

HET GEBRUIK VAN MEETGEGEVENS VOOR HET VERBETEREN VAN DE HYDROLOGISCHE VERWACHTINGEN VAN HET IJSSELMEER



MARCEL MULLER

AUGUSTUS 2013

UNIVERSITEIT TWENTE.

Samenvatting

Aanleiding

Sinds 1986 houdt de Waarschuwingsdienst IJsselmeergebied (WDIJ), onderdeel van Rijkswaterstaat (RWS), het IJsselmeergebied in de gaten. Onder invloed van storm kunnen er hoge golfoplopen ontstaan die de dijken en het land er achter bedreigen. Bij dergelijke hoge golfoplopen geeft de WDIJ waarschuwingen uit aan de dijkbeheerders.

Modellen

Om tot deze waarschuwingen te komen wordt gebruik gemaakt van modellen om de waterstanden, golfhoogten en golfploophoogten te berekenen. Input van deze modellen is een windveld met windsnelheden en richtingen dat gegenereerd wordt met het meteorologische model 'HIRLAM' van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. Met dit windveld als input worden met het tweedimensionale hydrologische model 'WAQUA' verwachtingen gemaakt voor de waterstanden in het IJsselmeer. Vervolgens creëert het golfmodel 'SWAN' met waterstands- en windverwachtingen als input, verwachtingen voor de golfhoogten. Enkele modules berekenen hierna de golfploop.

Verbeteringen met behulp van meetgegevens

Deze modellen geven al redelijk betrouwbare verwachtingen, maar er zijn nog verbeteringen mogelijk. Een van de manieren om deze verbeteringen te realiseren is door gebruik te maken van meetgegevens van de waterhoogte, golfhoogte en golfploophoogte van het IJsselmeer. Op dit moment bestaat er nog geen goede database voor deze meetgegevens, de gegevens moeten uit verschillende bronnen gehaald worden en daarna omgezet naar één overeenkomend formaat (met dezelfde tijdstappen, dezelfde bestandsindeling, etc..) voordat ze gebruikt kunnen worden voor verbetering of validatie van de modellen. Een eerste stap om de verwachtingen te verbeteren is dus om meetdata te verzamelen waarmee het mogelijk is om de gebruikte modellen te valideren of te verbeteren.

Omdat er pas sprake is van een bedreiging van de dijken bij hoge waterstanden en golfhoogten die pas optreden bij zeer zelden voorkomende hoge windsnelheden, zijn vooral de meetgegevens waarbij extreem hoge waarden voorkomen voor de WDIJ interessant. Daarom zullen voor de maatgevende waarden waarop de dijken zijn ontworpen extrapolaties van de meetgegevens gedaan moeten worden. Om deze extrapolaties zo betrouwbaar mogelijk uit te voeren, is een zo uitgebreid mogelijke database van meetgegevens nodig, met gegevens van stormen uit alle windrichtingen en van zo veel mogelijk meetlocaties. Hierbij zijn vooral de extreme waarden relevant.

Om tot een goede verzameling van meetgegevens te komen is eerst gekeken welke meetgegevens er beschikbaar zijn. In Nederland bestaat het Landelijk Meetnet Water (LMW). Het LMW is een voorziening die verantwoordelijk is voor de inwinning, opslag en distributie van waterbeheergegevens. Er bestaan echter voor het IJsselmeergebied nog meer meetgegevens die nog niet via het LMW ontsloten zijn. Deze meetgegevens zijn afkomstig van meetpalen van de dienst IJsselmeerGebied (IJG) van RWS. Deze gegevens zullen ook aan de verzameling toegevoegd moeten worden.

Extreme waarden

Omdat vooral de extreme waarden relevant zijn, is er een methode nodig om deze extreme waarden uit de meetdata te filteren. Hiervoor is in het verleden vaak de 'Stormen-methode' gebruikt, dit is een methode waarbij de extreme data geselecteerd wordt door data horende bij tijdstippen waarop extreem hoge windsnelheden optreden. In dit onderzoek wordt de 'Extreme-waarden-methode' geïntroduceerd. Bij deze methode wordt niet alleen gekeken naar tijdstippen met extreme windsnelheden, maar ook naar extreme water- en golfhoogten. Bij deze methode is het in theorie dus ook mogelijk dat er tijdstippen in de verzameling opgenomen worden waarbij er bijvoorbeeld alleen hoge golven zijn maar geen hoge windsnelheden. Na uitvoering blijkt dat beide methoden ongeveer dezelfde interessante tijdstippen selecteren. Omdat in het verleden de stormen-methode al vaker is toegepast, is de in het verleden opgezette lijst met stormen aangevuld met nieuwe interessante data verkregen in dit onderzoek.

Analyse hydrologisch systeem

Om te kijken wat de verbanden zijn tussen bijvoorbeeld de extreme windsnelheden en de golfoploophoogten, zijn enkele analyses van het hydrologisch systeem uitgevoerd. Hieruit blijkt dat bij windsnelheden boven de 20 m/s met een lange strijklengte, zoals optreed bij een noordwesterwind, al een verhoging/verlaging van de waterstand bij de dijk kan optreden van ongeveer een meter. Bij windrichtingen met een kortere strijklengte zal de opwaaiing lager zijn. Verder blijkt dat er maar zelden hoge windsnelheden uit oostelijke richting voorkomen.

Conclusies

Voor de validatie van de modellen zijn vooral stormen met extreem hoge windkrachten van belang, omdat de dijken dan pas bedreigd worden. Metingen van zeer zware stormen (windkracht 10 en hoger) zijn echter zeer zeldzaam. Ook zijn er voor de oostelijke windrichtingen bijna geen metingen beschikbaar van zware stormen. De verzameling van meetgegevens zal dus uitgebreid moeten worden zodat hij beter gebruikt kan worden voor verbetering van de modellen. Daarom is het aan te bevelen de meetprojecten zo lang mogelijk door te laten lopen op enkele vaste locaties.

De in te toekomst op te zetten database zal idealiter selectiemethodes hebben waarbij bijvoorbeeld geselecteerd kan worden op extremen, windrichtingen en/of locaties. Met behulp van een goed opgezette en ontsloten database die constant aangevuld wordt met nieuwe meetgegevens, kunnen in de toekomst meer betrouwbare extrapolaties uitgevoerd worden en dus een betrouwbaardere verwachting van de water-, golf- en golfoploophoogten die voorkomen bij de ontwerpcondities gemaakt worden.

Voorwoord

Als afsluiting van de Bachelor Civiele techniek dient er een tien weken durende stage gelopen te worden bij een extern bedrijf of instantie. Tijdens de stage is het als student de bedoeling te laten zien dat je over voldoende inhoudelijke kennis beschikt, maar ook dat je systematisch kunt werken en rapporteren. De eindopdracht wordt uitgevoerd bij een civieltechnisch bedrijf of instelling, omdat alleen in de praktijk de samenhang tussen de geleerde kennis en vaardigheden de praktische toepassing hiervan ontdekt kan worden.

Omdat ik tijdens mijn studie ontdekt heb dat mijn voorkeur uitgaat naar vakken op het gebied van water, wilde ik ook graag een eindopdracht op dit gebied gaan doen. De operationele dienst Verkeers- en Watermanagement (VWM) in Lelystad, een onderdeel van Rijkswaterstaat, heeft mij de mogelijkheid geboden om een opdracht uit te voeren waarbij de mogelijkheden voor het gebruik van meetgegevens voor het verbeteren van de verwachtingen van de modellen van de Waarschuwingdienst IJsselmeer geanalyseerd zijn. Ik heb mij bezig gehouden met het inventariseren van de beschikbare meetgegevens voor het IJsselmeergebied, een analyse van het hydrologisch systeem van het gebied en de vraag in hoe verre het mogelijk is met de huidige beschikbare gegevens de verwachtingen van de WDIJ te verbeteren.

Bij het uitvoeren van deze opdracht heb ik kennis opgedaan van het werken met modellen en dataverzamelingen, daarnaast heb ik ook kennis mogen maken met Rijkswaterstaat en in het bijzonder het Watermanagementcentrum Nederland. Ik vond het zeer leerzaam om een tijdje mee te draaien op deze afdeling.

Ik wil graag ieder van de betrokkenen bij Rijkswaterstaat bedanken voor de hulp en betrokkenheid. Mijn speciale dank gaat uit naar Hans Hartholt, die mij in mijn dagelijkse werkzaamheden op een prettige manier begeleid heeft. Ook wil ik Martijn Booij, mijn begeleider van de Universiteit Twente bedanken voor zijn bijdrage, sturing en aanwijzingen tijdens deze bachelor eindopdracht.

Marcel Muller
Enschede, augustus 2013

Inhoud

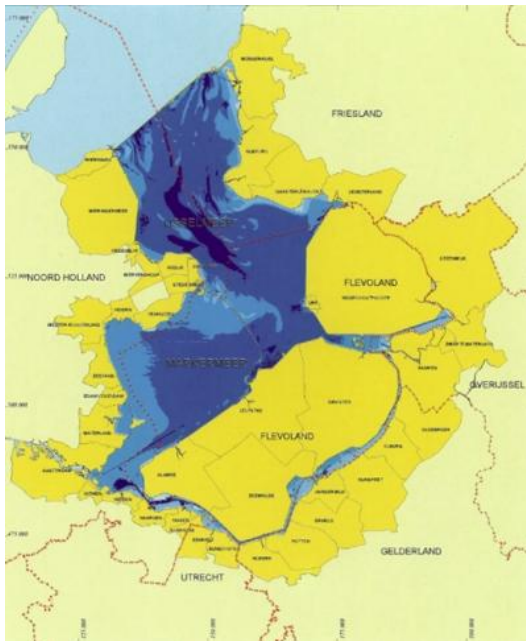
HOOFDSTUK 1. Inleiding	6
1.1 Aanleiding.....	6
1.2 Probleemstelling.....	7
1.3 Onderzoeksdoel.....	8
1.4 Onderzoeksvragen.....	8
1.5 Leeswijzer	9
HOOFDSTUK 2: Gebiedsbeschrijving	10
2.1 Beschrijving studiegebied.....	10
2.2 De Waarschuwingsdienst Dijken IJsselmeergebied	12
2.3 Hoge waterstanden door opwaaiing.....	13
HOOFDSTUK 3 Modellen en Databeschikbaarheid.....	14
3.1 Modelbeschrijving	14
3.2 Beschikbaarheid meetgegevens.....	16
HOOFDSTUK 4 Onderzoeksmethoden.....	19
4.1 twintig-minuten- of uurgemiddelden.....	19
4.2 Selectiemethode significante meetlocaties	19
4.3 Methode voor extremenanalyse	20
4.4 Analyse van het watersysteem.....	22
HOOFDSTUK 5 Resultaten.....	24
5.1 Twintig-minuten- of uurgemiddelden	24
5.1 Resultaten extreme waarden meetgegevens	24
5.2 Analyse van het hydrologische systeem.....	25
HOOFDSTUK 6 Discussie	33
HOOFDSTUK 7 Conclusies en Aanbevelingen	35
Referenties	37
Bijlagen.....	Error! Bookmark not defined.8

HOOFDSTUK 1. Inleiding

In dit hoofdstuk zullen de aanleiding en probleemstelling van dit onderzoek behandeld worden, alsmede het onderzoeksdoel en de onderzoeksvragen. Verder bevindt zich aan het einde van dit hoofdstuk een leeswijzer van de rest van het rapport.

1.1 Aanleiding

Toen het IJsselmeer nog de Zuiderzee was waren de gebieden rondom de Zuiderzee zeer gevoelig voor overstromingen, omdat er een open verbinding met de Noordzee bestond waardoor de kusten geteisterd werden door stormvloed en vloedgolven. Sinds de bouw van de afsluitdijk in 1932 hield de Zuiderzee op te bestaan en het nieuw ontstane meer werd het IJsselmeer genoemd (van der Heide, 2010). In figuur 1 is het IJsselmeergebied te zien.



Figuur 1: het IJsselmeergebied. De kleurverschillen geven waterdiepte aan. Hoe donkerder de kleur hoe dieper het water. De donkerste kleur blauw geeft een waterdiepte aan van 7 meter en dieper. De gemiddelde diepte van het IJsselmeer is 4,5 meter.

Ondanks de afwezigheid van het gevaar op stormvloed en vloedgolven vanaf de Noordzee, is ook langs het IJsselmeer nog steeds een kans op overstromingen aanwezig. De dijken kunnen worden belast door een verhoogd waterpeil als gevolg van opwaaiing en golfloop, veroorzaakt door de wind. De dijken zijn ontworpen met een bepaalde veiligheidsnorm. Rond het IJsselmeer hebben de dijken bij Noord Holland een overstromingsnorm van 1/10.000. Dit betekent dat de dijken gedimensioneerd zijn zo dat ze stormen kunnen weerstaan die gemiddeld één keer in de 10.000 jaar voorkomen. Het overgrote deel van de rest van de dijken om het IJsselmeer heeft een norm van 1/4000. Bij een windkracht die rond de normsnelheid ligt kunnen deze dijken overstromen of bezwijken en zo het achterland laten overstromen. (Rijkswaterstaat,2013)

In het IJsselmeergebied worden continu wind, waterstanden en golven gemonitord. Hiervoor zijn diverse meetlocaties in het gebied aanwezig die windgegevens, waterstanden en golf informatie vastleggen.

In het geval van extreme omstandigheden moet een waarschuwing uitgebracht worden naar de beheerders van de gebieden rondom het IJsselmeer. Door het Watermanagementcentrum Nederland (WMCN), afdeling meren, worden hiervoor verwachtingen uitgebracht. Deze verwachtingen worden gegenereerd met diverse onderling verbonden modelonderdelen, een

zogenoemde modellentrein. Deze modellen zijn gekalibreerd op meetdata uit het IJsselmeergebied en op data van proefnemingen uit het laboratorium. Deels zijn de kalibratiegegevens niet meer van recente datum.

Om de kwaliteit van de uitgebrachte verwachtingen scherp te houden is het nuttig voortdurend de gemaakte verwachtingen naast de meetgegevens te leggen. De uitdagingen om gegevens uit het veld te relateren met de berekende verwachtingen zijn talrijk. Zo zijn er maar enkele meetpunten in een gebied van ongeveer 2000 km². Naast de ruimtelijke component zijn er ook temporele componenten. Windsnelheden en windrichtingen zijn niet constant. De wind is de motor achter het gedrag van het watersysteem en bepaalt hoe de golven zich (ook weer fluctuerend) zullen gedragen. Het is van belang om een geschikte tijdschaal te kiezen om zinvolle informatie uit de datastroom van de meetreeks te halen.

1.2 Probleemstelling

Het onderzoek richt zich op de vraag op welke manier veldmetingen het best gebruikt kunnen worden voor de validatie of verbetering van verwachtingsmodellen.

Om dit te kunnen doen is het nodig te weten welke invloeden de wind op de waterhoogte, golven en golfoploop heeft. Hiervoor zullen verschillende historische stormen geselecteerd en geanalyseerd worden. Er zal hierbij bijvoorbeeld gekeken worden hoe hevig en hoe snel de reactie van de waterstanden in de verschillende uithoeken van het gebied op een storm is.

Een manier om de kwaliteit van de gegenereerde verwachtingen te controleren en te verbeteren is om de verwachtingen te vergelijken met meetgegevens. Er is op dit moment geen systematische methode om de verwachtingen met de metingen te vergelijken. Ook is geen goede, bruikbare database met alle benodigde metingen beschikbaar. Van de golfoploop bij dijken zijn zelfs helemaal geen (consequente) metingen beschikbaar, alleen metingen uit het verleden en ad-hoc metingen van veekranden.

Enkele van de problemen die nu voorkomen bij validatie of verbetering van de modellen gebruikt door het WDIJ zijn de volgende:

De meetgegevens zijn niet allemaal compleet, de meetpaalgegevens bijvoorbeeld worden nogal eens onderbroken doordat de meetpalen verwijderd worden bij ijsvorming of voor onderhoud. Ook is de data niet altijd even betrouwbaar. Sommige meetpalen hebben meerdere instrumenten om de waterhoogte te berekenen. Het verschil tussen deze twee instrumenten kan oplopen tot boven de drie meter (FL02)(zie bijlage A1). Als een maximaal verschil van 10cm toegelaten wordt, voldoen in de periode van 1997 tot 2013 voor alle meetpalen meer dan 90% van de metingen. In de periode 2006-2007 voldoen voor FL02 echter maar 50% van de metingen. Er moet dus altijd kritisch gekeken worden naar de meetdata.

Het totale meetgegevenspakket is niet gemakkelijk opvraagbaar, omdat er drie verschillende bronnen van data zijn die de data allemaal in een ander formaat en indeling (bijvoorbeeld een andere volgorde; uurgemiddelde of 10-minuten gemiddelde; gesplitst in verschillende delen) aanbieden. De data moet dus voor gebruik eerst omgezet worden naar hetzelfde formaat en indeling, wat een tijdrovend proces is.

Voor een volledig meetgegevenspakket zouden alle locaties in het IJsselmeergebied opgenomen moeten zijn in het LMW, maar dit is nu nog niet het geval. In bijlage A2 staan de huidige locaties aangevuld met de locaties die nog toegevoegd zouden moeten worden. De locaties die nog niet in het LMW staan, zoals enkele meetpalen, zijn nu nog niet voor iedereen ontsloten.

Het meest onoverkomelijke probleem is echter dat de beschikbare meetreeksen niet lang genoeg zijn om zinnige uitspraken te doen. Immers, de dijken zijn maximaal gedimensioneerd op hydraulische condities die eens in de 10.000 jaar voorkomen. Omdat de hydraulische condities in het IJsselmeergebied sterk afhangen van de wind, moet er ook rekening gehouden worden met windsnelheden die eens in de 10.000 jaar voorkomen. Echter, de langste windmeetreeks die in Nederland beschikbaar is (bij Schiphol), heeft een lengte van maar 60 jaar en is ook nog eens een landstation. De windmeetreeksen rondom het IJsselmeer hebben een lengte van enkele tientallen jaren, waarin maar erg weinig zware stormen voorkomen.

Bijkomend probleem is dat uit het onderzoek van Bottema(2007) blijkt dat een meetreeks van 15 jaar duidelijk te kort is om variantie veroorzaakt door klimaatschommelingen (die een tijdschaal van tientallen jaren hebben) te kunnen waarnemen. In de meetreeks gebruikt door Bottema(2007) (1997-2006 FL2) kwamen opvallend weinig zware stormen voor.

Verder moet de data gevalideerd worden voordat het wordt toegevoegd, op dit moment zijn er nog data die niet goed nagekeken zijn en soms enorme meetfouten bevatten of consequent te hoog of te laag liggen.

1.3 Onderzoeksdoel

De doelstelling van dit onderzoek is:

De selectie van meetgegevens voor de validatie van verwachtingsmodellen.

1.4 Onderzoeksvragen

1. Waarom kunnen de modellen op dit moment niet één op één gevalideerd worden met meetgegevens?
2. Welke invloed heeft de wind (de motor van het systeem) op het gedrag van het watersysteem?
3. Welke meetgegevens zijn van belang voor het valideren / verbeteren van de verwachtingen?

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat een beschrijving van het **studiegebied**, waarin het IJsselmeergebied beschreven wordt, de taken en werking van de Waarschuwingsdienst IJsselmeergebied(WDIJ) uitgelegd worden en de bedreiging van de dijken uitgelegd wordt.

In **hoofdstuk 3** worden de **modellen** die gebruikt worden door de WDIJ beschreven. Verder wordt de huidige **databeschikbaarheid** behandeld. Er wordt gekeken welke meetdata er op dit moment op welke locaties beschikbaar is.

In **hoofdstuk 4** worden de methoden van dit onderzoek uitgezet. Er worden methoden voor de selectie van meetlocaties, de selectie van extreme meetwaarden en voor analyse van het watersysteem gegeven.

Hoofdstuk 5 behandelt de resultaten die volgen uit de in hoofdstuk 4 behandelde methoden.

In **hoofdstuk 6** worden in een discussie de sterke en minder sterke punten van dit onderzoek aangegeven.

Hoofdstuk 7 bevat de conclusies en aanbevelingen, in dit hoofdstuk zullen de onderzoeksvragen beantwoord worden.

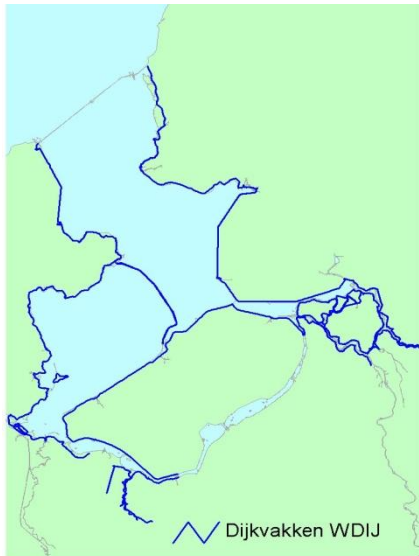
omdat in de zomerperiode de invoer van het gebied lager is. Tussen 20 maart en 10 april wordt overgegaan van winter- naar zomerpeil, tussen 20 september en 10 oktober van zomer- naar winterpeil. Als de waterstand bij de Ramspolbrug nabij Kampen hoger dan N.A.P + 0,50 meter is wordt de daar gelegen balgstuw opgeblazen, die het Zwartemeer en het daarachter gelegen gebied afschermt. (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2006)

In plannen van de Deltacommissie, een commissie die advies geeft over hoe Nederland op de lange termijn waterveilig blijft met het oog op klimaatveranderingen, wordt geadviseerd het meerpeil op het IJsselmeer te verhogen met maximaal 1,5 meter. Dit om tot na het jaar 2100 onder vrij verval te kunnen blijven spuien op de Waddenzee (Deltacommissie, 2008). Indien deze verhoging van het meerpeil doorgevoerd wordt, zal dit grote gevolgen hebben voor de waterveiligheid van het IJsselmeergebied. De dijken zullen verhoogd moeten worden en er zullen nieuwe of verbeterde kunstwerken aangelegd moeten worden. Met het ook op deze veranderingen is een verbetering van de WDIJ modellen nuttig.

In bijlage B1 staat verdere informatie over het IJsselmeer aangevuld met enkele figuren.

2.2 De Waarschuwingsdienst Dijken IJsselmeergebied

De Waarschuwingsdienst Dijken IJsselmeergebied (WDIJ) is opgericht op 1 november 1986. Het is de taak van de WDIJ om dijkbeheerders te waarschuwen als er gevaarlijk hoge waterstanden, golven en golfoploop verwacht worden. Voor ieder dijkvak is een alarmeringsniveau gekozen, meestal van de golfoploop.



Figuur 3: De dijken waarvoor de Waarschuwingsdienst IJsselmeergebied (WDIJ) waarschuwingen uitgeeft. Een overzicht van alle dijkvakken is te zien in bijlage B2

Dit niveau hangt af van de locatie, oriëntatie, vorm en kruinhoogte van het dijkvak. Als de verwachting bestaat dat het alarmeringsniveau overschreden gaat worden, gaat er een waarschuwingsbericht naar de betreffende dijkbeheerder. De dijkvakken waarvoor de WDIJ waarschuwt staan in figuur 3.

Een waarschuwingsbericht van de WDIJ bevat informatie over de verwachte waterstanden, golven en golfoploop op elk dijkvak (Alkyon, 2007). De WDIJ is niet zelf verantwoordelijk voor te nemen maatregelen, maar waarschuwt wanneer er gevaarlijk hoge waterstanden en golfoploop verwacht wordt. De dijkbeheerders (waterschappen) zijn vervolgens verantwoordelijk voor het nemen van maatregelen tegen overstromingen en/of het waarschuwen van de burgers.

In 1986 behoorden alleen sommige dijkvakken langs het IJsselmeer en het IJsseldeltagebied (Ketelmeer, Vossemeer en Zwartemeer) tot het werkteur van de WDIJ. Tegenwoordig is het gebied waarvoor de WDIJ verantwoordelijk is uitgebreid met de beneden-IJssel tot Olst, het Zwartewater, de Overijsselse Vecht tot Vechterweerd, het Markermeer, de Gouwe, het IJmeer, het Gooimeer, het Eemmeer en het Nijkerkernauw. De locaties zijn te zien in figuur 2. Een overzicht van alle dijkvakken is te zien in bijlage B2.

Als er gevaarlijk hoge waterstanden verwacht worden, wordt er een waarschuwing uitgegeven door de WDIJ. De verwachting bestaat uit de volgende onderdelen:

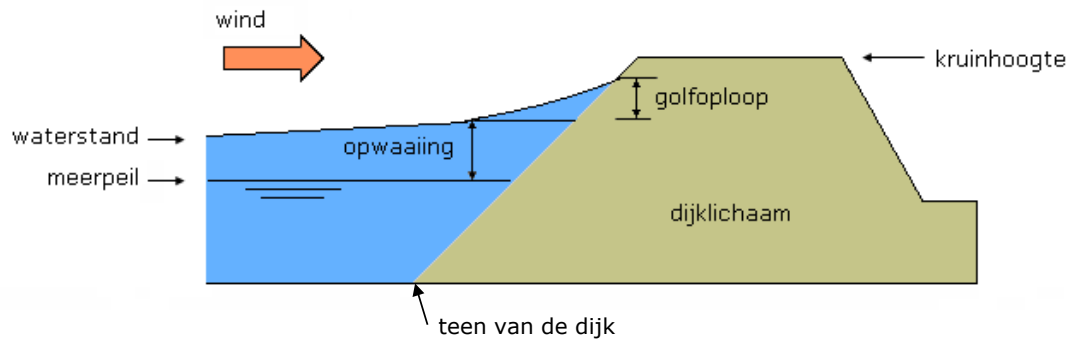
- de waterstanden (met meerdere Waqua modellen);
- golfberekeningen voor de grote wateroppervlakten (Swan);
- golfoploopberekeningen.

2.3 Hoge waterstanden door opwaaiing

Onder invloed van de wind kunnen de waterstanden en de golfoploop bij de dijken door opwaaiing tot gevaarlijke hoogten stijgen. (zie figuur 4).

