www.hkv.nl