De volgende factoren zijn van invloed op de waterstand en golfoploop:

- Het meerpeil;
- De windsnelheid, windrichting en het stormverloop, o.a. stormduur;
- De vorm en bekleding van de dijk en de aanwezigheid van voorland;
- De dijkoriëntatie ten opzicht van de windrichting;
- De vorm en de waterloopkundige eigenschappen van het meer;
- De rivierafvoer



Figuur 4: Bedreiging dijk onder invloed van wind (Doorn, 2006)

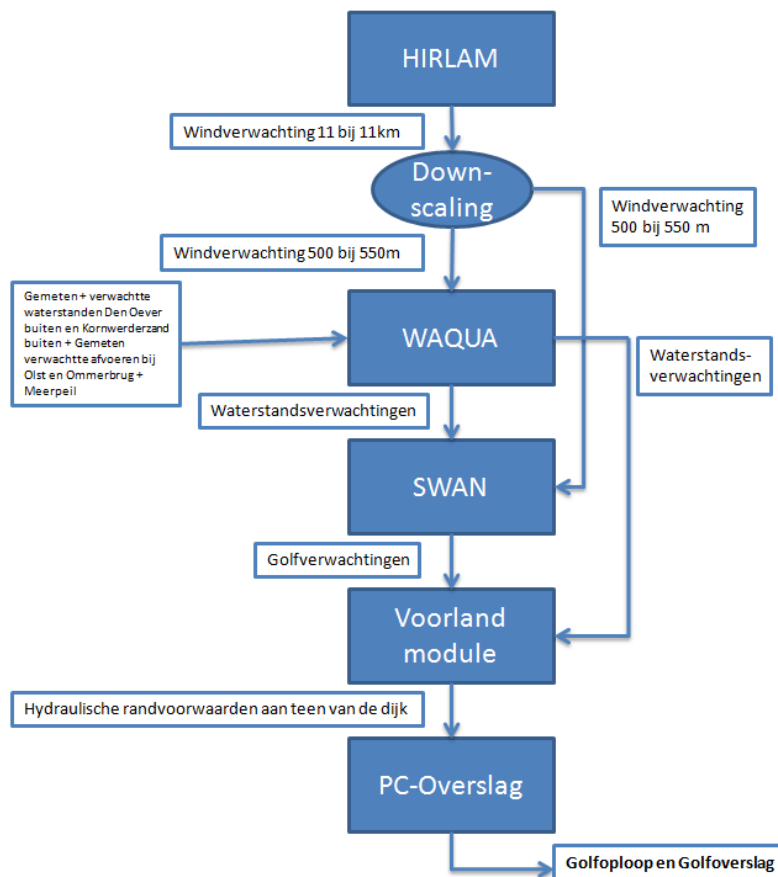
HOOFDSTUK 3 Modellen en Databeschikbaarheid

In dit hoofdstuk zullen de modellen gebruikt voor de verwachtingen van de Waarschuwingsdienst IJsselmeer (WDIJ) beschreven worden. Verder zal de huidige beschikbaarheid van meetgegevens van het IJsselmeergebied behandeld worden.

3.1 Modelbeschrijving

De WDIJ maakt gebruik van een zogenaamde ‘modellentrein’. In deze modellentrein worden verschillende modellen achter elkaar gedraaid. Een stroomschema hiervan is te zien in figuur 5. Voor de verwachtingsmodellen van de WDIJ worden de volgende modellen achter elkaar afgespeeld:

- Windmodel: -HIRLAM 11km (KNMI)
→ Downscaling van dit windmodel voor een hogere resolutie (500m)
- Waterstandmodel: -WAQUA (WATER QUAntity)
- Golfmodel: -SWAN (Simulating WAVes Nearshore)
→ Voorlandmodule voor soepele overgang tussen meer en land.
- Golfoploopmodel: -PCOverslag



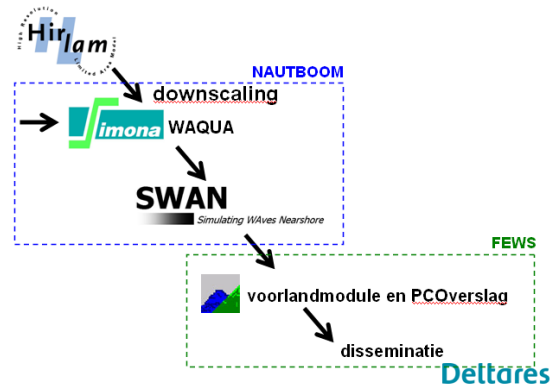
Figuur 5 Stroomschema modellen WDIJ. Een gedetailleerder stroomschema is te vinden in bijlage C1.

De modellen staan nu nog in twee verschillende omgevingen, namelijk NAUTBOOM en FEWS (Flood Early Warning System)(figuur 6). In de toekomst zal alles geïntegreerd worden in FEWS.

De modellen draaien in de volgende volgorde:

Eerst verzorgt het KNMI een voorspelling met het meteorologisch model HIRLAM(dit vergt ongeveer drie uur rekentijd).

Daarna start FEWS Meren (via Nautboom) simultaan twee modellentreinen, één voor het Compartiment I IJsselmeer en één voor compartiment II Markermeer. Voor het SWAN model worden beide compartimenten nog een keer onderverdeeld, het Ketel- en Vossemeer en het Gooi- en Eemmeer vormen hier eigen compartimenten (Deltares, 2011a).



Figuur 6: Modellentrein WDIJ

Windmodel: HIRLAM

Bij de berekening wordt voor de windverwachting gebruik gemaakt van het meteorologische model Hirlam11 van het KNMI. Dit model geeft gedetailleerde

windverwachtingen zowel in de tijd als in de ruimte, met een rooster van 11 bij 11km. Omdat deze resolutie te grof is voor het IJsselmeer is er een fijner rooster nodig, hiervoor heeft het KNMI een downscaling programma ontwikkeld, dat de resolutie verhoogt naar 500 bij 500 meter. Bij deze downscaling wordt voor elke cel van 500 bij 500 meter aan de hand van de ruwheid van het terrein een nieuwe waarde berekend uit de originele 11 bij 11km data. De windvoorspelling is erg belangrijk voor de verwachtingsmodellen voor het IJsselmeer, omdat de wind de drijvende kracht achter het watersysteem is (Alkyon, 2007).

Waterstandmodel: WAQUA

WAQUA is het waterbewegingsmodel dat Rijkswaterstaat gebruikt, waarmee waterloopkundige processen in meren, rivieren en zeeën kunnen worden gesimuleerd. Met WAQUA worden waterstanden, waterstromingen en concentraties van opgeloste stoffen berekend in open wateren. WAQUA werkt met diepte gemiddelde waterstromingen en concentraties, er wordt verondersteld dat deze niet variëren over de diepte (z-as) van de gesimuleerde rivier, zee of in dit geval het meer dat wordt gesimuleerd. De variatie van de waterstroming en concentraties opgeloste stoffen in de lengte (x-as) en breedte (y-as) van een volume worden wel door WAQUA gesimuleerd. Het is dus een 2D (tweedimensionale horizontale) benadering. De concentraties van opgeloste stoffen zijn voor het overstromingsgevaar en dus de WDIJ niet van belang. (Rijkswaterstaat)

Golfmodel: SWAN

SWAN is een golvenmodel voor de simulatie van wind gegenereerde korte golven voor de kust en in binnenwateren. SWAN is public domain software en eigendom van de Technische Universiteit Delft. RWS WDIJ gebruikt SWAN voor de verwachtingen van de golfhoogten in het IJssel- en Markermeergebied.

Voorlandmodule

Uit de WAQUA en SWAN modellen komen hydraulische basiscondities op zogenaamde uitvoerlocaties. Deze locaties bevinden zich op enige afstand van de dijk. In de grotere meren bedraagt deze afstand globaal 200 meter en in de kleinere globaal 100 meter.

Deze hydraulische basiscondities kunnen in sommige gevallen worden beschouwd als representatief voor de hydraulische condities ter plaatse van de teen van de dijk. Dit is echter niet het geval als de door golven en en wind afgelegde weg tot de uitvoerlocatie niet significant groter is dan de nog af te leggen weg tot de dijk, of als er obstakels of oneffenheden in de bodem voorkomen. In deze gevallen worden met behulp van de voorlandmodule nieuwe hydraulische condities berekend. (RIZA, 1999)

PC-Overslag

Als de hydraulische randvoorwaarden aan de teen van de dijk bekend zijn, kunnen de golfloop en golfoverslag bepaald worden met behulp van het model PC-Overslag (van der Meer, 2002)

De modellen worden in bijlage C1 nader toegelicht.

3.2 Beschikbaarheid meetgegevens

De verwachtingsmodellen van de WDIJ hebben de wind en windrichting als input- en de waterhoogte, golfhoogte en golfloop als output-variabelen. In en rond het IJsselmeergebied worden deze variabelen door verschillende instanties gemeten. Er zijn drie meetprojecten die het IJsselmeer systematisch al langere tijd monitoren. Twee hiervan zijn opgezet door RWS, één door het KNMI. Deze meetprojecten zijn:

- RWS: -Metingen van het Landelijk Meetnet Water (LMW)

 -Metingen van meetpalen in het IJsselmeergebied uitgevoerd door RWS IJsselmeergebied (IJG)
- KNMI: -Windmeetstations

In deze paragraaf zal elk van de meetprojecten kort besproken worden. Uitgebreidere informatie over de meetprojecten staat in bijlage C2.

Metingen LMW

Het Landelijk Meetnet Water is een voorziening die verantwoordelijk is voor de inwinning, opslag en distributie van waterbeheergegevens. Op de meetpunten worden hydrologische gegevens als waterstand, debiet en golfhoogte gemeten en ook meteorologische gegevens als windsnelheid en windrichting. De golfhoogte wordt alleen gemeten op meetpalen van de RWS dienst IJsselmeerGebied (IJG). De meteorologische gegevens worden verzameld in nauwe samenwerking met het KNMI en worden naast de KNMI stations ook gemeten op de meetpalen. Er vindt ook uitwisseling van informatie met het KNMI plaats. De gegevens worden opgeslagen en zijn opvraagbaar via de informatiesystemen MATROOS en DONAR. Waterhoogten zijn ook beschikbaar via de Waterbase website. In bijlage C2 is meer informatie over de opvraagbaarheid van de data te vinden.

Landelijk zijn er meer dan 400 meetpunten, waarvan er 30 betrekking hebben op het IJsselmeer. Deze locaties zijn te zien in figuur 7.



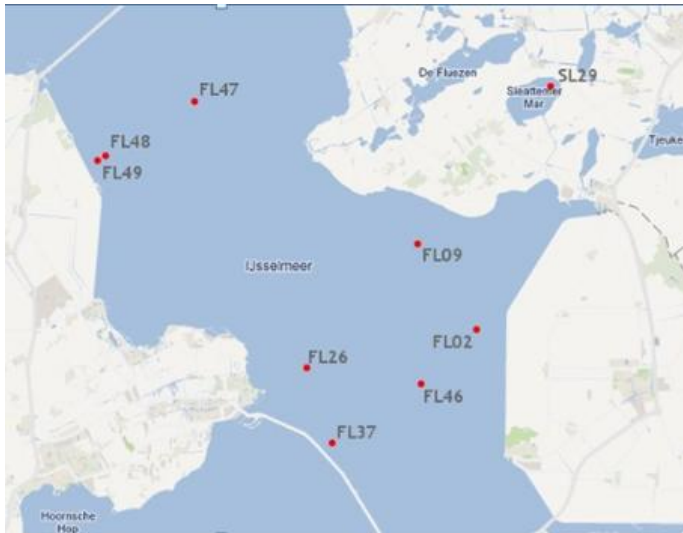
Figuur 7: De meetpunten opgenomen in het Landelijk Meetnet Water (LMW) in en om het IJsselmeergebied.

Hierbij zijn ook meetpunten die de waterhoogte in de Waddenzee meten en meetpunten die de afvoer op verschillende plekken in de IJssel meten, omdat deze watersystemen invloed hebben op het IJsselmeer. Sinds 2006 worden ook de meetgegevens van vijf meetpalen van RWS IJG meegenomen in het LMW systeem (www.helpdeskwater.nl, 2013)

Metingen meetpalen IJG

Sinds 1996 worden er veldmetingen verricht op het IJsselmeer, uitgevoerd door RWS IJG met behulp van meetpalen. Deze metingen bestaan uit golf-, waterstand- en windmetingen. In totaal zijn er meetreeksen van acht verschillende meetpalen in het IJsselmeer. In het rapport van Bottema (2007) wordt ook nog gebruik gemaakt van de meetgegevens van een meetpaal in het Slotermeer als onafhankelijk vergelijkingsmateriaal.

Meetpalen zijn uitgerust met energievoorziening, meetinstrumenten en telemetrie om de gemeten data naar de wal te sturen. De locaties van de meetpalen zijn te zien in figuur 8.



Figuur 8: Meetlocaties meetpalen Rijkswaterstaat dienst IJsselmeerGebied (IJG).

De gegevens zijn beschikbaar via de WEBWAVES website, dit is een site die het opslagsysteem DONAR ontsluit. Vanaf 2006 staan de gegevens ook in MATROOS.

Windmetingen KNMI

Het KNMI heeft door het hele land weerstations met windmeters in een open terrein op een mast van 10m hoogte. Het KNMI heeft al zeer lange tijd windmeetstations, maar door veranderingen aan het meetnet zijn windgegevens uit de eerste helft van de 20^e eeuw niet meer vergelijkbaar met die van later datum. Hierdoor begint de langste meetreeks (locatie Schiphol) in 1950 en loopt tot heden.

Er zijn in de historie tien stations in de omgeving van het IJsselmeer geweest, maar deze hebben niet alleen een lange meetreeks en sommigen zijn al lang geleden gesloten. De huidige meetstations zijn weergegeven in figuur 9. De gegevens zijn beschikbaar via de KNMI website en MATROOS.



Figuur 9: Locaties meetstations Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI).

HOOFDSTUK 4 Onderzoeksmethoden

In dit hoofdstuk worden de methoden van dit onderzoek uitgezet. Er worden methoden voor de selectie van meetlocaties, de selectie van extreme meetwaarden en voor analyse van het watersysteem gegeven.

4.1 twintig-minuten- of uurgemiddelden

Allereerst zal gekeken worden of het gebruik van 20 minuten of uurgemiddelden voor de analyse een significant verschil zal maken. Dit wordt gedaan door een visuele vergelijking waarbij van enkele stormen de 20 minuten en uurgemiddelden van de waterhoogten en windsnelheden naast elkaar gelegd zullen worden.

4.2 Selectiemethode significante meetlocaties

Aangezien er in de drie in het vorige hoofdstuk beschreven meetprojecten in totaal 44 meetlocaties zijn die betrekking hebben op het IJsselmeer en het niet haalbaar is om deze allemaal te analyseren, zal er een selectie gemaakt moeten worden van de meest bruikbare meetlocaties.

Voor het verbeteren of valideren van de modellen van de WDIJ is het van belang dat de meetreeksen zo lang mogelijk zijn en zo min mogelijk worden onderbroken. Ook de nauwkeurigheid is van belang. Verder is het logisch om de meetlocaties zo te selecteren, dat ze verspreid liggen over het hele IJsselmeer. Om meetgegevens met elkaar te vergelijken, bijvoorbeeld om te kijken of periodes van harde wind overeenkomen met hoge golven, moeten de meetreeksen zo veel mogelijk overeenkomen in de tijd. Bovenstaande uitgangspunten leiden tot de volgende selectie:

LMW locaties:

Den Oever binnen, Houtrib Noord, Kornwerderzand binnen, Lemmer en Ramspolbrug

Met deze 5 stations zijn alle hoeken van het IJsselmeer vertegenwoordigd, dit is te zien in figuur 10. De locaties van de afvoeren op de IJssel worden niet meegenomen, omdat hoge afvoeren maar zelden tegelijkertijd optreden met overige extreme fenomenen op het IJsselmeer. De data wordt via Waterbase uit DONAR gehaald.

IJG locaties:

FL02, FL09 en FL26.

Bij de selectie van de meetpalen is vooral gekeken naar de lengte en compleetheid van de tijdreeksen. De gekozen meetpalen hebben in de periode 1997 – heden de meest complete tijdreeksen. (zie bijlage D1) De data van 1997-2007 wordt uit DONAR gehaald, de data van 2007 tot heden van de webwaves site.

KNMI locaties:

Berkhout en Stavoren

Deze locaties zijn gekozen omdat ze het dichtst bij de kust van het IJsselmeer liggen en beide zijden van het meer dekken. Er had in dit geval ook gekozen kunnen worden voor Wijdenes, maar deze data is niet beschikbaar via de KNMI website. (zie bijlage D1) Een andere interessante locatie is Houtribdijk, maar de data van deze locatie is niet ontsloten.

Alle geselecteerde meetlocaties zijn te zien in figuur 10. In bijlage D1 staat per meetlocatie aangegeven welk meetinstrument er gebruikt is en wat de eigenschappen en nauwkeurigheden van deze instrumenten zijn.



Figuur 10 Overzicht gekozen meetlocaties. Locaties afkomstig uit het Landelijk Meetnet Water zijn met paars aangegeven, locaties afkomstig van Rijkswaterstaat IJsselmeergebied met rood en KNMI locaties met groen.

4.3 Methode voor extremenanalyse

Gekeken moet worden welke meetgegevens van belang zijn voor het valideren of verbeteren van de verwachtingsmodellen. Zeker is dat niet alle meetgegevens interessant zijn. Omdat het vooral belangrijk is dat de verwachtingen bij extreme gevallen, dus bij storm, zo nauwkeurig mogelijk zijn, zullen vooral meetdata van dagen met hoge windsnelheden van belang zijn. Verder zal het model voor elke windrichting goed moeten presteren daarom zullen er meetdata van elke richting bekeken moeten worden.

Om de voorgaande onderzoeken (Op basis van stormenmethode) aan te vullen met nieuwe 'interessante' data, zal er ook een andere selectiemethode geïntroduceerd worden. Dit is de Extreme-Waarden methode. Bij deze methode wordt niet gekeken naar de zwaarste stormen, maar ook naar de extreme waterstanden, golven en meerpeilen. Op deze manier worden ook periodes

meegenomen waarbij door samenloop van omstandigheden gevaarlijke situaties kunnen ontstaan, waarbij niet noodzakelijkerwijs een extreme windsnelheid aanwezig hoeft te zijn.

Stormenmethode

In onderzoeken van Doorn (2006), Bottema (2007), Alkyon (2007) en Deltares (2011) zijn in het verleden al stormen gekozen. Deze lijst zal aangevuld worden met recentere stormen en stormen met richtingen die niet veel voorkomen.

Uit de inventarisatie van de beschikbaarheid van meetgegevens blijkt dat van de afgelopen 10 jaar de meest complete data beschikbaar is via de KNMI site. Er wordt daarom voor gekozen om in eerste instantie alleen stormen van de laatste 10 jaar, met een windkracht van 8 Beaufort en hoger (KNMI noemt dit 'stormachtig'), dus met windsnelheden van 17,2 m/s en hoger te bekijken.

Hierbij wordt gekeken naar windmetingen van het KNMI bij de twee gekozen meetstations Stavoren en Berkhout. Uit deze metingen worden de stormen met windsnelheden van 17,2 m/s en hoger gefilterd. Om het aantal analyses niet te groot te laten worden, worden alleen de stormen met de hoogste windsnelheden voor elk van de 16 windrichtingen meegenomen. De gekozen meetstations zijn landmeetstations, op het IJsselmeer zal de windsnelheid hoger liggen.

Extreme waarden methode

Bij deze methode worden de extreme waarden van de windsnelheden van de twee windstations genomen, aangevuld met die van de meetpalen FL02, FL09 en FL26. Er wordt echter geen drempel ingesteld zoals bij de stormenmethode, maar een top 15 gemaakt van de hoogst opgetreden windsnelheden. Hetzelfde wordt gedaan bij de 15 hoogst opgetreden waterstanden, golven en opwaaiingen als ook voor de 15 laagst opgetreden waterstanden en afwaaiingen.

De data die horen bij deze extreme waarden worden in een tabel gezet en voor elke datum wordt per variabele (wind, waterhoogte en golfhoogte per meetpunt) gekeken of deze in de top 15 voor die variabele staat. Een datum waarop veel variabelen in de top 15 eindigen komt bovenaan in de tabel. Bij gelijke aantallen top-15 notities van variabelen geeft de gemiddelde waarde van de notering de doorslag, hoe lager hoe beter. Een datum met drie 1^e noteringen komt dus boven een datum met twee 1^e en een 2^e notering.

Op deze manier wordt een lijst met data gemaakt, waarna het gedrag van het IJsselmeer bij elk geval geanalyseerd kan worden. Bij deze methode kunnen ook data voorkomen waarbij onlogische metingen waargenomen worden, zoals hoge golven bij lage windsnelheden. Mochten deze voorkomen, dan kan geanalyseerd worden waarom deze zijn ontstaan. Om het aantal analyses haalbaar te houden, wordt alleen de top tien van interessante data(tijdstippen) meegenomen.

In vorige onderzoeken waarbij gebruik wordt gemaakt van de stormen methode waren er nog extra selectiecriteria zoals constante windrichting (minder dan 10 graden verandering) en maximaal 10% windsnelheidsverandering in de voorgaande twee uur. Deze criteria zijn niet meegenomen in de extremen methode, omdat daar juist de onregelmatigheden bekeken worden.

4.4 Analyse van het watersysteem

Het watersysteem van het IJsselmeergebied wordt aangedreven door de wind, en in kleinere mate door de afvoer van rivieren die in het gebied uitmonden. Door de meetdata van de locaties gekozen in de vorige paragraaf te gebruiken, kan bekeken worden hoe het systeem reageert op verschillende windsnelheden en richtingen, oftewel het gedrag van het watersysteem kan met meetgegevens geanalyseerd worden.

Met deze data kunnen de volgende aspecten van het watersysteem geanalyseerd worden:

- De reactiehoogte van waterstanden in de verschillende uithoeken van het gebied.
- De reactiesnelheid van waterstanden in de verschillende uithoeken van het gebied.
- Gevoeligheid van meetlocaties voor verschillende windrichtingen en snelheden.
- De reactiehoogte van golven op verschillende locaties.
- De reactietijd van golven op verschillende locaties.

Vergelijking met andere studies

In het verleden zijn al dergelijke studies uitgevoerd, daarom worden de resultaten van de meest overeenkomende studie, namelijk die van Bottema (2007), besproken en wordt bekeken of er door de toevoeging van de huidige dataset iets verandert.

Windanalyse, het verband tussen windrichting en windsnelheid

In het onderzoek van Bottema(2007), is onderzocht of er een verband is tussen de windrichting en de windsnelheid op het IJsselmeer bij meetpaal FL2. Deze vergelijking zal opnieuw gemaakt worden met de nieuwe dataset.

Waterhoogte analyse

Stormopzet, de verhoging van de waterstand veroorzaakt door wind, vormt een significant deel van de hydraulische belasting van de dijken in het IJsselmeergebied. Stormopzet is ook erg belangrijk voor het dagelijkse peilbeheer van het gebied, omdat een grote op- of afwaaiing een grote invloed heeft op het volume dat gespuid kan worden naar de Waddenzee.

In het onderzoek van Bottema (2007) is voor een aantal meetlocaties onderzocht voor welke windrichtingen de locaties de meeste en de minste opwaaiing hebben. Voor alle metingen met een windsnelheid tussen de 11 en 13 m/s bij FL2 is de stormopzet tegen de windrichting uitgezet. Hiervoor zijn 2-uurs gemiddelden gebruikt. Dit is gedaan om de invloed van resonante oscillaties zo klein mogelijk te maken en omdat de stormopzet dan hoogstwaarschijnlijk in equilibrium is met de wind, hiermee wordt bedoeld dat als de wind constant blijft zal de stormopzet ook constant blijven. Er is destijds gekozen voor FL2 omdat dit de meetpaal is met de langste meetreeks en de grootste databeschikbaarheid.

Hierna is gekeken wat de stormopzet is voor wind van 8 Beaufort, of 18-19 m/s. Dit is gedaan voor de meetpalen FL2, 5, 9, 25 en 26 en ook voor de locaties Houtrib-noord, Lemmer, Kornwerderzand-binnen, Den Oever binnen en Krabbersgat-noord.

De resultaten van Bottema(2007) zullen worden vergeleken met de nieuwe dataset.

Voor de data gevonden met de extremen-methode zullen de maximale reactiehoogten door opwaaiing van waterstanden en golfhoogten voor verschillende locaties bepaald worden om te zien welke effecten welke windkracht/-richting combinaties hebben op elke locatie.

Verder zal van één storm gevonden met de stormen methode een reactiehoogte-analyse gemaakt worden door op verschillende interessante tijdstippen in een storm de waterhoogten te bepalen. Interessante tijdstippen zijn bijvoorbeeld de pieken van stormen en waterhoogten.

Analyse van reactietijd van het watersysteem

Om de reactietijd van het watersysteem op wind te bepalen, zullen van verschillende stormen grafische en numerieke vergelijkingen gemaakt worden om op dit manier te bepalen of er een duidelijk verband is tussen de windsnelheid en de waterhoogte en of hier een standaard vertraging (tijd) tussen optreedt.

Vergelijking met vuistregel

Vervolgens zal worden geanalyseerd of de gemeten reactiehoogten overeenkomen met de grove theoretische reactiehoogte, berekend met een vuistregel waarbij de waterdiepte constant wordt aangenomen en daarna op verschillende manieren de strijklengte gemeten wordt. Dit wordt gedaan met de opwaaiingsformule van Thijsse:

$$\Delta x = 2 * 10^{-7} * U_{wi}^2 * l/h$$

Waarbij:

Δx = *Het verschil in waterstand met en zonder wind*

U = *de windsnelheid*

l = *de strijklengte*

h = *de waterdiepte*

Voor h is een gemiddelde waterdiepte van 4,5 meter gekozen. (de Jong, 2010)

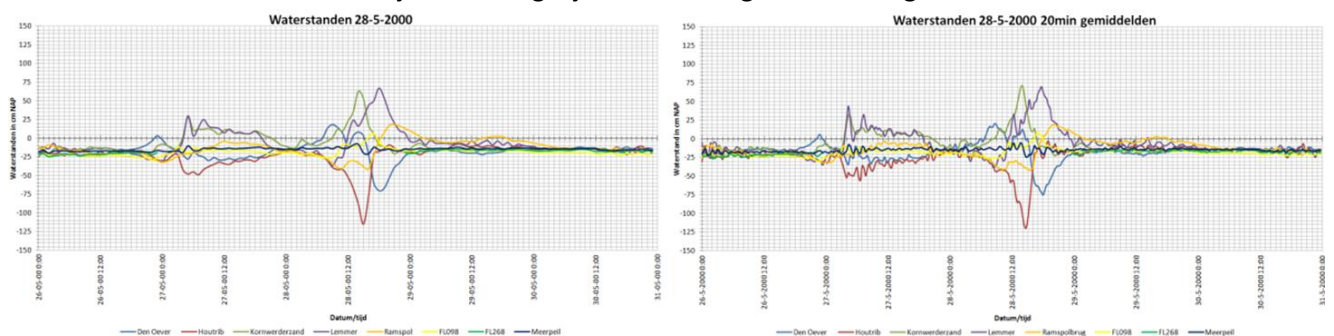
Hierbij zullen twee verschillende methodes (definities) gebruikt worden om de strijklengte te bepalen. Bij de eerste is de strijklengte de afstand van de meetlocatie tot de kust in de omgekeerde windrichting, dus de lengte van het open water van het meetpunt tot de kust in een lijn omgekeerd aan de windrichting. Bij de tweede is de strijklengte de afstand van de meetlocatie tot het verst afgelegen water in de omgekeerde windrichting, hierbij hoeft het water dus niet in een rechte lijn in verbinding te staan met het meetpunt, maar kan het ook om landmassa's heen stromen. Met behulp van de resultaten die hier uit komen zal getracht worden te bepalen welke van deze twee manieren de beste is. Hiervoor zullen grenswaarden voor de fouten ingesteld worden. Bij een grenswaarde van 10 cm bijvoorbeeld zijn alle punten waar het verschil tussen de gemeten waarde en de met de vuistregel bepaalde waarde kleiner is dan 10 cm 'goed' en alle verschillen boven de 10cm 'fout'. Op die manier wordt bekeken welke methode de meeste 'goede' waarden scoort.

HOOFDSTUK 5 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de in het vorige hoofdstuk behandelde methoden gegeven.

5.1 Twintig-minuten- of uurgemiddelden

Om te kijken of er een significant verschil is tussen 20-minuten- en uurgemiddelden zijn drie stormen gekozen, een hiervan is te zien in figuur 11, de rest in bijlage E1. Te zien is dat de piekwaarden, de interessante waarden dus, bij beide nagenoeg even hoog zijn. Wel vallen sommige erg smalle pieken die bij 20 minuten gemiddelden wel aanwezig zijn weg als er uurgemiddelden worden gebruikt. Het is vanuit dit oogpunt dus beter om 20-minutengemiddelden te gebruiken. Voor de voorspellingen van de WDIJ is zon hoog detailniveau echter niet van groot belang, omdat er pas bedreigende situaties ontstaan als er gedurende langere tijd (enkele uren) alarmwaarden worden overschreden. Voor de rest van dit onderzoek zijn waar mogelijk 20-minutengemiddelden gebruikt.



Figuur 11 Vergelijking 20min en uurgemiddelden

5.1 Resultaten extreme waarden meetgegevens

Zoals eerder besproken zijn er twee methodes voor het bepalen van de extreme waarden van de meetgegevens, de extreme-waarden methode en de stormen methode. Bij de extreme-waarden methode worden alle variabelen meegenomen, dus wordt er een keuze gemaakt aan de hand van extreem hoge windsnelheden, extreem hoge of juist lage waterstanden en extreem hoge golven. In de stormen methode worden data met hoge windsnelheden of interessante windrichtingen geselecteerd.

Resultaten Stormen-methode:

Na het selectiecriterium van 8bft en hoger blijkt dat er in verhouding veel stormen met windrichtingen aan de westkant van de windroos en zijn en erg weinig aan de oostkant. Dit is ook te zien in de frequentietabel in bijlage E2

Een NO storm heeft een lange strijklengte richting Amsterdam dus mocht er een krachtige noordooster-storm ontstaan, dan kan deze Amsterdam bedreigen. Ook een langdurige krachtige oostenwind kan in theorie tot veel opwaaiing leiden in Noord-Holland. De dijken zijn ontworpen voor stormen met een bepaalde frequentie van voorkomen. Als een oostenwind-storm met windkracht 8 eens in de 10.000 jaar voorkomt, dan is de dijk daarop ontworpen. De dijken die gevoelig zijn voor oostenwind zijn dus ontworpen op lagere windsnelheden, omdat oostenwind stormen minder vaak voorkomen. Juist daarom is het van belang het model ook bij deze windrichtingen te valideren. In de meetgegevens zijn geen stormen met deze windrichtingen met 8bft of hoger, dus er zal een lagere

drempel gekozen moeten worden. Als er een compleet overzicht is met beschikbare stormen, kan daarmee een goede set stormen voor een validatie gekozen worden.

Er zijn dus vooral stormen nodig uit de richtingen tussen noord en zuid aan de oostkant van de windroos. Om bij deze windrichtingen de hoogste windsnelheden te vinden, zijn de KNMI winddata gesorteerd op windrichting, waarna de sterkste stormen uit de data gefilterd zijn. De stormen die op deze wijze geselecteerd zijn staan in bijlage E3 met geel aangegeven.

Uit deze totale verzameling stormen zijn vervolgens de volgende stormen geselecteerd voor analyse, deze selectie bestaat uit stormen met interessante windrichtingen en stormen die nog niet in eerdere onderzoeken zijn geanalyseerd. Deze selectie is te zien in tabel 1. In bijlage E3 is de totale lijst met de in 3.3 beschreven methode geselecteerde stormen weergegeven.

Tabel 1 Resultaten stormen-methode Snelheid is de windsnelheid in m/s en richting de windrichting in graden N

Datum	Stavoren			Berkhout		
	Richting	Richting	Snelheid	Richting	Richting	Snelheid
1-3-2008	WNW	290	20	WNW	290	19
12-3-2008	W	270	19	WZW	250	22
9-1-2010	NO	45	13	NO	45	13
30-8-2010	N	360	17	N	360	12
13-12-2011	Z	180	16	Z	180	13
3-1-2012	ZZW	200	18	ZZW	200	18
24-3-2013	O	90	14	O	90	14

Resultaten extreme-waarden methode:

De geselecteerde interessante data zijn te zien in tabel 2. De top 10 is geselecteerd volgens de extreme-waarden methode, enkelen zijn geselecteerd omdat daar een afwijkende extreme voorkomt, bijvoorbeeld een extreme golfhoogte zonder extreme wind. In bijlage G1 zijn de eigenschappen en het stormverloop van de top tien in grafiekvorm te zien. In bijlage E4 is de totale lijst van de met de extreme-waarden-methode verkregen interessante data zichtbaar.

Beide methodes leveren vrijwel dezelfde data op, maar omdat er bij de stormen methode geen data gekozen zijn die al in eerdere onderzoeken of validaties gebruikt zijn en gekozen is voor stormen met een interessante windrichting, is er in de selectie nog maar een overeenkomstige datum, namelijk 3-1-2012.

Tabel 2 Top 10 resultaten extreme-meetgegevens-methode

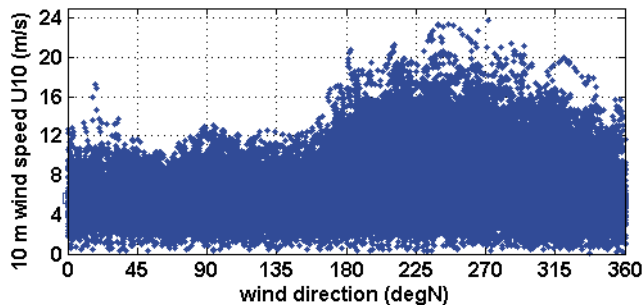
1	18-1-2007
2	28-2-2002
3	28-5-2000
4	27-10-2002
5	1-11-2006
6	9-3-2002
7	6-11-1998
8	9-2-2004
9	3-1-2012
10	30-10-2000

5.2 Analyse van het hydrologische systeem

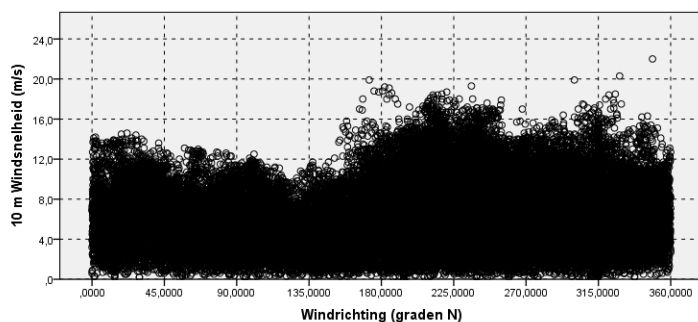
Het hydrologisch systeem van het IJsselmeer is primair windgedreven, de afvoer naar het IJsselmeer speelt maar een kleine rol. In deze paragraaf zullen er op de in de vorige paragraaf gevonden interessante data enkele analyses uitgevoerd worden. De resultaten van deze analyses zijn veelal in tabel of grafiekvorm.

Vergelijking met eerdere studies: Wind analyse

De resultaten van Bottema(2007) zijn te zien in figuur 12. Het lijkt er op dat windrichtingen tussen 180 en 360 graden uit het westen een hogere windsnelheid opleveren. Dit komt overeen met het Markermeer onderzoek (Bouws, 1986). Bottema stelt dat de dataset, ondanks het ontbreken van zware stormen (voor dijkontwerp wordt uitgegaan van 35 tot 40m/s, hier is het maximum 24 m/s), toch de best beschikbare kan zijn, omdat andere datasets een kleiner windsnelheidsbereik hebben. Het experiment bij lake George, New South Wales, Australië, bevat bijvoorbeeld windsnelheden met slechts een maximum van 20 m/s (Babanin & Young, 2001)



Figuur 12 Windsnelheid in relatie tot windrichting gemeten bij FL2 van midden 1997 tot 1/2/2007(Bottema, 2007)

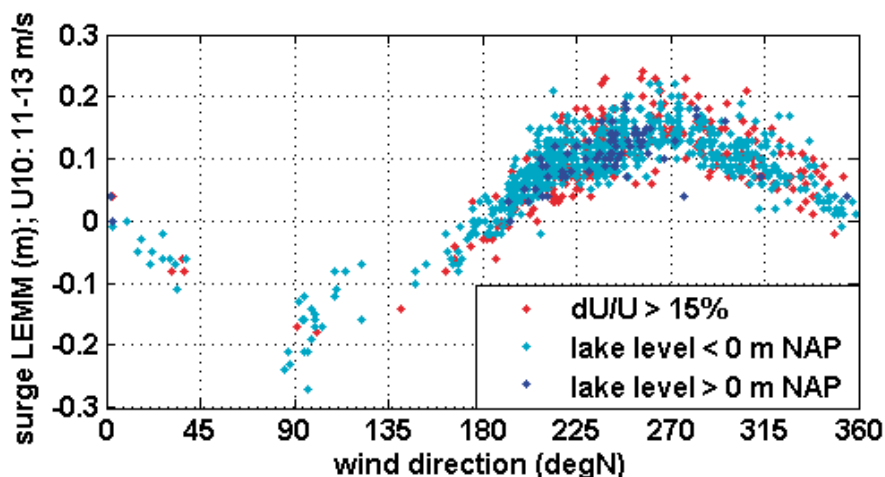


Figuur 13 Windsnelheid in relatie tot windrichting gemeten bij FL2 van 2007 tot 2013

In figuur 13 is te zien dat er in de afgelopen 6 jaar eenzelfde verschil te zien is tussen de 0-180 en de 180-360 windrichtingen. Er is ook te zien dat er in deze periode nog minder zware stormen zijn geweest dan in de periode van het onderzoek van Bottema. Dit zou kunnen komen door de kortere periode. Aan de hand van de kleine verschillen tussen deze scatterplots te zien in bijlage E5 wordt aangenomen dat de meetdata vanaf 2007 weinig zal veranderen aan de resultaten uit het rapport van Bottema die hieronder besproken zullen worden.

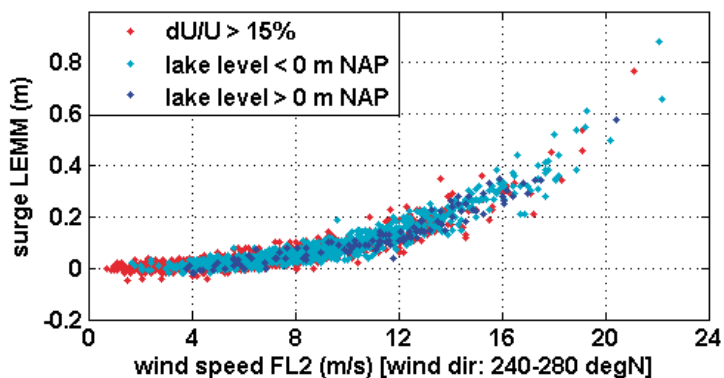
Vergelijking met eerdere studies: Waterhoogte Analyse

Een voorbeeld van gevoeligheid voor windrichtingen bij het meetpunt Lemmer is te zien in figuur 14 (De windmetingen zijn hierbij afkomstig van FL2, de stormopzet is gemeten bij Lemmer). Bij Lemmer ligt de piek van de stormopzet duidelijk bij een windrichting tussen 240 en 280 graden.



Figuur 14 Stormopzet bij het meetstation Lemmer als een functie van de windrichting, bij een windsnelheid van 11-13 m/s bij FL2. Alle data zijn 2-uurs gemiddelden. $dU/U > 15\%$ staat voor winden waarbij de windsnelheid meer dan 15% per uur veranderd. (Bottema, 2007)

In figuur 15 is de stormopzet tegen de windsnelheid uitgezet bij een windrichting van 240-280 graden. Hierbij is een duidelijk verband te zien, maar dit is niet duidelijk genoeg om iets te zeggen over de windsnelheden van 35-40 m/s waarop de dijken ontworpen zijn omdat er te weinig hoge windsnelheden zijn.



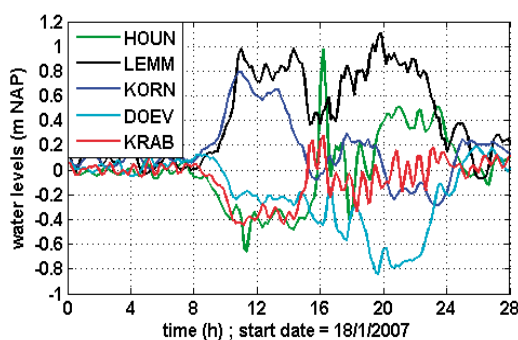
Figuur 15 Stormopzet bij het meetstation Lemmer als een functie van de windsnelheid bij FL2, voor windrichtingen tussen de 240 en 280 graden. Alle data zijn 2-uurs gemiddelden. $dU/U > 15\%$ staat voor winden waarbij de windsnelheid meer dan 15% per uur veranderd. (Bottema, 2007)

Tabel 3 Geschatte windrichtingen bij minimale stormopzet, windrichtingen met maximale stormopzet en de maximale stormopzet (gemiddelde en standaarddeviatie) bij windsnelheden van 17-19 m/s bij FL2.

location	near-zero storm surge		near-maximum surge	
	1 st wind dir.	2 nd wind dir	wind dir	surge (m)
FL2	~50°	~200°	~270°	+0.31±0.09
FL9	~170°	~360°	~250°	+0.14±0.04
FL26	~100°	~270°	~210°	-0.19±0.04
HOUN	~90°	~270°	~190°	-0.51±0.06
LEMM	~180°	~360°	~250°	+0.36±0.07
KORN	~100°	~260°	~190°	+0.52±0.06
DOEV	~30°	~220°	~290°	-0.41±0.12
KRAB	~110°	~290°	~190°	-0.31±0.05

In de praktijk kan de stormopzet nogal verschillen van stationaire gevallen. Dit kan komen doordat de wind te snel van richting veranderd voor het meerpeil in zijn evenwichtstand kan komen, of door oscillaties van orde grootte 1 uur van het meerpeil door resonantiephenomenen (Bottema 2007). Omdat de reactietijden van het meerpeil en de windrichtingveranderingen bij gemeten stormen van 8bft en hoger niet met elkaar te vergelijken zijn omdat er steeds een draaiing van de wind optreedt die in de meeste gevallen verschillend is, is een directe reactietijd bij individuele gevallen bepalen bijna onmogelijk. Het is praktischer om aan te nemen dat een stormopzet in evenwicht is na een tijd die ongeveer gelijk is aan de tijd die een lange golf er over doet om van de ene kant naar de andere kant van het IJsselmeer te verplaatsen. Voor golven die zich in ZW-NO richting verplaatsen is dit ongeveer 1 uur, voor NW-ZO richting ongeveer 2 uur. Uit een analyse van de resonantie periodes van het IJsselmeer (Jong et al. , 2006) (Jong, Bottema, Labeur, Battjes, & Stolker, 2006) blijkt dat deze periodes 4.4 uur NW-ZO is en 1.3-2.3 uur ZW-NO.

Door oscillatie van het waterpeil zijn waterpeil verhogingen en schommelingen van een paar decimeter niet ongebruikelijk. In figuur 16 is een plotselinge piek van +98 cm te zien bij de Houtrib



Figuur 16 Waterhoogte registraties bij meetstations op 18-19 januari 2007

meetlocatie. Bottema concludeert uit dit figuur en uit andere meetresultaten, dat in ieder geval bij de locaties Lemmer en Houtrib de amplitude van een resonante waterpeilschommeling net zo groot kan zijn als de grootste stormopzet die er gemeten is van 2000-2006. Resonantieverschijnselen kunnen dus een significant verschijnsel zijn voor de dijkbelasting .

Aan de gevoeligheidsanalyse van de opzetten in verschillende meetlocaties voor verschillende richtingen, uitgevoerd door Bottema, is niet veel meer toe te voegen omdat de meetreeks tot op heden geen hoge windkrachten toevoegt aan de reeks gebruikt in 2007.

Reactiehoogten waterstanden en golven

Voor de data gevonden met de extremen-methode zijn de maximale reactiehoogten van waterstanden en golfhoogten voor verschillende locaties bepaald. In tabel 4 kan gezien worden welke effecten welke windkracht/richting combinaties hebben op elke locatie bij de storm van 18-1-2007. Tabellen van de andere data zijn te vinden in bijlage E6. Opwaaiing is alleen voor de kustlocaties bepaald, omdat opwaaiing op het midden van het meer niet van belang is voor de dijkbelasting.

Tabel 4 Reactiehoogten waterstanden en golfhoogten op 18-1-2007
18-1-2007 (Harde wind bij hoog meerpeil)

Wind: 23 m/s bij richting 270 graden N

Meerpeil: (gemiddeld over 5 dagen) +10cm NAP

Opwaaiing/Afwaaiing min/max (cm)

Den Oever:	-83	6
Houtrib:	-58	40
Komwerderzand:	-33	58
Lemmer:	-5	93
Ramspolbrug:	-8	58

Waterstanden min/max (cm NAP):

Den Oever:	-79	22
Houtrib:	-60	81
Komwerderzand:	-29	78
Lemmer:	-7	110
Ramspolbrug:	-3	70
FL028:	-12	70
FL021:	-33	64
FL091:	2	46
FL268:	1	6
FL261:	-21	22

(incomplete reeks)

Golfhoogte max(cm NAP):

FL028:	185
FL021:	204
FL098:	179
FL091:	164
FL268:	48

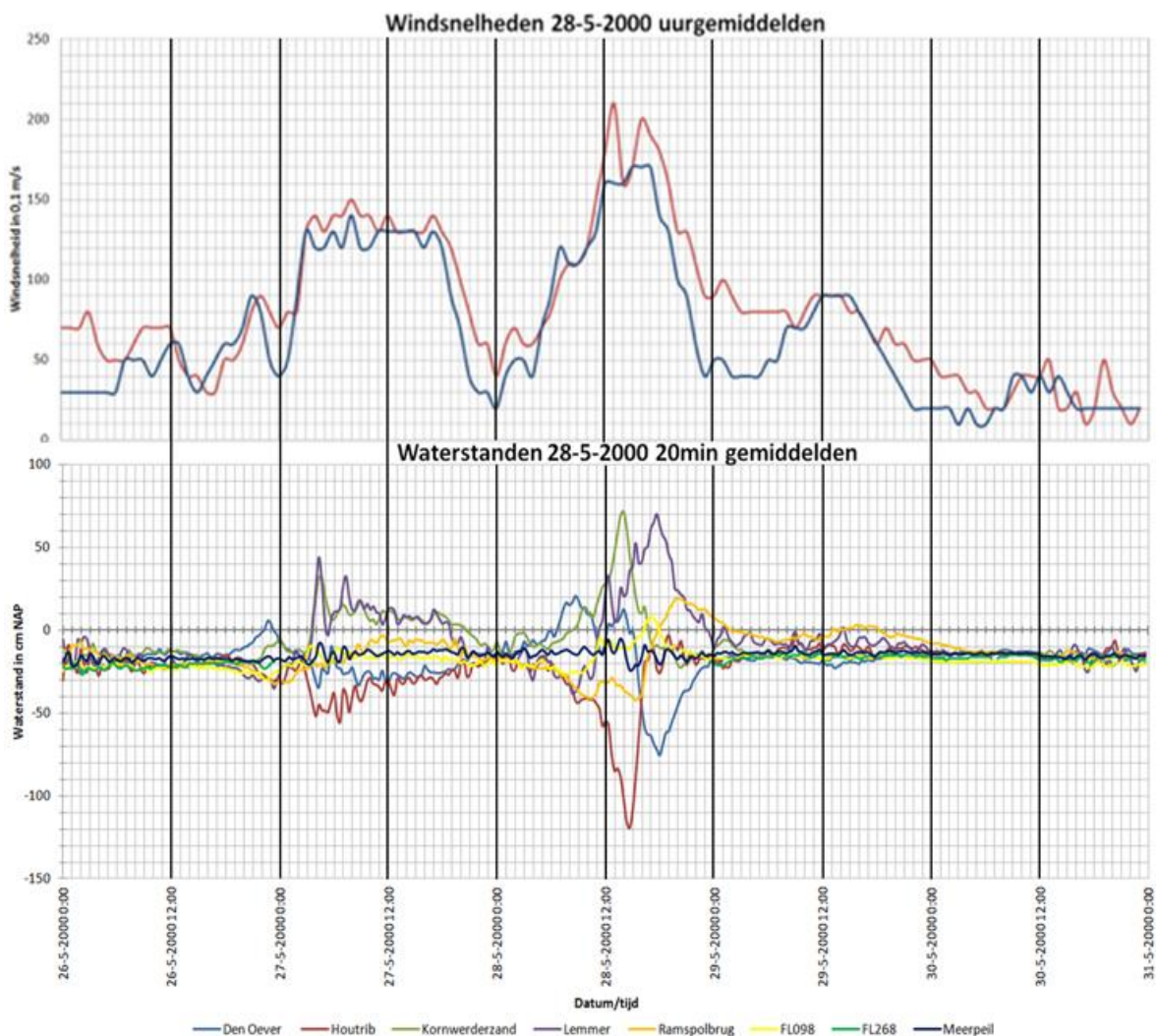
(incomplete reeks)

Uit de resultaten blijkt dat de opwaaiing sterk toeneemt met een toenemende windkracht. Als voorbeeld kunnen de stormen van 6-11-1998 en 18-1-2007 genomen worden. Bij een windsnelheid van 16 m/s bij 260 graden noord, is de maximale opwaaiing bij de Lemmer 30cm. Bij eenzelfde windrichting maar met een windkracht van 23 m/s ontstaat er bij Lemmer een opwaaiing van 93 cm. Omdat er te weinig stormen zijn met een windsnelheid boven de windkracht 8 is het niet mogelijk om een betrouwbaar verband tussen de windsnelheid en opwaaiing te vinden. In modelvorm is dit onder andere in de WDIJ toetsingsapplicatie opgeslagen.

Voor één storm uit de stormen-methode, namelijk die van 1-3-2008, zijn op verschillende tijdstippen de waterhoogten bepaald. De storm van 1-3-2008 had twee pieken met verschillende windrichtingen, waardoor hier goed het effect van de windrichting op de opwaaiing te zien is. Er is ook gekeken of de verschillende windrichtingen in deze volgorde de opwaaiing versterken, verzwakken of onafhankelijk zijn. De eerste piek bestond uit een wind van 20 m/s zuidwestenwind, de tweede piek uit een wind van 20 m/s west-noord-westenwind. Uit de analyse blijkt dat voor de meeste locaties deze combinatie van windrichtingen voor de opwaaiing onafhankelijk is. Echter bij de Roggebotsluis Noord blijkt deze combinatie een versterkend effect op te treden. Dit kan verklaard worden door de vorm van het gebied voor de Roggebotsluis: door de ZW-wind wordt het water opgestuwd richting de ingang van het Ketelmeer, waarna de WNW-wind het water verder het ketelmeer opstuwt. De verdere resultaten van deze analyse zijn te zien in bijlage E7.

Reactietijden watersysteem

Voor de data gevonden met de Stormen-methode is het verloop grafisch weergegeven, waarbij per locatie de reactie van de waterstand apart is weergegeven. Hiermee zouden in theorie de reactiehoogte en reactietijd per locatie bepaald kunnen worden. De reactietijd blijkt echter erg lastig te bepalen, omdat de windsnelheid op andere locaties wordt gemeten dan de waterhoogten, waardoor de begintijd van de storm niet noodzakelijkerwijs overeenkomt met de begintijd van de storm op het waterhoogtemeetpunt. Ook verschillen de reactietijden per windrichting. Om een betekenisvolle reactietijd te bepalen is dus een constante wind uit een constante richting nodig, wat in de praktijk zelden tot nooit voorkomt, alleen bij een forse depressie die vrij ver weg is en zich bijna niet verplaatst. De grafieken van de waterstanden per locatie per storm zijn te vinden in bijlage G2.



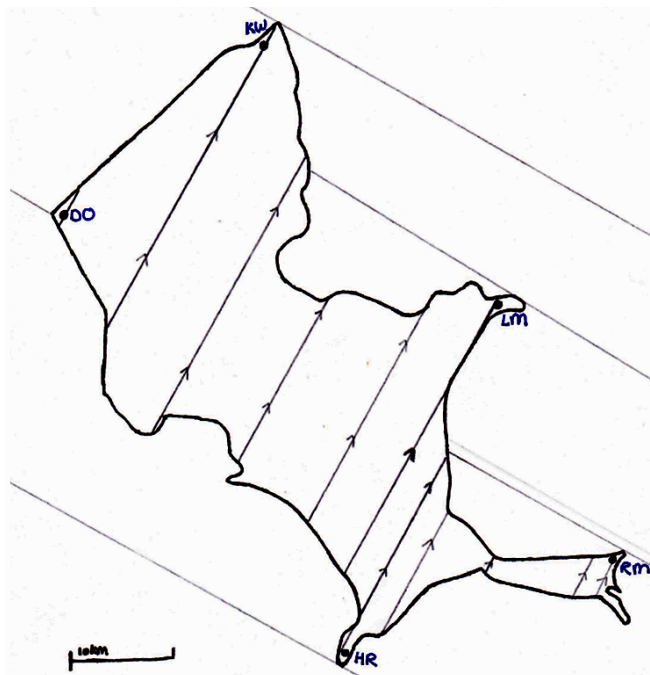
Figuur 17: Reacties waterstanden bij de storm van 28-5-2000. In de bovenstaande grafiek staan de windsnelheden gemeten bij Berkhout (blauw) en Stavoren (rood). In de onderste grafiek staan de waterstanden gemeten op verschillende locaties.

In figuur 17 zijn de reacties van de waterstanden behorende bij interessante data gevonden met de extremen methode samen in één grafiek weergegeven. Op deze manier is het wel duidelijk te maken dat elke locatie een andere reactietijd heeft. Er kan daarbij gekeken worden wat het verband is tussen de windkracht- en richting en de volgorde van de reacties van de locaties, maar ook zou

hiervoor weer een constante wind nodig zijn. Er is wel duidelijk te zien welke locaties gevoelig zijn voor welke draaiingen van de wind. De locatie Ramspolbrug is bijvoorbeeld gevoelig voor een draaiing van ZW-wind naar W-wind, deze draaiing van 30 graden zorgt eerst voor afwaaiing en later voor opwaaiing. De grafieken van de overige stormdata staan in bijlage G3.

Vergelijking met vuistregel

In figuur 18 is voor één geval de strijklengte gevisualiseerd. In bijlage E8. zijn de andere gevallen te vinden. Hierbij zijn twee verschillende methodes (definities) gebruikt om de strijklengte te bepalen. Bij de eerste is de strijklengte te afstand van de meetlocatie tot de kust in de omgekeerde windrichting. Bij de tweede is de strijklengte de afstand van de meetlocatie tot het verst afgelegen water in de omgekeerde windrichting.



Figuur 18: Visualisatie strijklengte voor de storm van 28-5-2000. De pijlen geven de windrichting aan. Volgens de eerste methode is de strijklengte de lengte van de pijl, volgens de tweede methode de lengte van het meetpunt tot de verst verwijderde haaks op de windrichting staande lijn.

Hierna is getracht te bepalen welke van de twee manieren de beste is. Als er vanuit gegaan wordt dat de vuistregel bij een afwijking van 10cm goed is (groen in figuur 19), bij 50cm acceptabel (geel in figuur 19) en daarboven fout (rood in figuur 19), blijkt dat de eerste methode iets betere resultaten levert. Het voordeel van de tweede methode is echter dat hierbij een op- en afwaaiing bepaald kunnen worden als aangenomen wordt dat de strijklengte twee kanten op werkt. In figuur 19 zijn de resultaten voor de storm van 18-5-2000 weergegeven. De resultaten van de overige stormen staan in bijlage E9. Samenvattingen van alle stormen zijn te vinden in bijlage E10.

	U	H												
28-5-2000	21	4,5												
	L1	L2	L2	X1	X2	X2	Gemeten		Fout:					
DO	0	27000	-30000	0,00	0,53	-0,59	0,32	-0,54	0,32	0,21	0,05			
HR	-25000	-58000		-0,49	-1,14	0,00	-0,95		0,46	0,19				
KW	38000	58000		0,74	1,14	0,00	0,73		0,01	0,41				
LM	35000	45000		0,69	0,88	0,00	0,83		0,14	0,05				
RM	0	26000	-31000	0,00	0,51	-0,61	-0,2	0,32	0,20	0,71	0,95			

Figuur 19 Vergelijking van de twee methodes voor strijklengte in getallen. In de meest rechter drie kolommen staan de resultaten. Kolom 1 is het resultaat van de eerste strijklengte-methode, kolom 2 en 3 bevatten de resultaten van de tweede strijklengte-methode.

HOOFDSTUK 6 Discussie

In dit hoofdstuk worden de beperkingen van dit onderzoek en de mogelijkheden voor vervolgonderzoek benoemd.

Een van de beperkingen van dit onderzoek is dat niet alle data gevalideerd is omdat hier niet voldoende tijd voor beschikbaar was. Bij een toekomstige verzameling van meetgegevens is volledige validatie wel noodzakelijk om tot goede resultaten te komen. Verder is meetpaal locatie FL26 niet langer in gebruik, deze meetreeks kan dus niet meer aangevuld worden, behalve als de meetpaal locatie weer terug in gebruik wordt genomen.

Doordat het verkrijgen van de meetgegevens en vooral het omzetten naar één hetzelfde formaat nogal een tijdrovend proces was, was er minder tijd over voor analyses van de gegevens. Door de problemen met het verkrijgen van de meetgegevens kwamen echter wel de huidige problemen met het valideren van de meetgegevens boven water. In een vervolgonderzoek zal de database-opzet verder uitgewerkt kunnen worden.

Verder zijn bij de vuistregel-analyse aannames gedaan voor de gemiddelde waterdiepte maar ook voor de strijklengte. Hierdoor kunnen de uitkomsten afwijken.

Het onderzoek in dit rapport is specifiek gedaan voor het IJsselmeer, maar delen er van kunnen ook voor andere gebieden gebruikt worden. Het grootste gedeelte van het onderzoek is ook toepasbaar op het Markermeergebied, hiervoor moeten alleen andere meetlocaties geselecteerd worden. De selectiemethoden van extreme meetwaarden is overal toepasbaar.

Er is in dit rapport een vergelijking gemaakt met Bottema(2007). Behalve dit rapport is er niet veel literatuur over het gebruik van meetgegevens van het IJsselmeergebied bekend. Er is dus nog ruimte voor toekomstig onderzoek op dit gebied.

Toekomstige database / vervolgonderzoek

Hieronder zullen de eisen en wensen volgende uit dit rapport voor het in de toekomst creëren van een database ten behoeve van het verbeteren of valideren van de modellen van de WDIJ uitgezet worden. Deze eisen en wensen komen voort uit de voorgaande hoofdstukken. Er wordt onderscheid gemaakt tussen eisen aan de structuur en de inhoud van de database.

Structuur:

Het spreekt voor zich dat alle data in de database in hetzelfde formaat en volgens dezelfde afspraken opgeslagen wordt. Idealiter zouden de tijdsstappen van de data ook allen gelijk moeten zijn, bijvoorbeeld 10 minuten gemiddelden. Op deze manier wordt veel tijd bespaard bij het omzetten van de data, die nu nog van verschillende locaties gehaald moeten worden en dan omgezet naar hetzelfde formaat. Dit is een klus die nu nog heel tijdrovend kan zijn.

De database zou zo gevormd moeten zijn dat er op meerdere manieren in gezocht kan worden. In de huidige databases kan alleen gezocht worden op datum, omdat deze databases niet specifiek gemaakt zijn voor de variabelen gebruikt in de modellen. In een nieuwe database zou er bijvoorbeeld een drempel van windsnelheid opgegeven moeten kunnen worden, data zou op windrichting geselecteerd moeten kunnen worden, of op maxima/minima. Ook zou er de mogelijkheid moeten

zijn om aan te kunnen geven hoe dicht maxima bij elkaar mogen liggen, bijvoorbeeld alleen maxima die 24 uur uit elkaar liggen.

Op deze manier is het bij elke kalibratie, validatie of andere verbetering van de modellen eenvoudig en snel mogelijk om de juiste meetdata te vinden.

Inhoud:

De database hoeft alleen de data die gebruikt wordt in de modellen te bevatten, dus de windsnelheid en richting, de waterhoogte, de golfhoogte en eventueel de golfoploophoogte. Op die manier blijft de database overzichtelijk.

Er moet echter wel een zo compleet mogelijke verzameling data opgeslagen worden, met zo veel mogelijk meetlocaties, zodat er in ieder willekeurig geval een goede dataset gekozen kan worden. Het is ook belangrijk dat alle historische data ook aan de database wordt toegevoegd, zodat niet alleen de nieuwe data beschikbaar is. Op die manier bevat hij de langst mogelijke datareeksen, wat belangrijk is voor een goede validatie.

Verder moet de data gevalideerd worden voordat het wordt toegevoegd, op dit moment zijn er nog data die niet goed nagekeken zijn en soms enorme meetfouten bevatten of consequent te hoog of te laag liggen.

HOOFDSTUK 7 Conclusies en Aanbevelingen

In dit hoofdstuk zullen de onderzoeksvragen beantwoord worden:

Onderzoeksvragen

1. Waarom kunnen de modellen op dit moment niet één op één gevalideerd worden met meetgegevens?
2. Welke invloed heeft de wind (de motor van het systeem) op het gedrag van het watersysteem?
3. Welke meetgegevens zijn van belang voor het valideren / verbeteren van de verwachtingen?

Het is op dit moment lastig om de modellen van het WDIJ te valideren met meetgegevens, omdat de benodigde meetgegevens niet uit één bron afkomstig zijn. Voordat er een validatie kan plaatsvinden moeten eerst de meetgegevens uit verschillende bronnen verzameld worden, gevalideerd worden en omgezet worden naar eenzelfde formaat en indeling. Verder zijn voor validatie van de modellen vooral stormen met extreem hoge windkrachten van belang, omdat dan pas de dijken bedreigd worden. Helaas zijn metingen van zeer zware stormen, windkracht 10 en hoger, zeer zeldzaam. In de huidige meetreeks komt maar een enkele storm van windkracht 10 voor. Om de modellen te valideren voor hogere windsnelheden, zullen de meetgegevens geëxtrapoleerd moeten worden. Om echter een goede extrapolatie te kunnen maken moeten er meerdere zware stormen gemeten worden, wat nu dus nog niet het geval is. Met een goed opgezette en nauwkeurig bijgehouden database zullen in de toekomst betere extrapolaties gemaakt kunnen worden.

De wind is de drijvende kracht achter het watersysteem van het IJsselmeer. Het is dan ook belangrijk om te weten welke invloed de wind heeft op het gedrag van het watersysteem. De wind zorgt er voor dat er opwaaiing plaatsvindt van het water waardoor een scheefstand van het meer ontstaat. Deze scheefstanden kunnen bij windsnelheden boven de 20 m/s bij windrichtingen met een lange strijklengte, zoals NW, al leiden tot een verhoging/verlaging van de waterstand van ongeveer een meter. Bij windrichtingen met een kortere strijklengte zal de opwaaiing lager zijn. Om deze opwaaiing te benaderen is een vuistregel beschikbaar. Voor deze vuistregel zijn echter de waterdiepte en de strijklengte nodig, die beide veranderen met de windrichting. Om deze vuistregels goed toe te kunnen passen, is het aan te bevelen voor enkele belangrijke locaties de waterdiepte en strijklengte parameters zo goed mogelijk te fitten. Omdat deze parameters veranderen met de windrichting, is het praktisch om alleen voor de windrichtingen waar de meetlocatie het meest gevoelig voor is een fit te maken.

Elke meetlocatie of elk dijkvak langs het IJsselmeer heeft zijn eigen meest gevoelige windrichting. Hiermee moet rekening gehouden worden bij het selecteren van meetdata voor een validatie, het is belangrijk dat er data van elke windrichting beschikbaar is. Dit geeft problemen omdat er weinig sterke Oostenwinden (0 tot 180 graden N) voorkomen in Nederland. Omdat bij oostenwinden de golfoploop hoog is in de richting Noord-Holland en de Randstad, wat economisch belangrijke gebieden zijn, is het van belang om ook oostenwinden in de dataverzameling op te nemen. Voordat de dijken rond het IJsselmeergebied in gevaar komen moet opwaaiing van meerdere meters plaatsvinden. Zulke hoge waarden zijn nog nooit gemeten, en zullen dus geëxtrapoleerd moeten worden uit de beschikbare data. Om een zo goed mogelijk extrapolatie te kunnen doen moet de dataverzameling zo veel mogelijk data bevatten. De dataverzameling zal dus pas echt geschikt zijn als hij data bevat van hogere windsnelheden. Hiervoor zal het dus significant harder moeten waaien

en voor echte volledigheid ook uit een andere windrichtingen dan tot nu toe is gemeten. Daarom is het aan te bevelen de meetprojecten zo lang mogelijk door te laten lopen op enkele vaste locaties.

Voor de selectie van extreme zijn twee methodes gebruikt, de 'stormen-methode' en de 'extreme-waarden-methode'. Beide methoden hebben nagenoeg hetzelfde resultaat, maar bij de 'extreme-waarden-methode' kunnen ongebruikelijke data waarbij bijvoorbeeld hoge golfhoogten bij lage windsnelheden voorkomen ook geselecteerd worden. Het is daarom aan te bevelen beide methoden naast elkaar te gebruiken zodat ongebruikelijke data makkelijk gevonden kunnen worden.

De selectie van meetgegevens voor de validatie van verwachtingsmodellen.

Er is een selectie gemaakt van meetgegevens voor de validatie van verwachtingsmodellen. Deze selectie bestaat uit 11 meetlocaties. Twee van deze meetlocaties, Stavoren en Berkhout, zijn KNMI stations, hier wordt windkracht en richting gemeten. Verder bevat de selectie drie meetpalen van Rijkswaterstat IJsselmeergebied, namelijk FL02, FL09 en FL26. Deze meten waterhoogte, golfhoogte en windkracht en richting. De overige zes stations zijn meetstations van het Landelijk Meetnet Water. Deze stations zijn: Den Oever binnen, Kornwerderzand binnen, Houtrib noord, Lemmer, Ramspolbrug en Krabbersgat noord. Op deze locaties word de waterstand gemeten. Van al deze locaties is vanaf 1997 een zo compleet mogelijke dataset verzameld waaruit met de stormen-methode en extreme-waarden-methode de interressante waarden voor validatie van verwachtingsmodellen zijn gehaald. Het is aan te bevelen om deze verzameling in de toekomst aan te vullen zodat deze nog geschikter is voor validatie.

Referenties

A.J. Smale, Z. P. (2011). *Verificatie en aanpassing golfmodellering binnen FEWS Meren*. Deltares.

Adema, J., Voort, L., & van Vledder, G. (2007). *Aanpassingen en controle werking nieuw WDIJ rekeninstrument*. Rijkswaterstaat Waterdienst.

Alkyon. (2007). *Aanpassingen en controle werking nieuw WDIJ rekeninstrument*. Emmeloord: Rijkswaterstaat Waterdienst.

Alkyon. (2006). *Operationalisatie Waqua voor IJsselmeer en Vecht- en IJsseldelta*. Marknesse: Rijkswaterstaat - RIZA.

Babanin, A., & Young, I. (2001). *The lake George experiment*.

Bottema, M. (2007). *Measured wind-wave climatology Lake IJssel (NL)*. Rijkswaterstaat Waterdienst.

Bottema, M. (2003). *Rapportage golfmetingen IJsselmeergebied 1998-1999*. RIZA.

Bottema, M., & Gerbrant, v. V. (2009). A ten-year data set for fetch- and depth-limited wave growth. *Coastal Engineering*, 23.

Bouws, E. (1986). *Provisional results of a wind wave experiment in a shallow lake (Lake Marken, The Netherlands)*. KNMI.

de Jong, R. (2010). *Beheersten van extreme waterstanden in het IJsselmeer*. Delft: Technische Universiteit Delft.

Deltacommissie. (2008). *Samen werken met water*. Deltacommissie.

Deltares. (2011a). *Memo verwachte rekentijden SWAN na aanpassingen naar aanleiding van validatie SWAN binnen FEWS meren*. Delft.

Deltares. (2011b). *Observation Sensitivity Study: IJsselmeer*. Deltares.

Deltares. (sd). *publicwiki.deltares.nl*. Opgehaald van publicwiki.deltares.nl: <http://publicwiki.deltares.nl/display/FEWSWTD/RWsOS-Meren>

Doorn, M. (2006). *Naar een nieuw waarschuwingssysteem voor het voorspellen van hoogwater in het IJsselmeergebied*. Wageningen: Universiteit Wageningen.

IVW/Waterbeheer. (2011). *Derde toets primaire waterkeringen, landelijke toets 2006-2011*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Jong, M., Bottema, M., Labeur, R., Battjes, J., & Stolker, C. (2006). Atmospherically generated large-scale water-level fluctuations in a closed basin. *Proceedings of the 29th International Conference Coastal Engineering*, (p. paper 37). San Diego, CA, USA.

Meer, J. v. (2002). *Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken*. Delft: Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2006). *Beheersverslag Rijkswateren IJsselmeergebied 2002-2004*. Delft.

Ministerie voor Infrastructuur en Milieu. (2007, 10 7). *Activiteitenbesluit milieubeheer*. Opgeroepen op 2013, van overheid.nl: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0022762>

Reitsma, T. (1997). *Een beschrijving van de berichtendienst Waarschuwingsdienst Dijken IJsselmeer en Markermeer*. Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling.

Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling. (1999). *Achtergronden Hydraulische Belastingen Dijken IJsselmeergebied*. Lelystad: Ministerie van Verkeer en Waterstaat .

Rijkswaterstaat directie sluizen & stuwen, Hoofdafdeling Waterbouw, Vakgroep Waterloopkunde en Grondmechanica. (1990). *Rekenregels voor waterbouwkundig ontwerpen*. Delft: Rijkswaterstaat .

Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2011). *RWsOS, samenhangende operationele systemen van Rijkswaterstaat*. Rijkswaterstaat.

Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling. (1999). *Achtergronden Hydraulische Belastingen Dijken IJsselmeergebied*. Lelystad: Rijkswaterstaat.

Syncera Water. (2006). *Beheersverslag Rijkswateren IJsselmeergebied 2002-2004*. Lelystad: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Rijkswaterstaat IJsselmeergebied.

van der Heide, G. (2010). Opgeroepen op mei 2013, van www.spanvis.nl: <http://www.spanvis.nl/Plaatsen%20om%20de%20Zuiderzee/Afsluitdijk/Zuiderzee.htm>

van Waveren, R. H., Groot, S., Scholten, H., van Geer, F., Wösten, J., Koeze, R., et al. (2002). *Good Modelling Practice Handbook*. Rijkswaterstaat-RIZA.

Verhey, H., Lambeek, J., Lubbers, C., Stolker, C., & Sloff, C. (2002). *Waterstandsverhoging door windopzet en translatiegolven op de Maasroute*. Delft.

Verkaik, J. W. (2001). *Documentatie Windmetingen In Nederland*. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Klimatologische Dienst.

www.helpdeskwater.nl. (2013).

BIJLAGEN

INHOUD

<u>BIJLAGE A1 Vergelijking meetinstrumenten</u>	40
<u>BIJLAGE A2 Aangevulde lijst LMW locaties IJsselmeergebied.....</u>	41
<u>BIJLAGE B1 Informatieve kaarten IJsselmeergebied</u>	43
<u>BIJLAGE B2 Overzicht WDIJ waarschuwingsgebied.....</u>	46
<u>BIJLAGE C1 Toelichting op de gebruikte modellen.....</u>	47
<u>BIJLAGE C2 Opvraagbaarheid meetdata</u>	56
<u>BIJLAGE C3 Interfaces data-opvraag methoden.....</u>	57
<u>BIJLAGE D1 Toelichting meetprojecten</u>	60
<u>BIJLAGE E1 Vergelijking 20min- en Uurgemiddelden.....</u>	65
<u>BIJLAGE E2 Frequentietabel Windrichtingen</u>	66
<u>BIJLAGE E3 Overzicht stormen</u>	67
<u>BIJLAGE E4 Overzicht Extreme Waarden Methode.....</u>	68
<u>BIJLAGE E5 Scatterplots.....</u>	69
<u>BIJLAGE E6 Resultaten Extreme-Waarden methode.....</u>	70
<u>BIJLAGE E7 Reacties waterstanden 1-3-2008.....</u>	81
<u>BIJLAGE E8 Visualisatie striklengtes vuistregel opwaaiing</u>	82
<u>BIJLAGE E9 Controle vuistregel voor opwaaiing.....</u>	86
<u>BIJLAGE E10 Situaties vuistregel voor Opwaaiing</u>	87
 GRAFIEKEN	
<u>BIJLAGE G1 Grafieken Extreme-Waarden methode.....</u>	91
<u>BIJLAGE G2 Grafieken Stormen methode</u>	113

BIJLAGE A1 Vergelijking meetinstrumenten

Voor elke meetpaal zijn de waarden van de verschillende meetinstrumenten met elkaar vergeleken. Er zijn drie toetswaarden, 10cm, 5cm en 1cm, opgelegd. Dit zijn waarden voor het verschil tussen de instrumenten. In de figuren hier onder is te zien in hoeverre de meetlocaties aan deze toetswaarden voldoen.

FL02:

FL02 2006-2007 uitkomsten			FL02 1997-2013 uitkomsten		
FOUT	GOED	totaal	FOUT	GOED	totaal
4094	8028	12122	10469	110492	120961
33,77%	66,23%	100,00%	8,65%	91,35%	100,00%
#toelaatbaar verschil (cm):			#toelaatbaar verschil (cm):		
10			10		
FOUT	GOED	totaal	FOUT	GOED	totaal
5815	6307	12122	16841	104120	120961
47,97%	52,03%	100,00%	13,92%	86,08%	100,00%
#toelaatbaar verschil (cm):			#toelaatbaar verschil (cm):		
5			5		
FOUT	GOED	totaal	FOUT	GOED	totaal
9611	2511	12122	80527	40434	120961
79,29%	20,71%	100,00%	66,57%	33,43%	100,00%
#toelaatbaar verschil (cm):			#toelaatbaar verschil (cm):		
1			1		

FL09:

FL09 2006-2007 uitkomsten:			FL09 199-2013 uitkomsten:		
FOUT	GOED	totaal	FOUT	GOED	totaal
131	16090	16221	131	16090	16221
0,81%	99,19%	100,00%	0,81%	99,19%	100,00%
# toelaatbaar verschil in cm:			#toelaatbaar verschil (cm):		
10			10		
FOUT	GOED	totaal	FOUT	GOED	totaal
216	16005	16221	216	16005	16221
1,33%	98,67%	100,00%	1,33%	98,67%	100,00%
# toelaatbaar verschil in cm:			#toelaatbaar verschil (cm):		
5			5		
FOUT	GOED	totaal	FOUT	GOED	totaal
8645	7576	16221	8645	7576	16221
53,30%	46,70%	100,00%	53,30%	46,70%	100,00%
# toelaatbaar verschil in cm:			#toelaatbaar verschil (cm):		
1			1		

FL26:

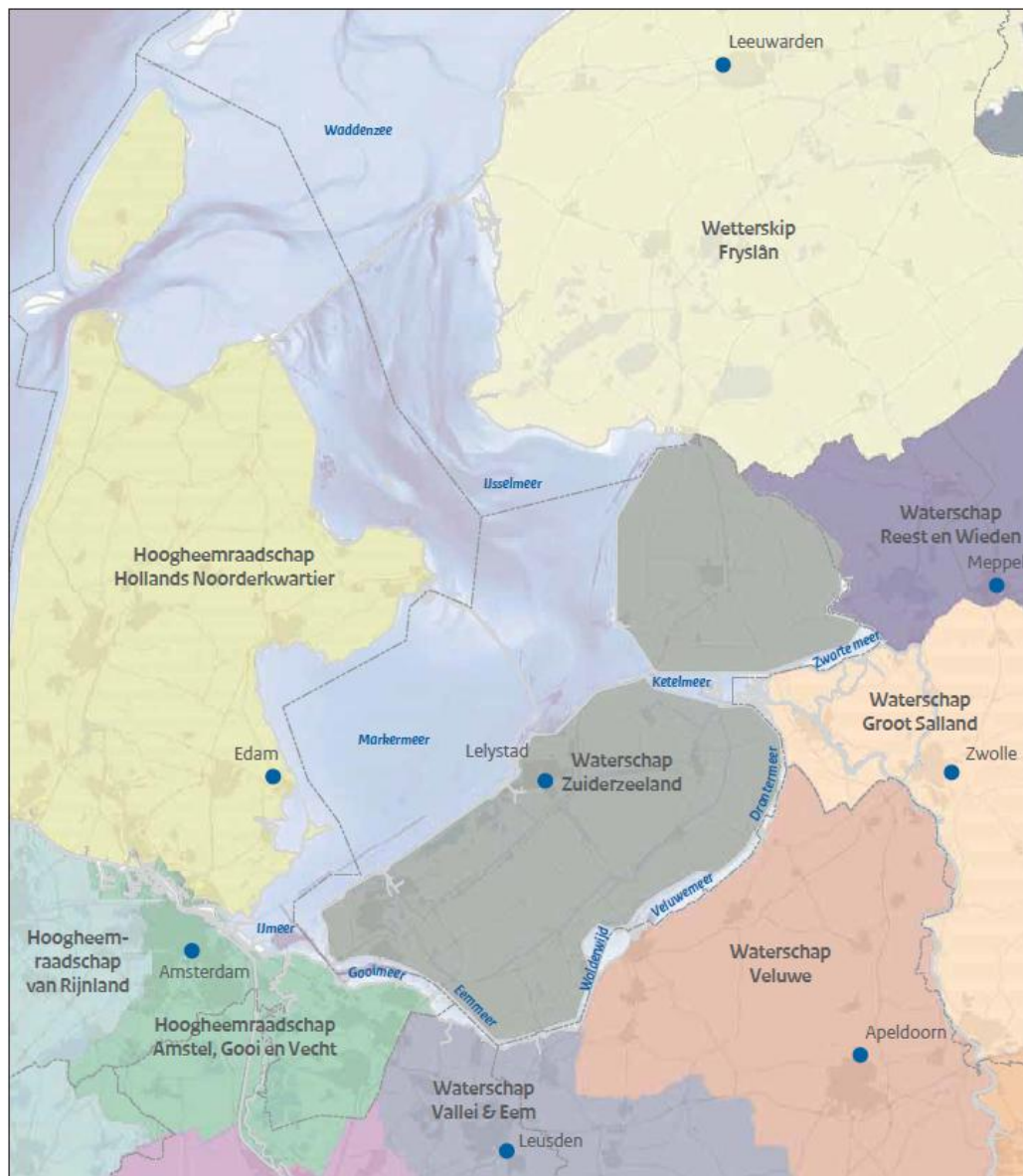
FL26 2007-2007 uitkomsten:			FL26 1997-2013 uitkomsten:		
FOUT	GOED	totaal	FOUT	GOED	totaal
874	11248	12122	874	26982	27856
7,21%	92,79%	100,00%	3,14%	96,86%	100,00%
#toelaatbaar verschil (cm):			#toelaatbaar verschil (cm):		
10			10		
FOUT	GOED	totaal	FOUT	GOED	totaal
2037	10085	12122	2037	25819	27856
16,80%	83,20%	100,00%	7,31%	92,69%	100,00%
#toelaatbaar verschil (cm):			#toelaatbaar verschil (cm):		
5			5		
FOUT	GOED	totaal	FOUT	GOED	totaal
8822	3300	12122	8825	19031	27856
72,78%	27,22%	100,00%	31,68%	68,32%	100,00%
#toelaatbaar verschil (cm):			#toelaatbaar verschil (cm):		
1			1		

BIJLAGE A2 Aangevulde lijst LMW locaties IJsselmeergebied

RMI-loc LMW	Omschrijving	Golfhoogte	Waterstand	Wind	
FL02	Rotterdamse hoek	X	X	X	
FL34	Harderwijk		X	X	Weglaten
EDAM	Edam		X		
ELBB	Elburgerbrug		X		Weglaten
GENE	Genemuiden		X		
HOLB	Hollandse brug		X		
HOUN	Houtrib Noord		X		
HOUZ	Houtrib Zuid		X		
KADL	Kadoelen		X		
KAMH	Kamperhoek		X		
KAMP	Kampen		X		
KATV	Katerveer		X		
KETD	Keteldiep		X		
KETH	Ketelhaven		X		
KOBI	Kornwerderzand binnen		X		
KRAN	Krabbersgat Noord		X		
KRAZ	Krabbersgat Zuid		X		
LEMM	Lemmer		X		
MOND	Mond der Vecht		X		
					Niet in MFPS te vinden
NAVZ	Naviduct Zuid		X		
NIJO	Nijkerk Oost		X		Weglaten
NIJW	Nijkerk West		X		
OEBI	Den Oever binnen		X		
RAMS	Ramspolbrug		X		
ROGN	Roggebotsluis Noord		X		
ROGZ	Roggebotsluis Zuid		X		Weglaten
SPBI	Spoldersluis binnen		X		
VECO	Vechterweerd beneden		X		
ZWBU	Zwartsluis buiten		X		
BERK	Berkhout			X	
HOUD	Houtribdijk			X	
MARK	Marknesse			X	Weglaten
STVO	Stavoren			X	
WIJD	Wijdenes			X	
	Toevoegen:				
	Den Oever buiten	IJsselmeer	X		
	Kornwerderzand buiten	IJsselmeer	X		
	Schellingwouderbrug	Markermeer	X		
	Lobith	Rijn	X		
	Doesburg brug	IJssel	X		
	Deventer	IJssel	X		

	Zutphen Noord	IJssel	X		
	IJsselpop	IJssel	X		
	Olst	IJssel	X		
	Haandrik	Vecht	X		
	Ommen Ommerkanaal	Vecht	X		
	Ommen Hesselmulertbrug	Vecht	X		
Afvoer					
	Lobith	Rijn			
	Westervoort	IJssel			
	Olst	IJssel			
	Almen	IJssel			
	Archem Regge	Vecht			
	Arcchem Linderbeek	Vecht			
	Genemuiden	Vecht			
	Ommen Ommerkanaal	Vecht			
	Ommen Hesselmulertbrug	Vecht			
	Meppelerdiep 2.5	Vecht			
	Nog niet ontsloten:				
NAVN	Naviduct Noord		X		Niet in MFPS te vinden
DIJG					
ELAN	Elandweg		X		
FL09	Friese kust	X	X	X	
FL42	Markermeer Midden	X	X	X	
FL43	Hoorn	X	X		
FL44	Markermeer Houtrib	X	X		
FL45	IJburg	X	X		
FL46	IJsselmeer Midden	X	X	X	
HOUS	Houtribsluis			X	
LORS	Lorentzsluizen			X	
RAMW	Ramsweg		X		
STES	Stevinsluizen			X	
TARP	Tarpanweg		X		
ZUID	Zuiderzeedijk Hmp 34.2		X		
FL47	IJsselmeer Noord	X	X	X	
EEMD	Eemdijk		X		

Bijlage B1 Informatieve kaarten IJsselmeergebied

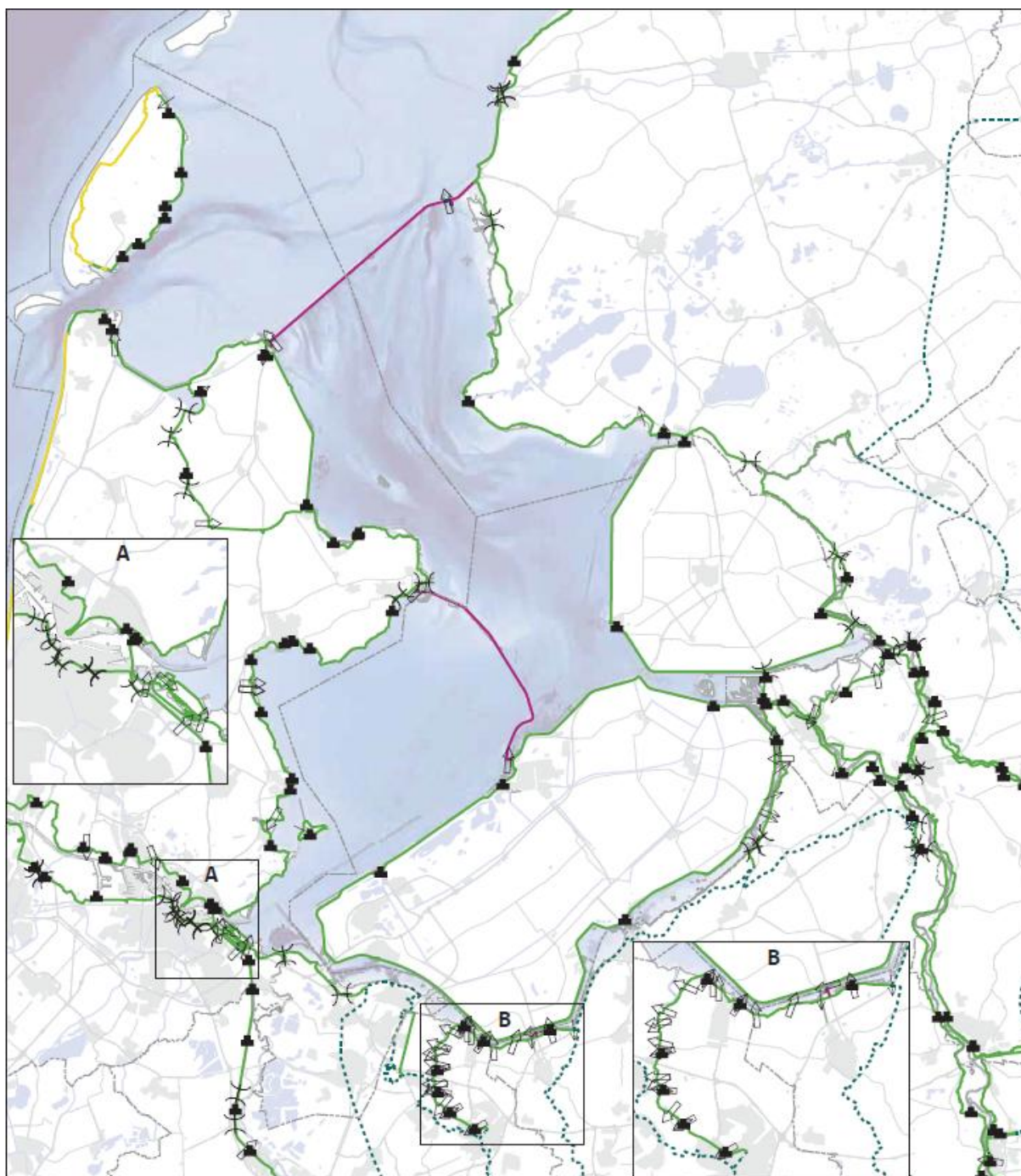


Figuur B1.1 Waterschappen en deeleren IJsselmeergebied

Waterschappen en deeleren De waterschappen spelen in Nederland sinds de middeleeuwen een belangrijke rol in het waterbeheer. Het zijn de oudste democratische instituties in Nederland. De waterschappen zijn, samen met de gemeenten, verantwoordelijk voor het operationele waterbeheer en voor de uitvoering van beleid. De waterschappen zijn verantwoordelijk voor het beheer van de waterkeringen, de totale afwatering in het stedelijk en landelijk gebied, de waterkwantiteit en de waterkwaliteit, inclusief de afvalwaterzuivering. Op watergebied is Rijkswaterstaat (RWS) verantwoordelijk voor het hoofdwatersysteem waaronder dus de meren in het IJsselmeergebied. Het IJsselmeergebied omvat drie waterhuishoudkundig gescheiden meersystemen: het IJsselmeer met de noordlijke randmeren (het Vossemeer, het Ketelmeer en het Zwarte Meer), het Markermeer met als randmeren het IJmeer, het Gooimeer, het Eemmeer en het Nijkerkernauw en tenslotte de Veluwerandmeren, waar het Nuldernauw, het Wolderwijd, het Veluwemeer en het Drontemeer onder vallen.

Legenda

- Hoofdvestiging waterschap

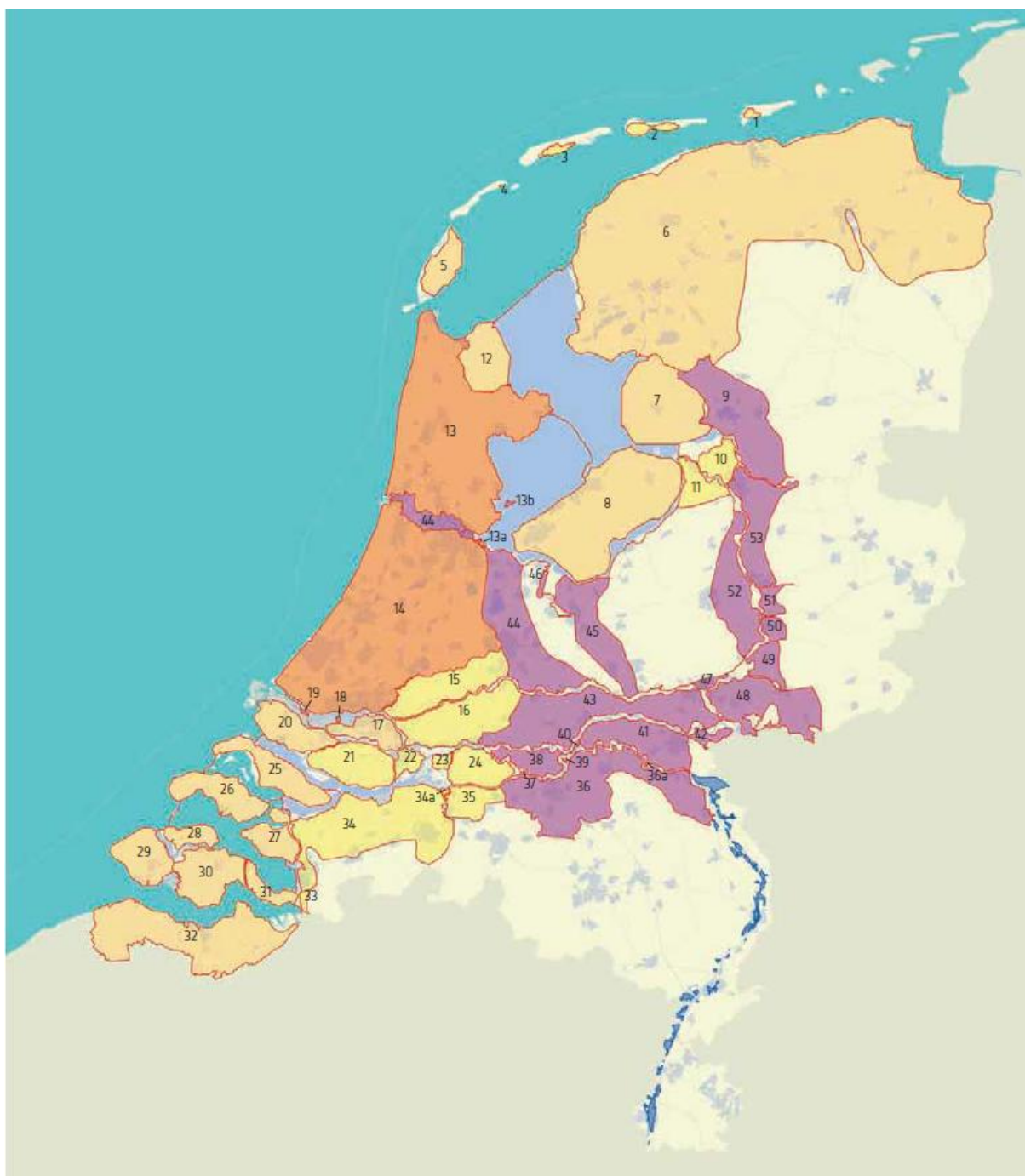


Figuur B1.2 Kunstwerken en waterkeringen IJsselmeergebied

Kunstwerken en waterkeringen

Legenda	
Dijkkringlijnen	Kunstwerken
— Dam	Gemaal
— Dijk	Inlaatsluis
— Duin	Keersluis; stormkering
--- Hoge grond	Spuisluis
— Kunstwerk	

Onder kunstwerken worden bouwkundige of civieltechnische werken verstaan, zoals gemalen, duikers, vistrappen en stuwen. In het IJsselmeergebied komen veel verschillende soorten kunstwerken voor.



Figuur B1.3 Dijkringgebieden met overschrijdingskansen

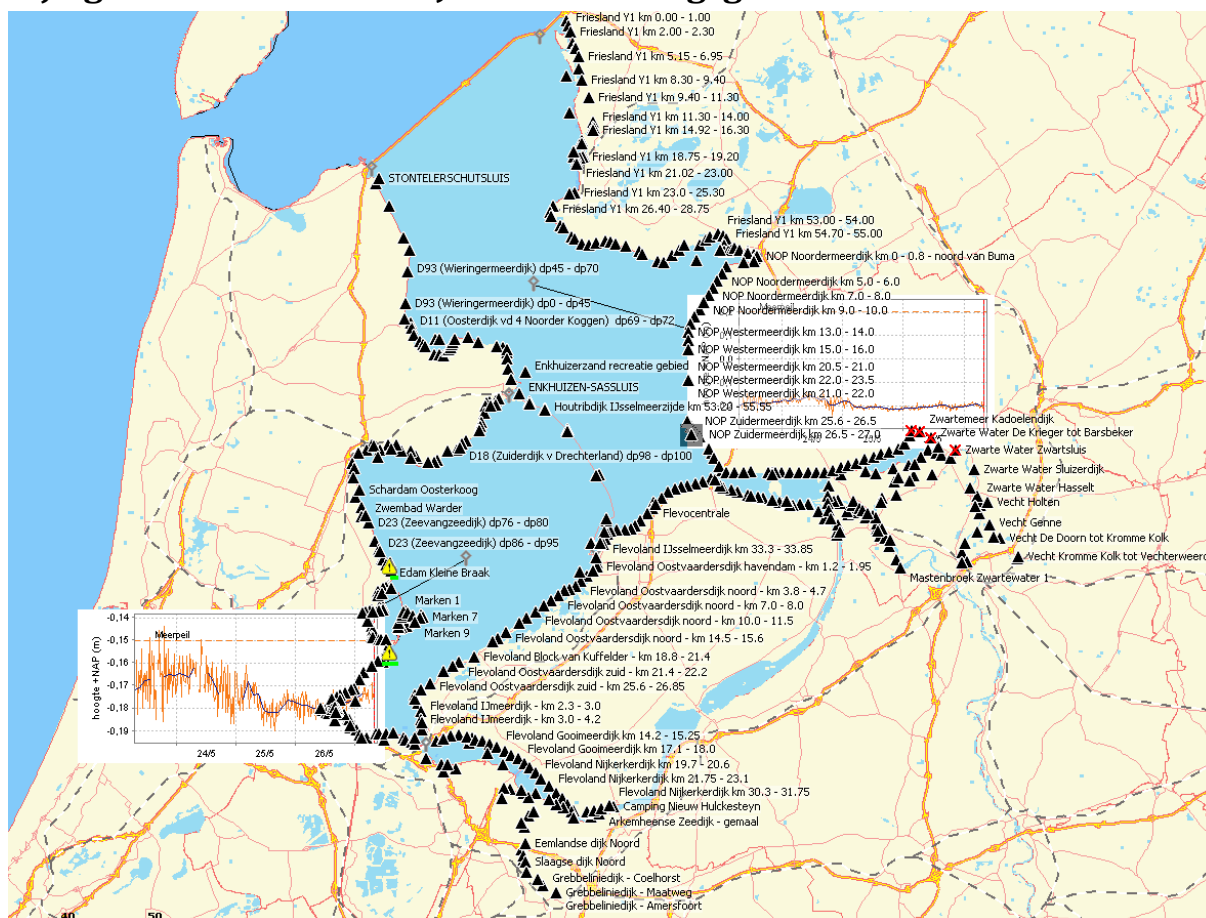
dijkringgebieden

	overschrijdingskans 1/10.000 per jaar
	overschrijdingskans 1/4000 per jaar
	overschrijdingskans 1/2000 per jaar
	overschrijdingskans 1/1250 per jaar

waterstand de waterkeringen bestand moeten zijn en vormt daarmee een indicatie van het veiligheidsniveau.

Een dijkkring is een aaneengesloten keten van waterkeringen die een gebied beschermen tegen overstromingen. Alle dijkkringen zijn ingedeeld in genummerde gebieden, waarbij elk afzonderlijk gebied ongeveer even hoog is. Deze indeling is vastgelegd in de Wet op de Waterkering. Elk dijkkringgebied heeft een normfrequentie, die in de kaart met verschillende kleuren staat aangegeven. Deze norm geeft aan tegen welke

Bijlage B2 Overzicht WDIJ waarschuwingsgebied

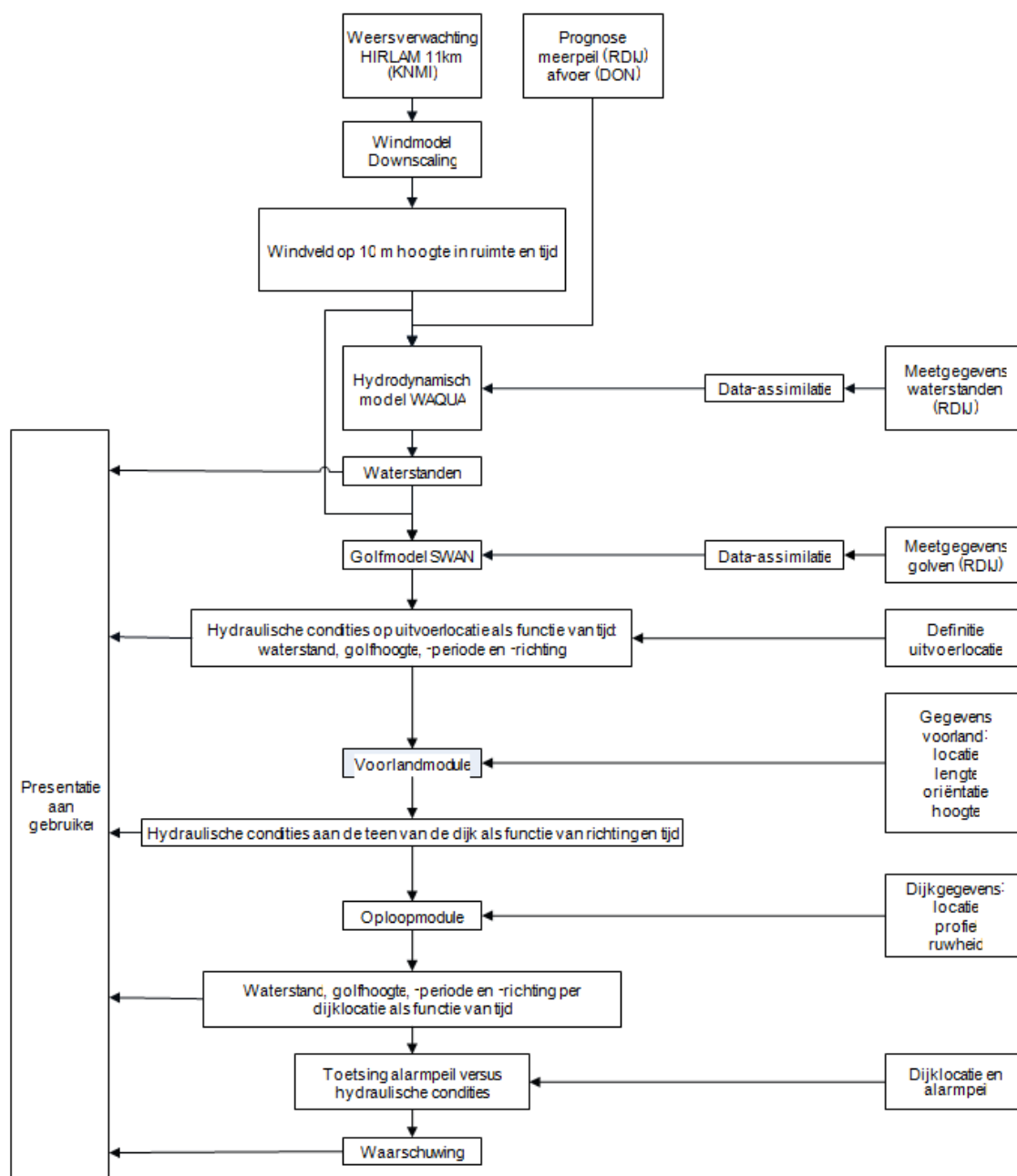


Figuur B2.2.1 Overzicht dijkvakken WDIJ

In figuur B2.2.1 zijn de dijkvakken te zien waarvoor de WDIJ waarschuwingen uitgeeft. Elke zwarte driehoek stelt een dijkvak voor. Gele driehoeken met een uitroepteken stellen dijkvakken voor waar het alarmpeil overschreden is en dus een waarschuwing voor uitgegeven dient te worden. Zwarte driehoeken met een rood kruis er door zijn dijkvakken waarvoor geen verwachting gemaakt wordt.

Bijlage C1 Toelichting op de gebruikte modellen

In deze bijlage worden alle modellen die gebruikt worden voor de verwachtingen van de WDIJ nader toelicht.



Figuur B3.1.1 Blokschema Modelstructuur WDIJ (Hartsuiker, 2005)

Windmodel:

HIRLAM is een windvoorspellingsmodel van het KNMI. Het is een samenwerkingsproject tussen de landen Nederland, Denemarken, Finland, IJsland, Noorwegen, Zweden, Ierland en Spanje.

Hirlam staat voor High Resolution Limited Area Model. Het model bestrijkt Europa en de Atlantische oceaan. Dit gebied wordt ingedeeld in vakjes van 11 bij 11 kilometer. Waarnemingen van weersatellieten en grondstations worden in de bijbehorende vakjes geplaatst en het model berekend vervolgens hoe de diverse variabelen op elkaar zullen gaan inwerken onder invloed van de thermodynamica en andere meteorologische wetmatigheden. [\(Kroon, 2001\)](#)

Omdat het IJsselmeer erg klein is vergeleken met de Atlantische oceaan, is het 11 bij 11 kilometer grid niet erg geschikt. Daarom heeft het KNMI een downscalingmodule ontwikkeld, die de uitkomsten van het model vertaald naar een grid van 500 bij 500 meter. Dit gebeurt met behulp van een database met (grove) ruwheden van de omgeving van het IJsselmeergebied, waardoor de windsnelheden en richtingen lokaal kunnen veranderen.

Momenteel wordt er een nieuw model ontwikkeld, genaamd HARMONIE, met een resolutie van 2,5 bij 2,5 km. Dit model zal beter zijn in HIRLAM in het voorspellen van stormen met een klein oppervlak, die een groot effect kunnen hebben op het IJsselmeergebied maar die door de mazen van het grid van HIRLAM kunnen sluipen.

Waterstandmodel: WAQUA

WAQUA is het waterbewegingmodel dat Rijkswaterstaat gebruikt, waarmee waterloopkundige processen in meren, rivieren en zeeën kunnen worden gesimuleerd. Met WAQUA worden waterstanden, waterstromingen en concentraties van opgeloste stoffen berekend in open wateren. WAQUA werkt met diepte gemiddelde waterstromingen en concentraties, er wordt verondersteld dat deze niet variëren over de diepte (z-as) van de gesimuleerde rivier, zee, of in dit geval het meer dat wordt gesimuleerd. De variatie van de waterstroming en concentraties opgeloste stoffen in de lengte (x-as) en breedte (y-s) van een volume worden wel door WAQUA gesimuleerd, dit is een 2D (tweedimensionale horizontale) benadering. De concentraties van opgeloste stoffen zijn voor het overstromingsgevaar en dus de WDIJ niet van belang. (Rijkswaterstaat)

Voor de waterstandsverwachtingen van de WDIJ worden twee verschillende WAQUA modellen gebruikt, één voor het IJsselmeergebied en één voor het Markermeergebied. Hieronder worden de stappen die het WAQUA model voor het IJsselmeergebied volgt genoemd. Het Markermeergebied model volgt vergelijkbare stappen, maar heeft geen afvoeren als input.

Input:

Bij het WAQUA model voor het IJsselmeergebied worden de data als input gebruikt:

Meteorologische data:

- De luchtdruk, oostwaartse en noordwaartse wind uit het HIRLAM downscaling model.

Waterstanden en afvoeren:

- De gemeten en de verwachte waterstanden bij Den Oever buiten en Kornwerderzand buiten.
- De gemeten en de verwachte afvoeren bij Olst en Ommer brug

Preprocessing:

Voordat het model deze data kan verwerken moeten de data bewerkt worden, de volgende preprocessing bewerkingen worden uitgevoerd:

Meteorologische data:

- De referentie tijd (T0) voor de huidige verwachting wordt verplaatst naar de starttijd van de meest recente HIRLAM downscaling verwachting.
- De meest recente HIRLAM downscaling verwachting en de historische data van de afgelopen drie dagen worden gecombineerd in een reeks.
- Gaten in deze resulterende reeks worden via lineaire interpolatie tussen de omliggende waarden opgevuld, zodat er voor de hele reeks data met een tijdstap van 1 uur beschikbaar is.
- De resulterende reeks moet lopen tot T0 +48 uur. Als er data aan het eind van deze reeks ontbreken, wordt verondersteld dat de laatste waarde constant is en wordt op deze manier de reeks aangevuld tot T0 +48 uur.

Afvoer:

- De gaten in de datareeks van de gemeten afvoeren bij Olst en Ommen worden geïnterpoleerd. Indien er data in het landelijk meetnet water(LMW) als onbetrouwbaar gemarkeerd is, wordt deze vervangen met geïnterpoleerde waarden.
- Stacken van gemeten afvoeren, verwachte afvoeren (rws_prediction) en verwachte afvoeren (fews_rivieren_ecmwf).?
- De resulterende reeks moet lopen tot T0 +48 uur. Als er data aan het eind van deze reeks ontbreken, wordt verondersteld dat de laatste waarde constant is en wordt op deze manier de reeks aangevuld tot T0 +48 uur.
- De afvoer bij Ommen wordt over een tweetal model randen verdeeld. 36% van de afvoer gaat naar rand P109. 64% van de afvoer gaat naar rand P105.

Waterstand:

- Interpolatie van gaten in de gemeten waterstanden bij Den Oever buiten en Kornwerderzand buiten, over een maximum tijdsvenster van 30 minuten. Indien data in LMW als onbetrouwbaar gemarkeerd is, wordt deze data vervangen met geïnterpoleerde waarden.
- Stacken van gemeten waterstanden en verwachte waterstanden (rws_prediction).

- Het residu (de opzet) wordt bepaald op basis van het verschil tussen de gemeten waterstand en een astronomische predictie.
- Interpolatie van gaten in het residu (zonder maximum tijdsvenster), en extrapolatie naar een basis waarde van nul bij ontbrekende data tot $T_0 + 48$ uur (met een recessie constante van 0.1 m per 10 minuten).
- Het residu wordt vervolgens weer bij het astronomische getij opgeteld.

Meerpeil:

Voor de input van de hindcast wordt binnen het tijdsvenster van $T_0 - 72$ uur tot T_0 naar de meest recente meerpeil correctie factor gezocht. (zie Post-processing). Indien er geen eerder bepaalde meerpeil correctie factor beschikbaar is, wordt gebruik gemaakt van het verschil tussen de gemeten waterstand op $T_0 - 72$ uur en een standaardwaarde (-0,16 meter)

Meerpeil correctie:

In het geval van een hindcast som wordt voor de start van het WAQUA model een meerpeilcorrectie uitgevoerd. Hierbij worden de waterstanden waarnee het WAQUA model gestart wordt aangepast op basis van gemeten waterstanden. Het doel van deze correctie is de waterbalans kloppend te houden.

WAQUA model:

Het model wordt gedraaid in FEWS.

Met het model wordt een hindcast en een forecast run gedraaid. Voor de hindcast run wordt in het tijdsvenster $T_0 - 72$ uur tot T_0 gezocht naar een 'warme state' van een voorgaande simulatie. Indien deze beschikbaar is wordt vanaf deze warme state herstart. Indien deze niet beschikbaar is, dan wordt de hindcast gestart met een koude state (-0,16 meter) op $T_0 - 72$ uur. Op basis van de meerpeilcorrectie wordt deze initiële state van de hindcast vervolgens gecorrigeerd.

De forecast wordt vervolgens geïnitieerd op basis van de eind 'state' van de hindcast. De forecast loopt standaard van T_0 tot $T_0 + 32$ uur.

Hierna worden de modelresultaten weer in FEWS geïmporteerd. Momenteel worden alleen de 2D map velden geïmporteerd met een tijdstap van 1 uur.

Postprocessing:

De volgende postprocessing stappen worden uitgevoerd:

- Ruimtelijke interpolatie van de modelresultaten naar de diverse meetlocaties en naar de hydra punten. Sommige meetpunten vallen net buiten het rekenrooster van het WAQUA model. In dat geval wordt eerst naar een nabijgelegen (dummy) locatie geïnterpoleerd, en wordt deze waarde vervolgens naar de betreffende locatie door gekopieerd. Dit geldt onder andere voor de locatie Lemmer.
- Berekening van de meerpeil correctiefactor op basis van hindcast resultaten en metingen:

- De berekening wordt middels de volgende formule gedaan: $(0.22 * (\text{meting_DenOeverbinnen} - \text{model_DenOeverbinnen}) + 0.35 * (\text{meting_Houtribsluizen_noord} - \text{model_Houtribsluizen_noord}) + 0.13 * (\text{meting_Lemmer} - \text{model_Lemmer_dummy}) + 0.30 * (\text{meting_Kornwerderzand_binnen} - \text{model_Kornwerderzand_binnen})) / (0.22 + 0.35 + 0.13 + 0.30)$
- Deze waarde wordt uurlijks bepaald voor de periode T0 - 12 uur tot T0.
- Vervolgens wordt de gemiddelde waarde bepaald over de periode T0 - 12 uur tot T0. Deze gemiddelde waarde wordt voor de volgende hindcast als meerpeil correctie factor toegepast (zie *Preprocessing* hierboven).
- Berekening van het residu tussen gemeten en gesimuleerde waterstanden.
- Berekening van leadTimeAccuracyIndicators. Hier worden de RMSE en de bias voor lead times van 6, 12, 24 en 48 uur berekend

METINGEN: zie Excel sheet metingen LMW *Deze informatie is november 2012 ontvangen van het Meetnet Controle Centrum van RWS. Locaties die in grijs aangegeven zijn, zijn momenteel nog niet in LMW beschikbaar. Hier wordt wel aan gewerkt. De prognose is dat deze locaties op zijn vroegst medio 2013 beschikbaar zijn*

Aanbeveling: De vanuit LMW en Matroos geïmporteerde meet data wordt in RWsOS-Meren slechts beperkt gevalideerd. Dit dient nog verbeterd te worden.

(Deltares)

Golfmodel: SWAN

SWAN is een golvenmodel voor de simulatie van wind gegenereerde korte golven voor de kust en in binnenwateren. SWAN is public domain software en eigendom van de Technische Universiteit Delft. RWS WDIJ gebruikt SWAN voor de verwachting van golfhoogten in het IJssel- en Markermeergebied. Voor het SWAN model worden deze twee compartimenten nog een keer onderverdeeld, het Ketel- en Vossemeer en het Gooi- en Eemmeer vormen hier eigen compartimenten.

Binnen de SWAN IJsselmeer workflow worden zowel het SWAN model voor het IJsselmeer, als het SWAN model voor het Ketel- en Vossemeer gedraaid. Dit omdat het Ketel- en Vossemeer model afhankelijk is van de uitvoer van het IJsselmeer model. Hieronder worden de stappen die worden doorlopen toegelicht. Het Markermeergebied model volgt vergelijkbare stappen.

Input data

De volgende invoer data wordt gebruikt:

Meteorologische data:

- Luchtdruk, oostwaartse en noordwaartse wind uit de HIRLAM downscaling model.

Waterstanden:

- Waterstanden uit het WAQUA IJsselmeer model

Preprocessing

De volgende preprocessing wordt uitgevoerd op deze data.

Meteorologische data:

- De referentietijd (T0) voor de workflow wordt verplaatst naar de starttijd van de meest recente HIRLAM downscaling verwachting.
- De meest recente HIRLAM downscaling verwachting en de historische data van de afgelopen 3 dagen worden gecombineerd in een reeks.
- Gaten in de resulterende reeks worden via lineaire interpolatie tussen omliggende waarden opgevuld, zodat er voor de hele reeks data met een tijdstap van 1 uur beschikbaar is.
- De resulterende reeks wordt geëxtrapoleerd tot T0 + 48 uur bij ontbrekende data, waarbij de laatste waarde constant verondersteld wordt.
- De wind wordt van het HIRLAM downscaling rooster geïnterpoleerd naar het SWAN rooster (bi-linear interpolation).

Waterstanden:

- De waterstanden van het WAQUA model worden geïnterpoleerd van het WAQUA rooster naar het SWAN rooster (closest distance)

Model

Er zijn twee verschillende 'template' input files beschikbaar voor lage en hoge wind snelheden. Deze bevatten verschillende instellingen voor de convergentie criteria. Daardoor levert de som met lage windsnelheden wat minder nauwkeurige resultaten op, maar blijft deze wel binnen de rekentijd die voor een operationeel systeem nodig is. De kleinere nauwkeurigheid is in dit geval acceptabel omdat kleine windsnelheden geen gevaarlijke golfhoogtes opwekken. Sommen met hogere windsnelheden convergeren sneller en de settings zijn dan zo ingesteld dat het model een nauwkeuriger resultaat oplevert. Op basis van een tijdreeks van de windsnelheid (gemeten en verwacht, centraal in het IJsselmeer) wordt bepaald welke 'template' file gebruikt moet worden voor de verwachting.

Als uitkomst van de run levert het model kaarten met golf hoogtes (H_{m0}), golf periode (T_{m10}) en golf richting (θ_0).

Postprocessing

Ruimtelijke interpolatie van de model resultaten naar de diverse meetlocaties en naar de hydra punten. Sommige meetpunten vallen net buiten het rekenrooster van het SWAN model. In dat geval wordt eerst naar een nabijgelegen (dummy) locatie geïnterpoleerd, en wordt deze waarde vervolgens naar de betreffende locatie door gekopieerd.

(Deltares)

Golfoploop en golfoverslag: PC-overslag en voorlandmodule

Uit de WAQUA en SWAN modellen komen hydraulische basiscondities op zogenaamde uitvoerlocaties. Deze locaties bevinden zich op enige afstand van de dijk. In de grotere meren bedraagt deze afstand globaal 200 meter en in de kleinere globaal 100 meter.

Deze hydraulische basiscondities kunnen in sommige gevallen worden beschouwd als representatief voor de hydraulische condities ter plaatse van de teen van de dijk. Dit is zo indien aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

1. De door de golven en de wind (voor zover over water) afgelegde weg tot de uitvoerlocatie moet groot zijn ten opzichte van de nog af te leggen weg tussen de uitvoerlocatie en de teen van de dijk.
2. Er mogen zich geen obstakels bevinden tussen de uitvoerlocatie en de teen van de dijk.
3. Het bodemniveau tussen de uitvoerlocatie en de teen van de dijk mag niet of nauwelijks afwijken van het bodemniveau ter plaatse van de uitvoerlocatie.

Gevalen die aan deze voorwaarden voldoen zijn bijvoorbeeld dijken die in relatief diep water zijn aangelegd.

Indien er niet aan de 2e voorwaarde voldaan wordt moeten de hydraulische basiscondities van voor het obstakel vertaald worden naar nieuwe hydraulische condities achter het obstakel. In dat geval wordt de voorlandmodule met dam gedraaid.

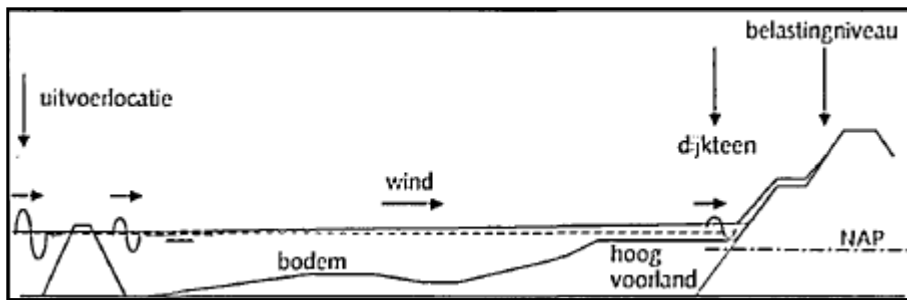
Als aan voorwaarde 3 niet voldaan wordt, moet het effect van het voorland op de hydraulische condities bepaald worden. De nieuwe hydraulische condities worden bepaald als gevolg van:

- Refractie
- Shoaling
- Energieverlies door golfbreking
- Energieverlies door bodemwrijving
- Energiewinst door golfgroei

Als op de uitvoerlocatie van de WAQUA/SWAN modellen afluiddige wind- of golfrichtingen voorkomen, wordt niet aan de eerste voorwaarde voldaan. Voor dergelijke gevallen zijn de hydraulische basiscondities niet representatief.

De uiteindelijke uitkomst van de voorlandmodule zijn de hydraulische randvoorwaarden aan de teen van de dijk.

(Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, 1999)



Figuur B3.1.2 Schematische weergave voorlandmodule

Als de hydraulische randvoorwaarden aan de teen van de dijk bekend zijn, kunnen de golfloop en golfoverslag bepaald worden met behulp van PC-overslag. (van der Meer, 2002)

Hieronder is de rekenprocedure van de golfloopmodule weergegeven.

1. Bepaal de golfrandvoorwaarden aan de teen van de dijk: H_{m0} , $T_{m-1,0}$
2. Bereken de invloedsfactor voor de hoek van golfinval γ_s
3. Pas de golfrandvoorwaarden aan indien $\beta > 80^\circ$
4. Bereken het gemiddelde talud, $\tan \alpha$
5. Bereken $z_{2\%,glad}$ (glad: met $\gamma_b = 1$ en $\gamma_f = 1$)
6. Bereken de invloedsfactor voor de ruwheid op het talud γ_f
7. Bereken $z_{2\%,ruw}$ (ruw: met $\gamma_b = 1$)
8. Bereken de invloedsfactor voor de bermen γ_b
9. Bereken de 2%-golfloop
10. Bereken de γ_s voor golfoverslag
11. Bereken de golfoverslag met de hierboven gevonden γ_b en γ_f
12. Bereken de overslagvolumes per golf

Figuur B3.1.3 Rekenprocedure van de golfloopmodule

Als blijkt dat er kritische waarden voor golfloop en overslag overschreden worden, wordt dat gevisualiseerd in de RWsOS-Meren client. De WDIJ kan dan besluiten of er een waarschuwing uitgegeven moet worden.

BIJLAGE C2 Opvraagbaarheid meetdata

In de bovenstaande paragraaf worden verschillende data-opslag en opvraagssystemen genoemd, te weten: MATROOS, DONAR, Waterbase, Webwaves en de KNMI website.

MATROOS staat voor 'Multifunctional Access Tool for Operational Ocean Data Services'. Met behulp van MATROOS is het mogelijk om gemakkelijk toegang te krijgen tot alle recente en historische model en meetgegevens, inclusief de windmetingen van het KNMI en de metingen van de meetpalen van RWS IJG. De meetpaaldata gaat echter maar terug tot 2006. De interface is geoptimaliseerd voor het ophalen van de meest recente data, het is daardoor niet makkelijk om te zien wat de databeschikbaarheid is, omdat bij een data-aanvraag van een periode van langer dan een paar maanden de server er te lang over doet om de data aan te leveren. Om te zien of er in een bepaalde periode data beschikbaar is, moet er dus met de hand per maand een data-aanvraag gedaan worden. In bijlage C3 is de interface van Matroos te zien. Het voordeel van Matroos is dat alle data van verschillende bronnen aanwezig is en direct in een grafiek weergegeven of als tijdreeks gedownload kan worden. Een ander punt van aandacht bij het gebruik van Matroos is dat er meerdere Matroos databases bestaan. De beschikbare data verschillen tussen deze databases.

DONAR staat voor "Data Opslag NAtte Rijkswaterstaat" en is het centrale opslag-, verwerkings- en presentatiesysteem voor de meetgegevens van de 'natte' RWS. In deze centrale database worden in principe alle fysische, chemische en biologische meetgegevens van RWS opgeslagen. Door deze centrale opslag van gegevens wordt een centrale en integrale toegankelijkheid van de gegevens gerealiseerd. Hierdoor is alle data binnen RWS beschikbaar. Het opvragen van data uit Donar kan via de datadesk. Dit kan een drempel zijn om de databeschikbaarheid te bekijken en de gewenste meetdata uit het systeem te halen.

Waterbase (live.waterbase.nl) is een website van RWS om meetgegevens uit DONAR voor iedereen beschikbaar te maken. Waterbase bevat niet alle meetgegevens uit Donar maar alleen de gegevens van het landelijk watermonitoringsprogramma. Van het IJsselmeer zijn alleen waterhoogten beschikbaar. Het voordeel van Waterbase boven Matroos is dat er een functie is om de databeschikbaarheid te controleren zodat direct kan worden bekeken voor welke perioden er meetdata beschikbaar is. Er kan echter maar voor één jaar per keer data opgevraagd worden. De uitvoer is in grafiekvorm of als tijdreeks mogelijk. In bijlage C3 is de interface te zien.

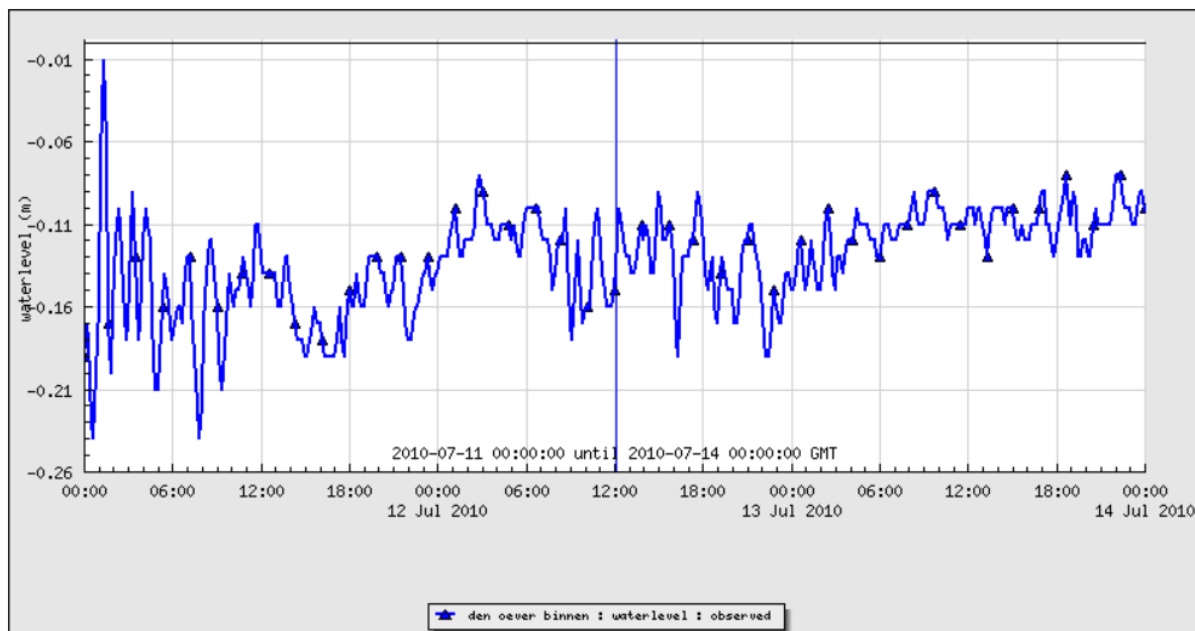
Webwaves (<http://demo.xi-alles.nl/webwaves/>) is een website die gebruikt wordt door RWS IJG om de meetdata afkomstig van de meetpalen in het IJsselmeer te ontsluiten binnen de eigen afdeling. De reeksen zijn dus niet voor een ieder binnen RWS toegankelijk. Verder gaan de reeksen op de website maar terug tot juli 2007. Op de website zijn verder nog stormseizoen rapporten vanaf 2007-2008 te vinden, waarin de toestanden van de verschillende meetpalen en hun instrumenten beschreven worden.

Op de KNMI website (<http://www.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens/#no>) zijn uurgegevens van een groot deel van de windmeetstations te vinden. In de metadata zijn duidelijk de lengte van de meetreeksen, de gebruikte apparatuur en de eigenschappen van de meetlocatie te zien. Een bijkomend voordeel is dat gekozen kan worden om volledige datareeksen van elk station te downloaden. Nadeel is dat alleen de uurgemiddelden beschikbaar zijn en de 10-minuten gemiddelden niet via deze website beschikbaar zijn.

Bijlage C3 Interfaces data-opvraag methoden

In dit onderzoek zijn via verschillende de bronnen data aangevraagd. In deze bijlage zijn afbeeldingen van de interfaces van MATROOS, Waterbase en Webwaves te zien.

MATROOS



1) Location : Source : Unit:

observed: Linecolor:

Lock first series	Series timing (GMT)	Alarm indicators	Graph properties	Picture properties
Locations ☐	Start : 2010-07-11 00:00:00	Alarm: 0	Y-max: 0	Width: 790
Sources ☐	Current : 2010-07-12 12:05:26	Alert: 0	Y-min: 0	Heigth: 415
Units ☐	End : 2010-07-14 00:00:00	Pre-alert: 0	Plot title:	Labels: Code
Submit	Add serie	Output type: Graph	Time zone: GMT	

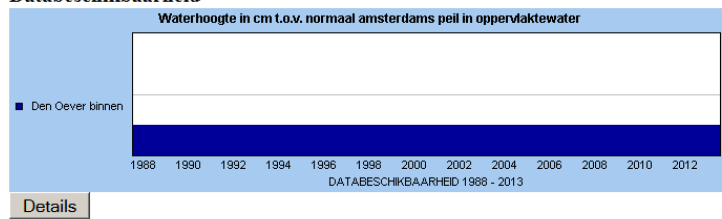
Figuur B3.4.1 Interface MATROOS

In figuur B3.4.2 is de interface van MATROOS te zien. Als voorbeeld is de gemeten waterstand van 12 juli 2010 bij Den Oever binnen genomen. Er is goed te zien dat de interface gemaakt is voor niet al te grote intervallen, de standaard schaal is drie dagen. Het is ook mogelijk de data als tekst of excelbestand op te vragen, maar ook hierbij is het niet mogelijk om lange reeksen (jaren of maanden) op te vragen.

Waterbase

Bij waterbase wordt voor de data-aanvraag eerst aangegeven wat de databeschikbaarheid van de

Databeschikbaarheid



Selecteer de gewenste periode

Voor waterstanden kunt u tijdelijk één jaar per keer opvragen.

	Jaar	Maand*	Dag*
Begindatum			
Einddatum*			

* optioneel

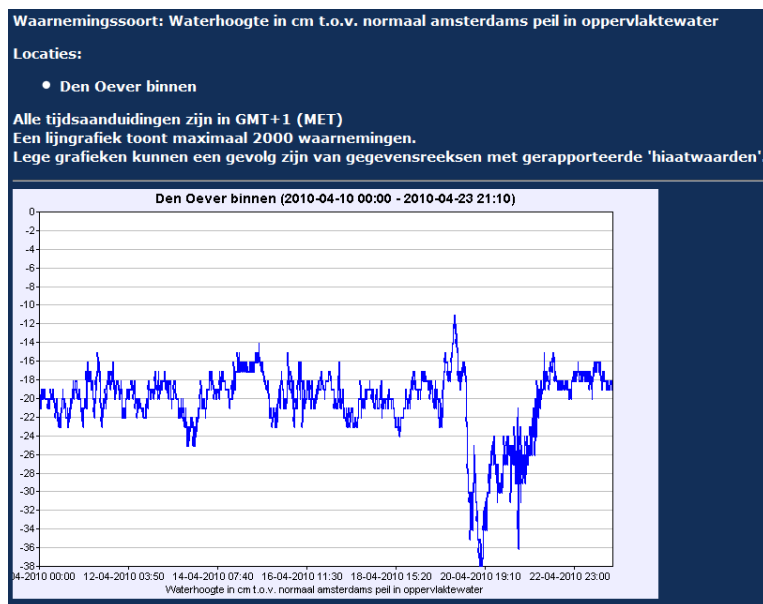
Uitvoer: Downloaden:

vragen.

gekozen meetlocatie is. (figuur B3.4.2)

Hierna kunnen waterstanden per jaar opgevraagd worden. In het voorbeeld in figuur B3.4.3 zijn de waterstanden van Den Oever in April te zien, in grafische vorm is maximaal een maand te bekijken. De data kan ook hier als tekst of excelbestand opgevraagd worden, waarbij het wel mogelijk is om een heel jaar aan data per keer op te

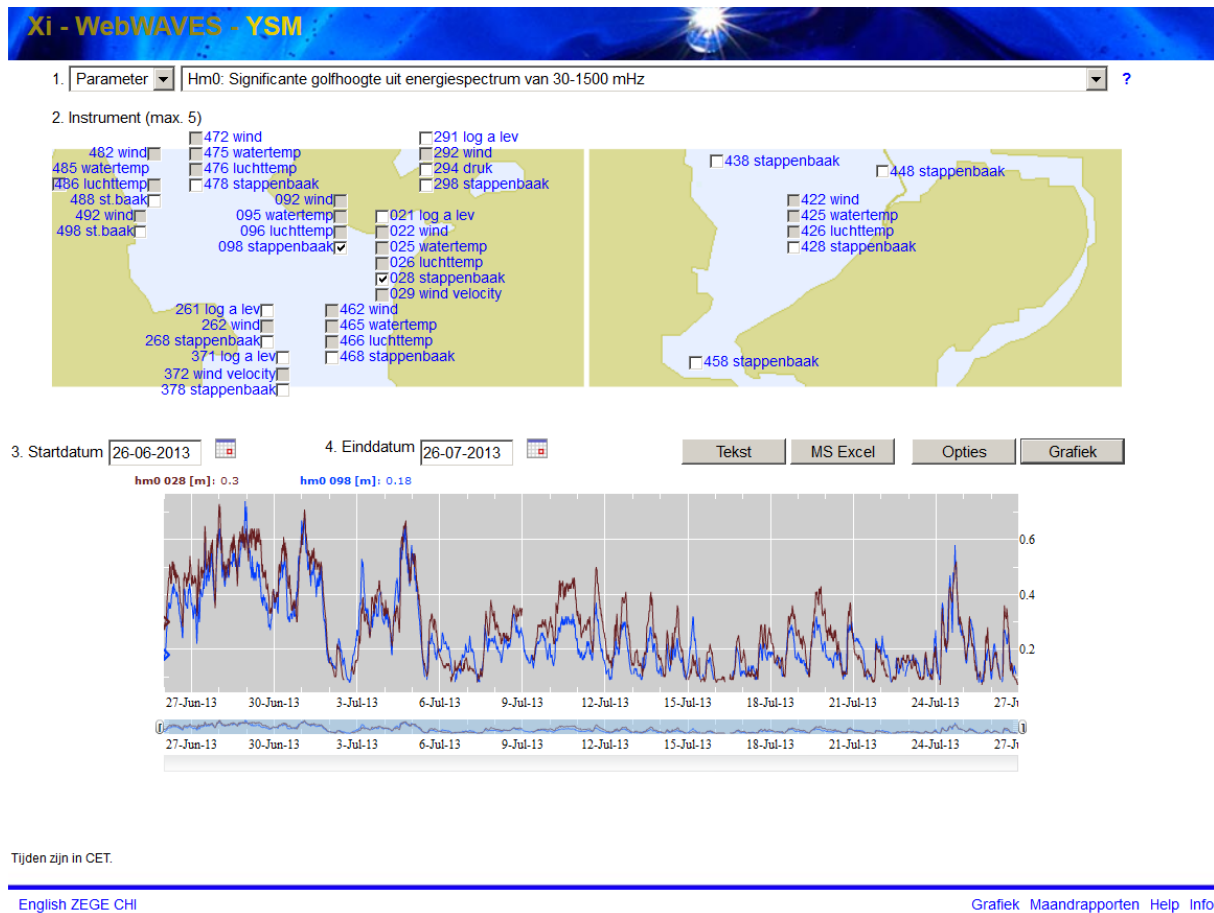
Figuur B3.4.2 Interface Waterbase databeschikbaarheid



Figuur B3.4.3 Grafische output Waterbase

WebWaves

Via WebWaves is de data van de meetpalen in het IJsselmeer opvraagbaar vanaf 2007. In figuur B3.4.4 is te zien dat er per meetlocatie instrumenten gekozen kunnen worden die samen in een grafiek, tekst of excelbestand uitgevoerd kunnen worden.



Figuur B3.4.4 Interface WebWaves

Bijlage D1 Toelichting meetprojecten

KNMI Windmeetproject

Rond het IJsselmeer zijn de volgende KNMI meetlocaties beschikbaar:

Stn,	X,	Y,	Meethoogte	Hoogte,	Naam	Start/eindjaar
008,	156971,	501253,	10.0,	-4.2,	Lelystad-Haven	21/05/53–29/03/81
135,	151696,	564704,	10.0,	3.0,	Kornwerderzand	01/03/62–30/09/92
147,	170118,	518891,	14.0,	0.0,	Urk	01/01/60–31/12/91
248,	140525,	516175,	10.0,	-1.2,	Wijdenes	10/08/94 – heden
249,	127350,	517350,	10.0,	-2.5,	Berkhout	22/03/99 - heden
267,	154725,	545250,	10.0,	-0.9,	Stavoren-AWS	18/06/90 – heden
268,	158345,	505543,	10.0,	0.0,	Houtrib	01/01/77–16/01/95
269,	164125,	497125,	10.0,	-4.0,	Lelystad	01/05/82 – heden
271,	152850,	544400,	10.0,	2.6,	Stavoren-Haven	18/06/90-24/04/02
272,	186309,	514332,	14.0,	0.0,	Ramspol	01/01/62–01/09/77

Met groen zijn de dichtsbijzijnde meetlocaties aangegeven. Wijdenes is niet beschikbaar op de KNMI site, dus wordt gekozen voor Berkhout en Stavoren. Het KNMI Windmeetproject heeft dus twee beschikbare nuttige locaties. Hieronder zijn de kenmerken van deze meetlocaties weergegeven.

06249 Berkhout	
Positie:	52° 39' N.B. 04° 59'O.L.
Terreinhoogte:	-2,4 meter t.o.v. NAP.
Startdatum:	19990317
Karakteristiek omgeving:	Polder, vlak open landschap, voornamelijk gras- en bouwland
Grondsoort:	Klei
Hoogte barometer:	n.v.t.
Hoogte windmeetmast:	10 meter
Windmetingen:	gemeten m.b.v., bijzonderheden en meethoogte:
19990317 - heden	AWS (digitale registratie). Meethoogte 10,0 m.

06267 Stavoren	
Positie:	52° 54' N.B. 05° 23' O.L.
Terreinhoogte:	-1.3 meter t.o.v. NAP.
Startdatum:	19910101
Karakteristiek omgeving:	Gelegen in open landschap, voornamelijk grasland.
Grondsoort:	Klei
Hoogte barometer:	nvt
Hoogte windmeetmast:	10 meter
Windmetingen:	gemeten m.b.v., bijzonderheden en meethoogte:
19910101 - 19990831	Cup-anemometer, AWS (digitale registratie). Meethoogte 10,0 m.(oude locatie)
20000101 - heden	Idem; nieuwe locatie (ruim 2 km NO van vorige)

Laatste update: augustus 2012

De wind wordt gemeten op een mast met een anemometer. Dit instrument is in 1846 geïntroduceerd door de Ierse astronoom Thomas Romney Robinson (1792-1882). Het is een ronddraaiend molentje met drie of vier halve bollen (cups) die met stangetjes aan een draaibare as zijn bevestigd.

Nauwkeurigheid windsnelheid: 0.5 m/s voor $U < 5$ m/s; 10% voor $U > 5$ m/s.
Nauwkeurigheid windrichting: 5.

Bij gebrek aan werkend instrumentarium kan de windsnelheid en -richting geschat worden door een waarnemer. Dit geldt niet voor standaarddeviaties en vlagen.

Karakteristieken van de windsnelheidssensors zijn:

- Bereik: 0,5–75 m/s;
- Lineariteit: 0,5 m/s (1 kts);
- Responsielengte: 2–5 m.

Karakteristieken van de windrichtingsensors zijn:

- Windsnelheid bereik: 0.5–75 m/s;
- Lineariteit: . 2.–5.;
- Oplossend vermogen: 3.;
- Ongedempte golflengte: < 10 m;
- Dampingverhouding: 0.3–0.7.

Het onafhankelijk middelen van de windrichting en de windsnelheid zal een overschatting van de windsnelheid tot gevolg hebben van 1–4%. Correcties hiervoor zijn mogelijk wanneer de standaarddeviatie van de windrichting bekend is. (Verkaik, 2001)

Metingen van het Landelijk Meetnet Water (LMW)

Uit met LMW zijn voor dit onderzoek vijf meetlocaties meegenomen, deze zijn: Den Oever binnen, Houtrib noord, Kornwerderzand binnen, Lemmer en Ramspolbrug. De waterstanden op deze locaties zijn van 1997 tot heden alle gemeten met vlotterniveaumeters met een digitale niveaumeter, behalve de locatie Ramspolbrug waar in 2012 een radarinstrument is geplaatst.

Bij het ontwerp van het landelijk waterstandsmmeetnet is uitgegaan van een standaardafwijking van het verschil tussen de gemeten waterstand en de (onbekende) werkelijke waterstand van 2,5 cm. Deze aanname stamt nog uit de tijd van de analoge registratie met semi-automatische verwerking (begin jaren '80). Het vermoeden bestaat dat dit tegenwoordig te conservatief is en dat de werkelijke standaardafwijking ergens in de buurt van 1,5 cm ligt. Er wordt vanuit gegaan dat beide gebruikte typen instrumenten dezelfde standaardafwijking hebben van 2,5 cm. (Meetnet Control Centrum, 2013)

Omschrijving digitale Niveaumeter (vlottersysteem):

De Digitale Niveaumeter (DNM), bestaat uit een verticaal in het water staande buis, met openingen waardoor het water in de buis even hoog staat als daarbuiten (de toevoeropening ligt onder de laagste waterstand). In de meetbuis is een vlotter opgehangen, die via een metalen vlotterband en Gray-codeschijven continu de waterstand registreert. De stand van de vlotter is soms direct af te lezen (gebaseerd op het principe van het schrijvende echolood), soms alleen door een zogenaamd vlotterluikje te openen. Voor het verkrijgen van betrouwbare informatie over de waterstand wordt de meetpaal met de Digitale Niveaumeter uitgerust met een golfdemper, wat inhoudt dat de verhouding tussen de doorsnede van de toevoeropening en de binnenste buisdiameter rond de 1:4 ligt. Voor datacommunicatie, -opslag en -presentatie is de digitale niveaumeter met vlottersysteem uitgerust met signaalsplitters, semi-online loggers, grenswaardeschakelaars, signaalmultiplexers, digitale uitleesvensters en eventueel een peilspreker. Door middel van een telemetrieverbinding kunnen gegevens naar de vaste wal worden verzonden. Koppeling met het Rijkswaterstaat interne

Multifunctioneel Presentatiesysteem (MFPS) behoort tot de mogelijkheden. De Digitale Niveaumeter controleert zichzelf voortdurend op de betrouwbaarheid van de gemeten waarden. Het enige nadeel van dit systeem is dat het tamelijk onderhoudsgevoelig is: de vlotterbuis, die in een bak met water hangt, krijgt te maken met bezinkend sediment, waardoor de meetpaal regelmatig moet worden schoongemaakt. De Digitale Niveau Meter met vlottersysteem is een door de afdeling Hydro-Instrumentatie van het Rijksinstituut voor Kust en Zee (deel van RWS) zelf ontworpen systeem. Doordat bepaalde onderdelen in de toekomst niet meer kunnen worden aangeleverd (mede vanwege het feit dat RIKZ dit systeem zelf ontworpen heeft) zullen alle DNM's in de toekomst vervangen worden door radarniveaumeters. (Wikipedia)

Metingen meetpalen RWS IJsselmeergebied (IJG)

In dit onderzoek zijn de volgende meetlocaties en instrumenten van het meetproject van RWS IJG gebruikt:

Instrument-code	Meetpunt	Instrument	Dimen-sies	Inwin-frequentie (Hz)	Datum	Waterstands correctie (cm) naar NAP
021	FL02	Log-a-level	1	4	20070101 20090406	-264 0
022	FL02	windvaan, cupanemometer	2	1		
028	FL02	capdraad (t/m maart 2008) stappenbaak (vanaf maart 2008)	1	4	20070101 20080101 20080320 20090101 20091001 20091002 20091117 20100301 20110216	244 229 290 297 290 297 598 273 306
091	FL09	Log-a-level	1	4	20070101	-258
092	FL09	windvaan, cupanemometer	2	1		
098	FL09	capdraad (t/m maart 2008) stappenbaak (vanaf maart 2008)	1	4	20070101 20091001 20100301 20100901 20101102 20101103 20110216	113 180 170 149 170 149 143
261	FL26	Log-a-level	1	4	20070101 20080101 20080610	-273 -244 -274
262	26	windvaan, cupanemometer	2	1		
268	26	capdraad (t/m maart 2008) stappenbaak (vanaf maart 2008)	1	4	20070101 20080101 20080825	122 120 167

Hieronder wordt ingegaan op de werking van de toegepaste instrumenten. Achtereenvolgens komen aan bod:

- Windsnelheid- en windrichtingsmeter
- Capdraad
- Stappenbaak
- Log-a-level

Windsnelheid- en windrichtingsmeter

De windsnelheden en bijbehorende windrichtingen worden met respectievelijk een cupanemometer en een windvaan gedurende het gehele stormseizoen continu gemeten op verschillende locaties op een hoogte van circa NAP +10 [m].

Capdraad

Een capdraad bestaat uit een met teflon gecoate draad (staaf) en een metalen massabuis. De condensatorplaten die zijn aangesloten op de meetversterker geven een spanning in millivolt die afhankelijk is van de momentane waterstand. Vooraf is door ijking de relatie vastgesteld tussen deze spanning en de lengte van de staaf die onder water staat. Deze relatie wordt in de datalogger opgenomen. De uitvoer van de datalogger is een waterstand in centimeters ten opzichte van de basis van de capdraad. De omrekening naar een waterstand in meters ten opzichte van NAP is opgenomen in WAVES. De gehanteerde inwifrequentie is 4 Hz, De standaard lengte van een capdraad is drie meter.

Stappenbaak

De stappenbaak is bevestigd aan een meetpaal. Het instrument bestaat uit één of twee secties van elk drie meter. De werking van de stappenbaak, bestaande uit een serie elektroden met onderlinge afstanden van 0.05 [m], berust op het principe van elektrische geleiding. De ondergedompelde elektroden hebben een lage weerstand t.o.v. de massa van de baak. Met een tamelijk hoge inwifrequentie wordt voortdurend de hoogste natte elektrode bepaald, waaruit de momentane waterstand wordt afgeleid.

Log-a-level

Het meetprincipe van een log-a-level instrument berust op het meten van de tijd die verstrijkt tussen het verzenden en ontvangen van een geluidspuls die door het instrument wordt uitgezonden in een van bovenaf op het wateroppervlak gerichte bundel.

BETROUWBAARHEID

Windsnelheids- en windrichtingsmeter

De windsensoren zijn over het algemeen betrouwbaar. Storingen kunnen altijd optreden. Dit gebeurt dan meestal bij de windrichtingsensoren.

Stappenbaak

De werking van de stappenbaak, bestaande uit een serie elektroden met onderlinge afstanden van 0.05 meter, berust op het principe van elektrische geleiding. Gezien de eenvoud van het meetprincipe zullen de metingen betrouwbaar zijn als er geen zware golfbreking optreedt.

Capdraad

In tegenstelling tot een stappenbaak is een capdraad een analoog instrument dat potentieel gevoelig is voor verloop. Dit verloop kan zich zowel voordoen in de offset (nulpuntscorrectie) van de capdraadcalibratie als in de calibratiefactor. Daarbij is de laatste direct evenredig met de gemeten golfhoogte. Het verloop in de offset is in dit geval het minst relevant omdat hiervoor automatisch gecorrigeerd wordt bij de omrekening van het ruwe meetsignaal naar waterstanden ten opzichte van NAP (zie par. 5.1). Dat betekent niet dat dergelijk verloop ook verwaarloosbaar is: in eerdere (vòòr 2006) seizoenen bleek uit her-calibraties dat het offsetverloop kan oplopen tot 0.1 à 0.2 m. In de praktijk is het verloop in de calibratiefactor het meest relevant. Bottema (stormseizoenverslag 2005–2006) adviseert: “Het is goed om in het oog te houden dat de huidige capdraadmetingen niet blind zijn te vertrouwen en dat het de nodige inspanning vergt om uit te maken welke gegevens betrouwbaar zijn en welke niet”.

Log-a-level

De golfmeting berust op het van bovenaf verzenden van een signaalbundel naar het golvende wateroppervlak, en het meten van de tijdsduur tussen het verzenden van een signaalpuls en het ontvangen van de bijbehorende reflectie. Om de reflectie te meten moet deze precies bij het instrument terugkomen. In de praktijk vindt die reflectie niet continu plaats vanuit het punt recht onder het instrument, maar vanuit die locaties in de signaalbundel waarvan het momentane

wateroppervlak op dat moment toevallig precies op het instrument gericht is. Dit geeft meetfouten bij een te brede bundel en signaalverlies bij een te smalle bundel. Het energieverbruik van de meeste hieronder besproken instrumenten ligt in de orde 1–5 Watt. De kwaliteit van de meting hangt af van: _ als belangrijk aandachtspunt bij het meten van korte golven: de footprint van het instrument die o.a. samenhangt met bundelbreedte, waterstand en opstelhoogte eigenschappen van het golfveld (bij steile golven en een smalle signaalbundel kan het gereflecteerde signaal naast in plaats van óp het instrument komen) ongevoeligheid van de bundel voor druppels, verwaaiing etc. (hoe breder de bundel en hoe sneller de voortplantingssnelheid van het signaal, hoe minder vaak sprake is van tijdelijk signaalverlies met de bijbehorende uitbijters in het meetsignaal).

Invloed 20min- of uurgemiddelden



BIJLAGE E2 Frequentietabel Windrichtingen

In onderstaande tabellen zijn de frequenties weergegevens van uurgemiddelde windsnelheden van 8bft en hoger voor de locaties Berkhout en Stavoren.

22-3-1999			18-6-1990		
124,872			201,648		
Berkhout 8bft en hoger			Stavoren 8bft en hoger		
<i>windrichting</i>	<i>frequentie</i>	<i>%</i>	<i>windrichting</i>	<i>frequentie</i>	<i>%</i>
30	0	0,00%	30	1	0,20%
45	0	0,00%	45	0	0,00%
70	0	0,00%	70	0	0,00%
90	0	0,00%	90	0	0,00%
140	0	0,00%	140	0	0,00%
160	0	0,00%	160	0	0,00%
180	0	0,00%	180	9	1,83%
200	0	0,00%	200	6	1,22%
230	23	41,82%	230	133	26,98%
250	12	21,82%	250	111	22,52%
270	9	16,36%	270	70	14,20%
290	11	20,00%	290	69	14,00%
320	0	0,00%	320	69	14,00%
340	0	0,00%	340	12	2,43%
360	0	0,00%	360	13	2,64%
totaal	55	100,00%	totaal	493	100,00%

BIJLAGE E3 Overzicht stormen

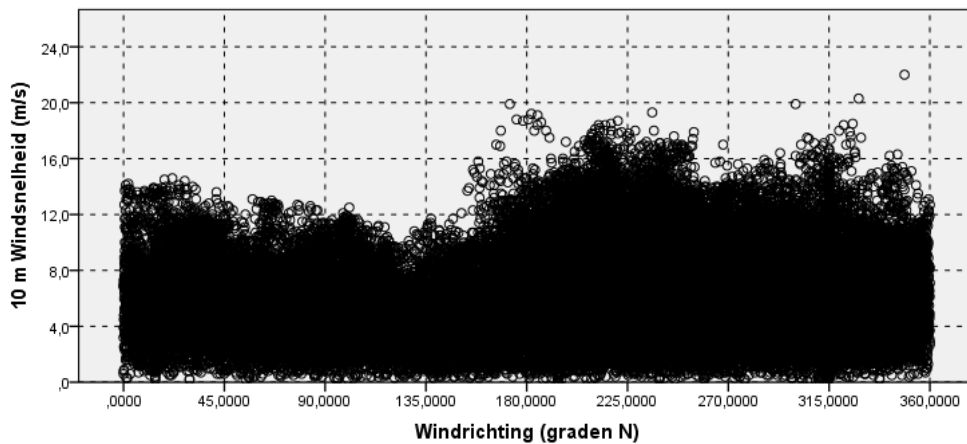
[illegible]

BIJLAGE E4 Overzicht Extreme Waarden Methode

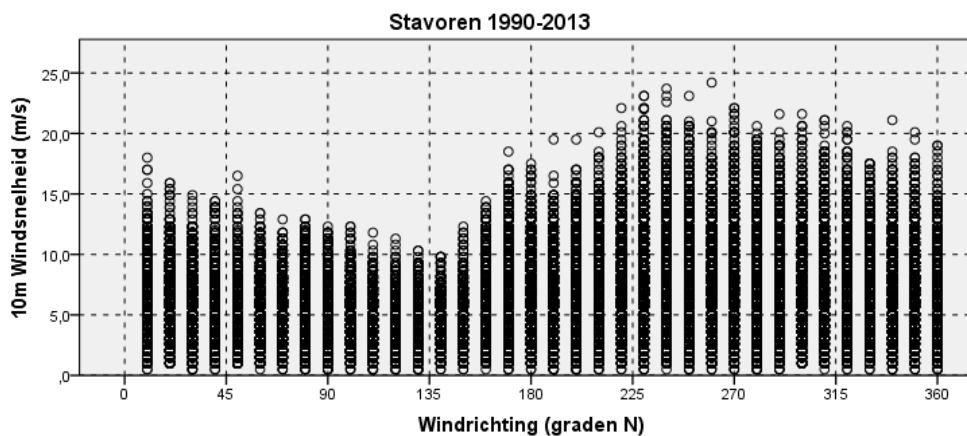
[illegible]

BIJLAGE E5 Scatterplots

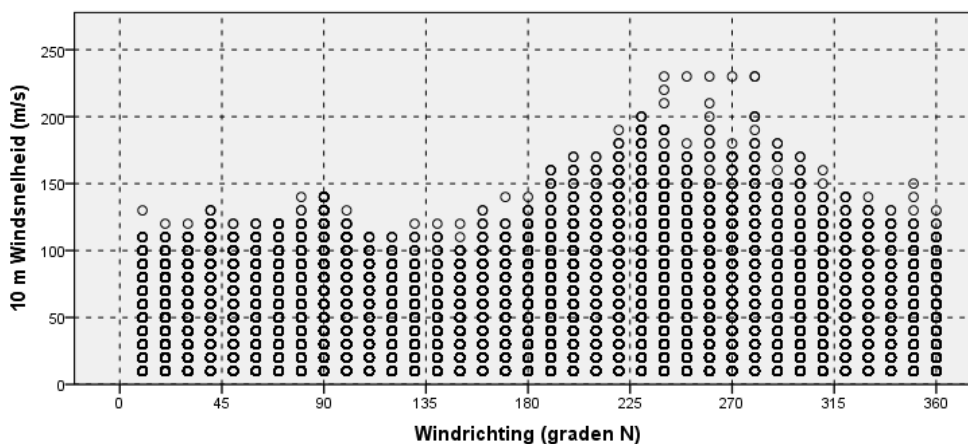
Alle waarden met wind 990 (draaiende wind, richting onduidelijk) en 0 (windstil) zijn verwijderd. Ook alle data waarvan de windsnelheid ontbreekt zijn verwijderd.



Figuur B3.5.1 Scatterplot Windsnelheid-Windrichting FL02 1997-2013



Figuur B3.5.2 Scatterplot Windsnelheid-Windrichting Stavoren 1990-2013



Figuur B3.5.3 Scatterplot Windsnelheid-Windrichting Berkhout 1998-2013

BIJLAGE E6 Resultaten Extreme-Waarden methode

18-1-2007 (Harde wind bij hoog meerpeil)

Wind: 23 m/s bij richting 270 graden N

Meerpeil: (gemiddeld over 5 dagen) +10cm NAP

Opwaaiing/Afwaaiing min/max (cm)

Den Oever:	-83	6
Houtrib:	-58	40
Kornwerderzand:	-33	58
Lemmer:	-5	93
Ramspolbrug:	-8	58

Waterstanden min/max (cm NAP):

Den Oever:	-79	22	
Houtrib:	-60	81	
Kornwerderzand:	-29	78	
Lemmer:	-7	110	
Ramspolbrug:	-3	70	
FL028:	-12	70	
FL021:	-33	64	
FL091:	2	46	
FL268:	1	6	(incomplete reeks)
FL261:	-21	22	

Golfhoogte max(cm NAP):

FL028:	185	
FL021:	204	
FL098:	179	
FL091:	164	
FL268:	48	(incomplete reeks)

28-2-2002 (Stevige wind met zeer hoog meerpeil)

(blijkbaar meer activiteit op 26-2-2002)

Wind: 21 m/s bij richting 240 graden N

Meerpeil: (gemiddeld over 5 dagen) +39cm NAP

Opwaaiing/Afwaaiing min/max (cm)

Den Oever:	-43	13
Houtrib:	-46	17
Kornwerderzand:	-11	45
Lemmer:	-15	56
Ramspolbrug:	-5	42

Waterstanden min/max (cm NAP):

Den Oever:	-4	52
Houtrib:	-7	56
Kornwerderzand:	28	84
Lemmer:	24	95
Ramspolbrug:	34	81
FL098:	32	57
FL268:	10	55

Golfhoogte max(cm NAP):

FL028:	150
FL098:	108
FL268:	130

28-5-2000 (Stevige wind bij 210 graden)

Wind: 21 m/s bij richting 210 graden N

Meerpeil: (gemiddeld over 5 dagen) -15cm NAP

Opwaaiing/Afwaaiing min/max (cm)

Den Oever:	-54	32
Houtrib:	-95	6
Kornwerderzand:	-4	73
Lemmer:	-23	83
Ramspolbrug:	-28	35

Waterstanden min/max (cm NAP):

Den Oever:	-76	21	
Houtrib:	-120	-3	
Kornwerderzand:	-24	72	
Lemmer:	-38	70	
Ramspolbrug:	-42	19	
FL098:	-30	8	
FL268:	-26	-13	(incomplete reeks)

Golfhoogte max(cm NAP):

FL098:	69	
FL268:	67	(incomplete reeks)

27-10-2002 (harde wind)

Wind: 23 m/s bij richting 250 graden N

Meerpeil: (gemiddeld over 5 dagen) -25cm NAP

Opwaaiing/Afwaaiing min/max (cm)

Den Oever:	-73	9
Houtrib:	-47	50
Kornwerderzand:	-38	55
Lemmer:	-7	93
Ramspolbrug:	-15	74

Waterstanden min/max (cm NAP):

Den Oever:	-107	-10
Houtrib:	-78	24
Kornwerderzand:	-72	35
Lemmer:	-40	69
Ramspolbrug:	-40	46
FL098:	-67	17
FL268:	-43	-12

Golfhoogte max(cm NAP):

FL028:	164
FL098:	163
FL268:	138

1-11-2006 (harde wind en extreme meetfouten)

Wind: 20 m/s bij richting 330 graden N

Meerpeil: (gemiddeld over 5 dagen) -32cm NAP

Opwaaiing/Afwaaiing min/max (cm)

Den Oever:	-56	2
Houtrib:	-12	75
Kornwerderzand:	-67	12
Lemmer:	-3	45
Ramspolbrug:	-6	82

Waterstanden min/max (cm NAP):

Den Oever:	-99	-24	
Houtrib:	-48	41	
Kornwerderzand:	-112	-19	
Lemmer:	-46	9	
Ramspolbrug:	-39	44	
FL028:	-89(MF!)	→ -31	15
FL021:	-34	114(MF!)	→ -11
FL098:	-35	-17	
FL091:	-35	-14	
FL268:	-34	-8	(incomplete reeks)
FL261:	-106(MF?)	106(MF?)	(incomplete reeks)

Golfhoogte max(cm NAP):

FL028:	144	
FL021:	106	
FL098:	119	
FL091:	100	
FL268:	151	(incomplete reeks)
FL261:	87	(incomplete reeks)

9-3-2002(stevige wind hoog meerpeil)

Wind: 21 m/s bij richting 300 graden N

Meerpeil: (gemiddeld over 5 dagen) +21cm NAP

Opwaaiing/Afwaaiing min/max (cm)

Den Oever:	-66	9
Houtrib:	-37	56
Kornwerderzand:	-51	36
Lemmer:	-11	69
Ramspolbrug:	-8	76

Waterstanden min/max (cm NAP):

Den Oever:	-45	30
Houtrib:	-16	77
Kornwerderzand:	-30	57
Lemmer:	10	80
Ramspolbrug:	13	87
FL028:	4	21

Golfhoogte max(cm NAP):

FL028:	149
FL098:	133
FL268:	138

(incomplete reeks)

6-11-1998(wind bij extreem hoog meerpeil)

Wind: 16 m/s bij richting 260 graden N

Meerpeil: (gemiddeld over 5 dagen) +47cm NAP

Opwaaiing/Afwaaiing min/max (cm)

Den Oever:	-21	10
Houtrib:	-19	20
Kornwerderzand:	-13	14
Lemmer:	-13	30
Ramspolbrug:	-7	38

Waterstanden min/max (cm NAP):

Den Oever:	26	57	
Houtrib:	28	67	
Kornwerderzand:	34	61	
Lemmer:	34	74	
Ramspolbrug:	40	85	
FL028:	34	62	
FL098:	41	57	(incomplete reeks)
FL268:	32	54	

Golfhoogte max(cm NAP):

FL028:	105	
FL098:	94	(incomplete reeks)
FL268:	85	

9-2-2004 (wind bij hoog meerpeil)

Wind: 18 m/s bij richting 320 graden N

Meerpeil: (gemiddeld over 5 dagen) +18cm NAP

Opwaaiing/Afwaaiing min/max (cm)

Den Oever:	-48	9
Houtrib:	-23	44
Kornwerderzand:	-53	13
Lemmer:	-8	42
Ramspolbrug:	0	55

Waterstanden min/max (cm NAP):

Den Oever:	-30	27
Houtrib:	-5	62
Kornwerderzand:	-35	31
Lemmer:	10	60
Ramspolbrug:	18	73
FL028:	12	59
FL098:	14	47
FL268:	4	51

Golfhoogte max(cm NAP):

FL028:	138
FL098:	121
FL268:	152

3-1-2012 (stevige wind)

Wind: 21 m/s bij richting 210 graden N

Meerpeil: (gemiddeld over 5 dagen) +4cm NAP

Opwaaiing/Afwaaiing min/max (cm)

Den Oever:	-34	14
Houtrib:	-67	63
Kornwerderzand:	-20	66
Lemmer:	-17	67
Ramspolbrug:	-18	80

Waterstanden min/max (cm NAP):

Den Oever:	-30	18
Houtrib:	-63	67
Kornwerderzand:	-16	70
Lemmer:	-13	71
Ramspolbrug:	-14	84
FL028:	-6	49
FL021:	-3	52
FL098:	-6	39

Golfhoogte max(cm NAP):

FL028:	145
FL021:	139
FL098:	158

30-10-2000 (stevige wind bij laag meerpeil)

Wind: 21 m/s bij richting 210 graden N

Meerpeil: (gemiddeld over 5 dagen) -24cm NAP

Opwaaiing/Afwaaiing min/max (cm)

Den Oever:	-25	28
Houtrib:	-87	12
Kornwerderzand:	-7	74
Lemmer:	-12	51
Ramspolbrug:	-42	12

Waterstanden min/max (cm NAP):

Den Oever:	-49	4	
Houtrib:	-111	-12	
Kornwerderzand:	-32	50	
Lemmer:	-36	37	
Ramspolbrug:	-66	-12	
FL098:	-19	-11	(incomplete reeks)
FL268:	-18	-18	(incomplete reeks)

Golfhoogte max(cm NAP):

FL028:	144	
FL098:	102	(incomplete reeks)
FL268:	67	(incomplete reeks)

17-12-1997 (stevige wind bij erg laag meerpeil)

Wind: 19 m/s bij richting 70 graden N (STAVOREN EN FL02 TEGENSTRIJDIG!)

Meerpeil: (gemiddeld over 5 dagen) -40cm NAP

Opwaaiing/Afwaaiing min/max (cm)

Den Oever:	-4	34
Houtrib:	-21	18
Kornwerderzand:	-10	10
Lemmer:	-44	9
Ramspolbrug:	-56	11

Waterstanden min/max (cm NAP):

Den Oever:	-36	-6	
Houtrib:	-61	-22	
Kornwerderzand:	-50	-30	
Lemmer:	-84	-31	
Ramspolbrug:	-96	-29	
FL028:	-66	-31	(incomplete reeks)

Golfhoogte max(cm NAP):

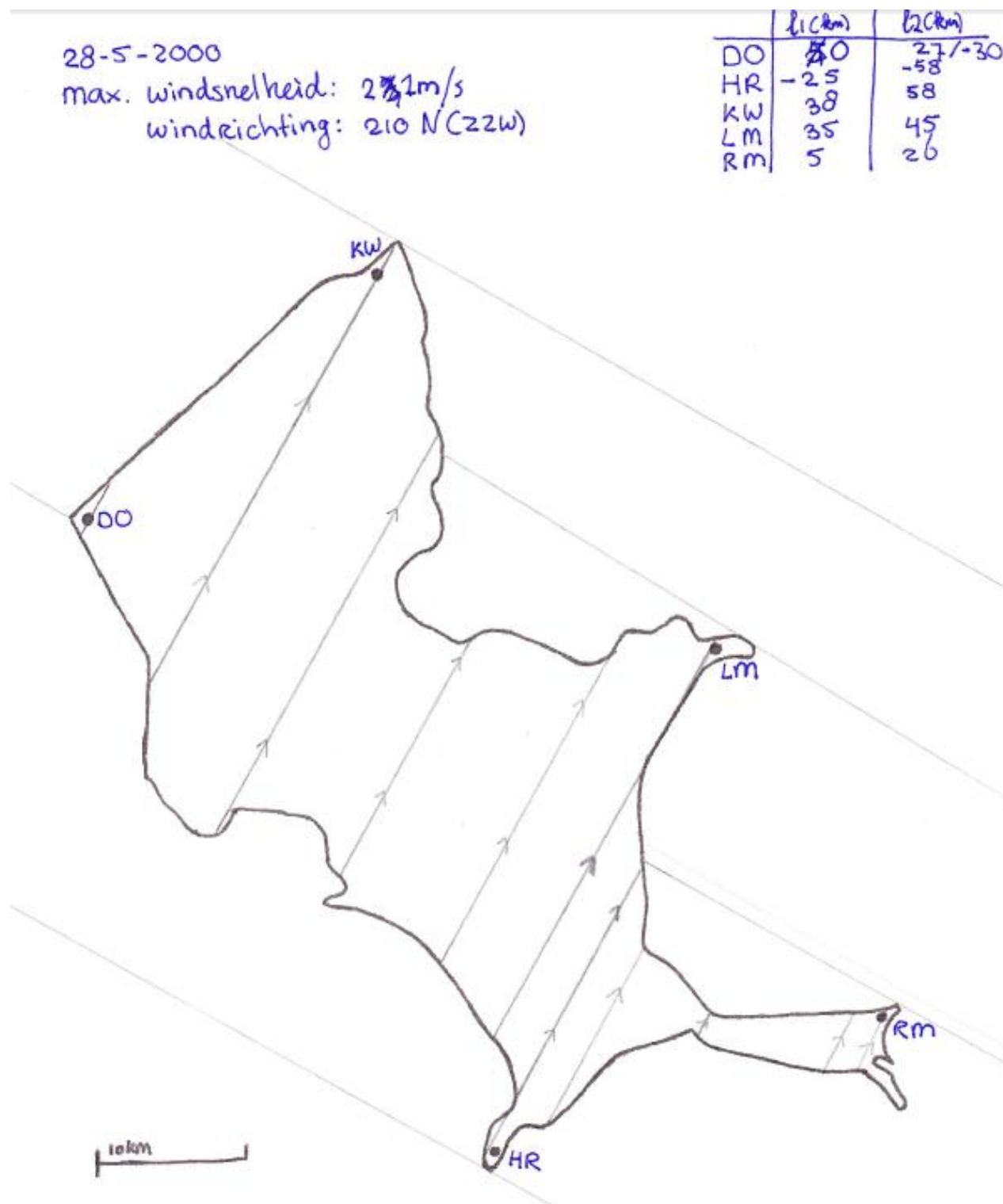
FL028:	48	(incomplete reeks)
--------	----	--------------------

BIJLAGE E7 Reacties waterstanden 1-3-2008

[illegible]

BIJLAGE E8 Visualisatie strijklengtes vuistregel opwaaiing

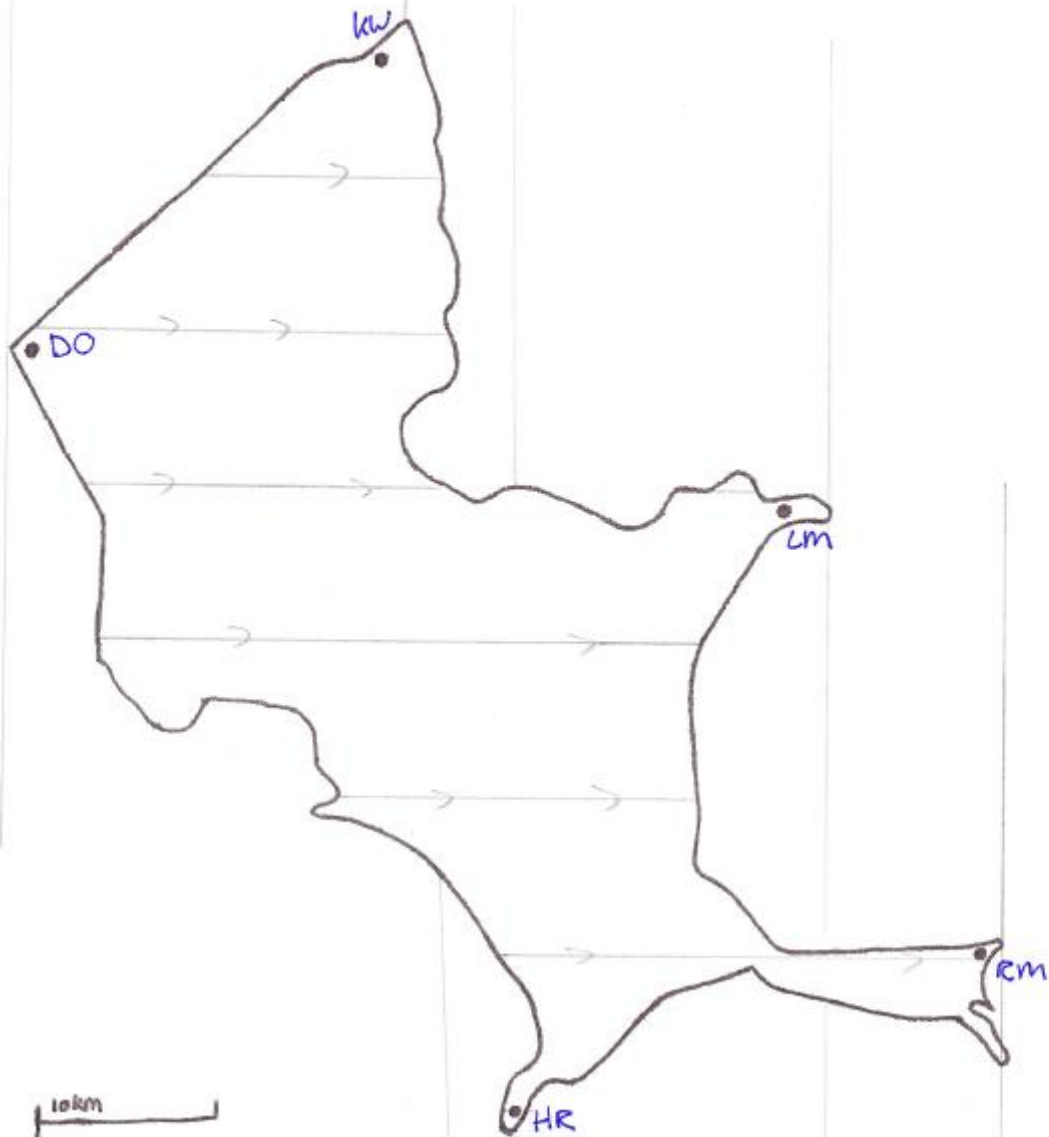
In deze bijlage zijn de strijklengtes voor gebruik bij de vuistregel voor opwaaiing te zien. L1 is de strijklengte tot de dichtsbijzijnde kust, L2 is de strijklengte tot het verst weg gelegen water.



18-1-2007

max. windsnelheid: 23 m/s
windrichting: 270 N(W)

	l_1 (km)	l_2 (km)
DO	-28	-63
HR	0	32/-30
KW	0	25/-35
LM	43	52
RM	30	63

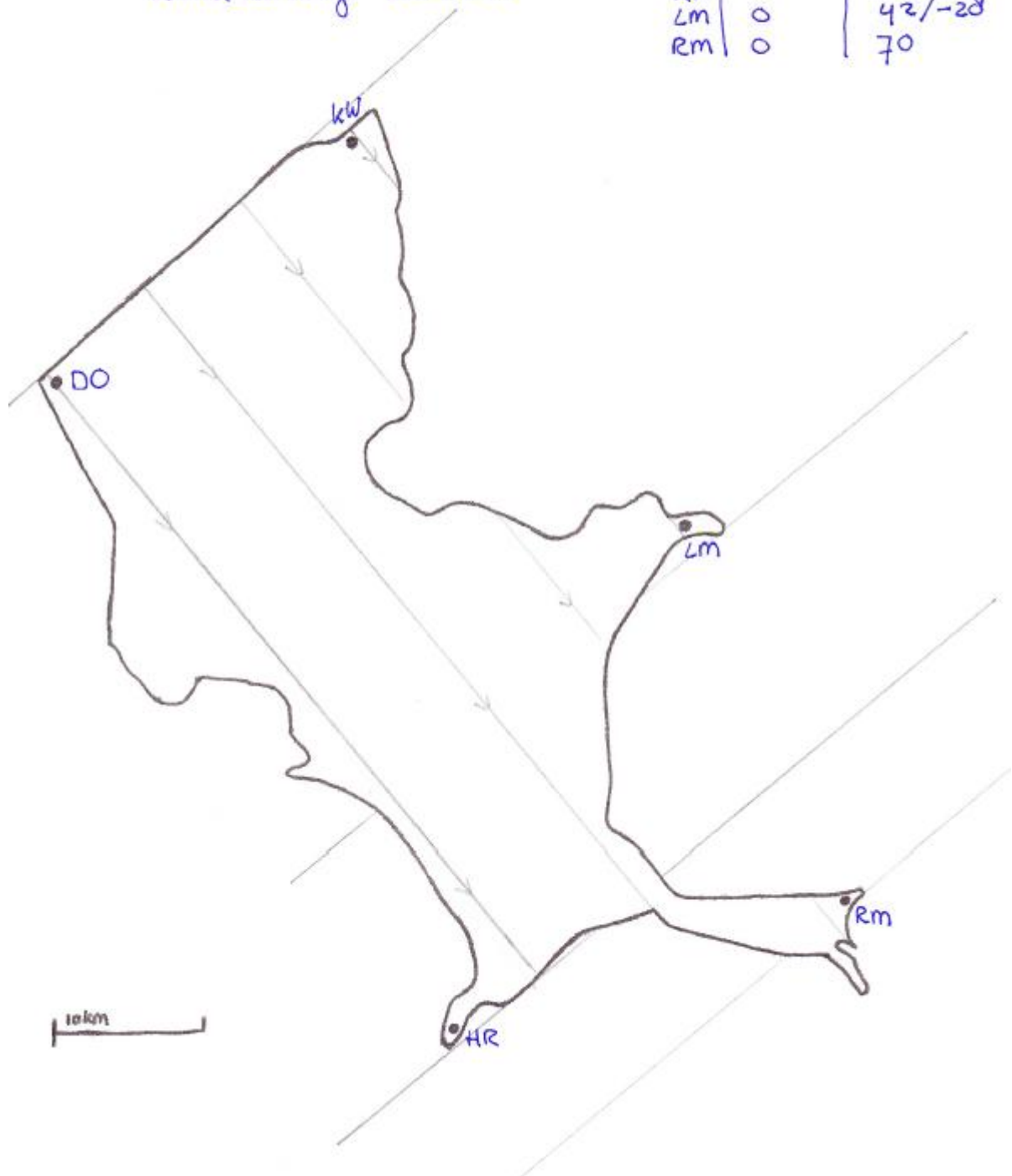


1-11-2006

max. windsnelheid: 20 m/s

winde richting: 320 N(NW)

	l_1 (km)	l_2 (km)
DO	-60 60	-70
HR	60	60
KW	-5	-70
LM	0	42/-28
RM	0	70

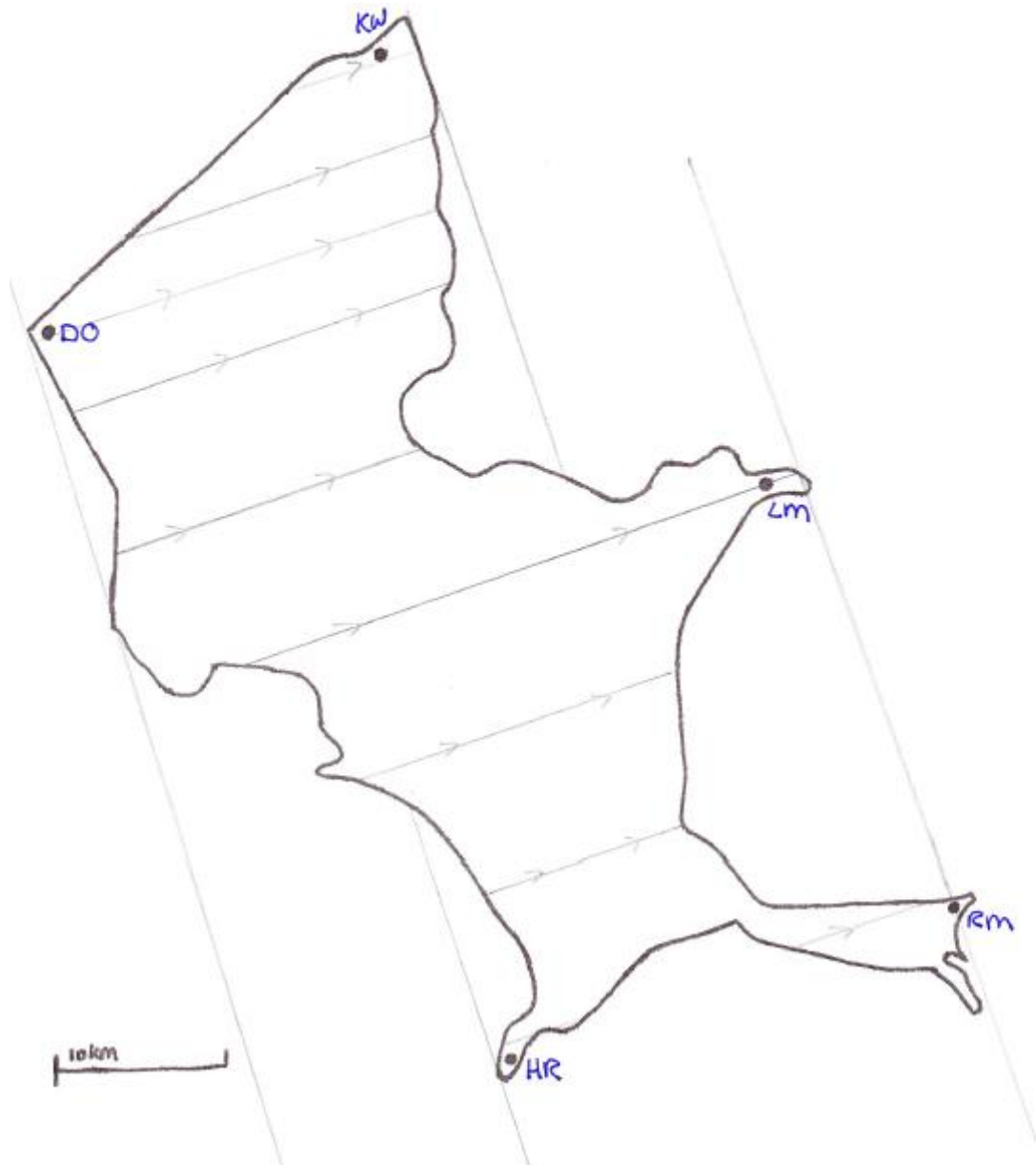


27-10-2002

max. windsnelheid: 23 m/s

windrichting: 250 N (WZW)

	L_1 (km)	L_2 (km)
DO	-28	-45
HR	0 0	+15/-31
KW	0	+30/-14
LM	39	46
RM	10	46



BIJLAGE E9 Controle vuistregel voor opwaaiing

In deze bijlage is de vuistregel getoetst op verschillende toetsniveaus, een fout lager dan 10cm is beoordeeld als goed(groen), een fout lager dan 50cm is beoordeeld als redelijk (geel) en een grotere fout is beoordeeld als fout (rood).

	U	H											
28-5-2000	21	4,5											
	L1	L2	L2	X1	X2	X2	Gemeten		Fout:				
DO	0	27000	-30000	0,00	0,53	-0,59	0,32	-0,54	0,32	0,21	0,05		
HR	-25000	-58000		-0,49	-1,14	0,00	-0,95		0,46	0,19			
KW	38000	58000		0,74	1,14	0,00	0,73		0,01	0,41			
LM	35000	45000		0,69	0,88	0,00	0,83		0,14	0,05			
RM	0	26000	-31000	0,00	0,51	-0,61	-0,2	0,32	0,20	0,71	0,95		

	U	H											
27-10-2002	23	4,5											
	L1	L2	L2	X1	X2	X2	Gemeten		Fout:				
DO	-28000	-45000		-0,66	-1,06	0,00	-0,73		0,07	0,33			
HR	0	15000	-31000	0,00	0,35	-0,73	-0,47	0,5	0,47	0,82	1,23		
KW	0	30000	-14000	0,00	0,71	-0,33	0,55	-0,38	0,55	0,16	0,05		
LM	39000	46000		0,92	1,08	0,00	0,93		0,01	0,15			
RM	10000	46000		0,24	1,08	0,00	0,94		0,70	0,14			

	U	H											
1-11-2006	20	4,5											
	L1	L2	L2	X1	X2	X2	Gemeten		Fout:				
DO	-60000	-70000		-1,07	-1,24	0,00	-0,56		0,51	0,68			
HR	60000	60000		1,07	1,07	0,00	0,75		0,32	0,32			
KW	-5000	-70000		-0,09	-1,24	0,00	-0,67		0,58	0,57			
LM	0	42000	-28000	0,00	0,75	-0,50	0,45		0,45	0,30	0,50		
RM	0	70000		0,00	1,24	0,00	0,82		0,82	0,42			

	U	H											
18-1-2007	23	4,5											
	L1	L2	L2	X1	X2	X2	Gemeten		Fout:				
DO	-28000	-63000		-0,66	-1,48	0,00	-0,83		0,17	0,65			
HR	0	32000	-30000	0,00	0,75	-0,71	-0,58	0,4	0,58	1,33	1,11		
KW	0	25000	-35000	0,00	0,59	-0,82	0,53	-0,33	0,53	0,06	0,49		
LM	43000	52000		1,01	1,22	0,00	0,93		0,08	0,29			
RM	30000	63000		0,71	1,48	0,00	0,58		0,13	0,90			

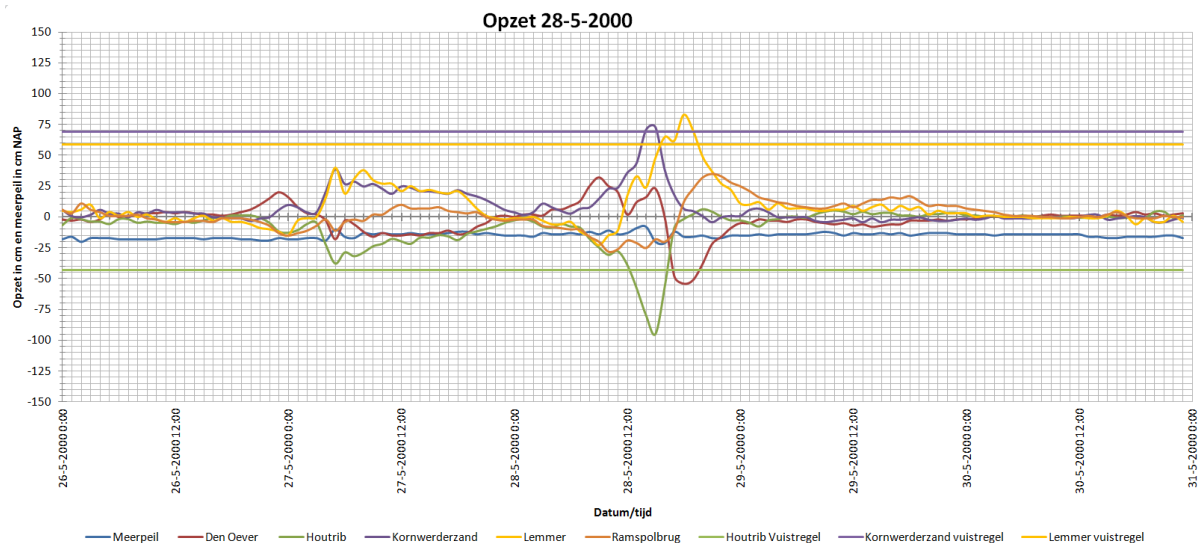
.1= AFSTAND TOT DICHTSBIJZIJNDE KUST

.2=MAXIMALE AFSTAND

Toegenstane fout = 10 cm = 0,1 m = < 0,5 m = <

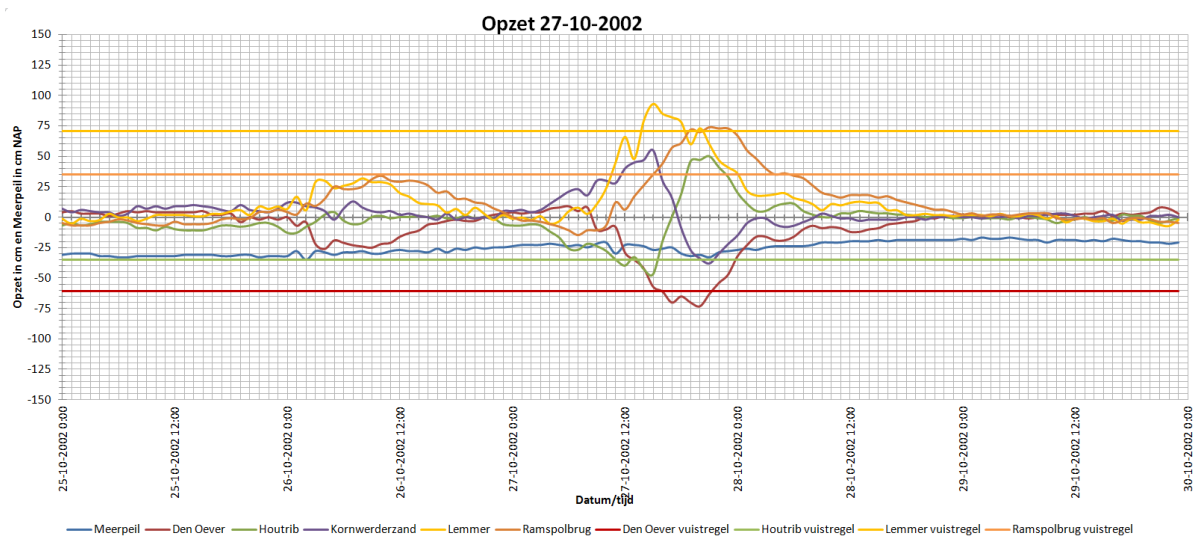
Waterdiepte: 4,5

BIJLAGE E10 Situaties vuistregel voor Opwaaiing



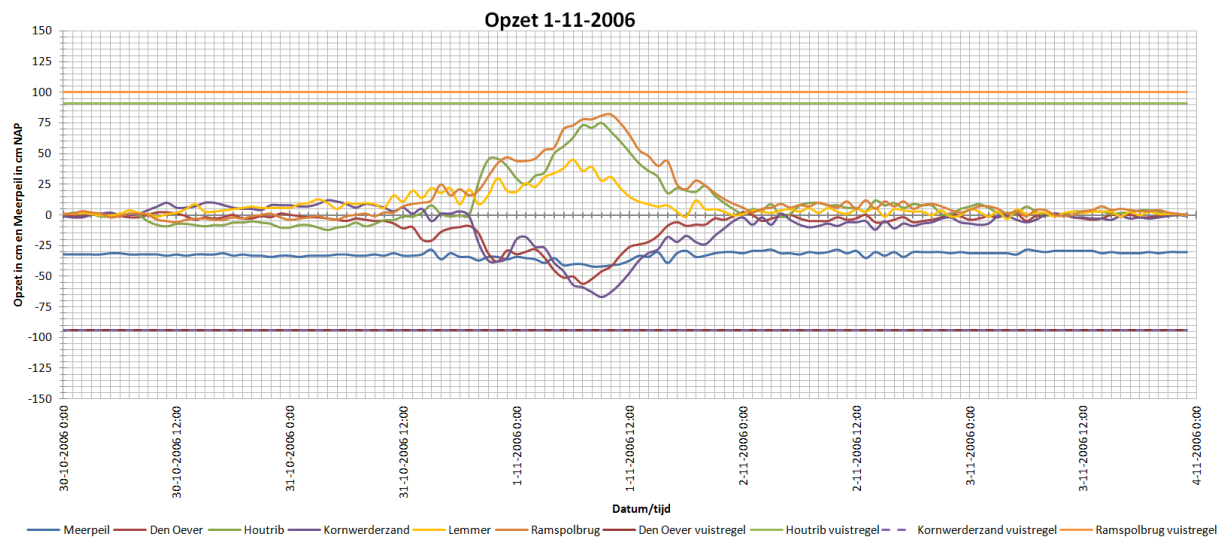
Maximale windsnelheid	23 m/s
Windrichting bij maximale windsnelheid	210 graden N (ZZW)

Locatie	Strijk lengte 1 (km)	Strijk lengte 2 (km)	Opwaaiing vuistregel 1 (cm)	Opwaaiing vuistregel 2 (cm)	Gemeten opwaaiing (cm)
Den Oever	0	27/-30	0	53/-59	+32/-54
Houtrib	-25	-58	-49	-114	-95
Kornwerderzand	38	58	74	114	+73
Lemmer	35	45	69	88	+83
Ramspolbrug	0	26/-31	0	51/-61	-20/+32



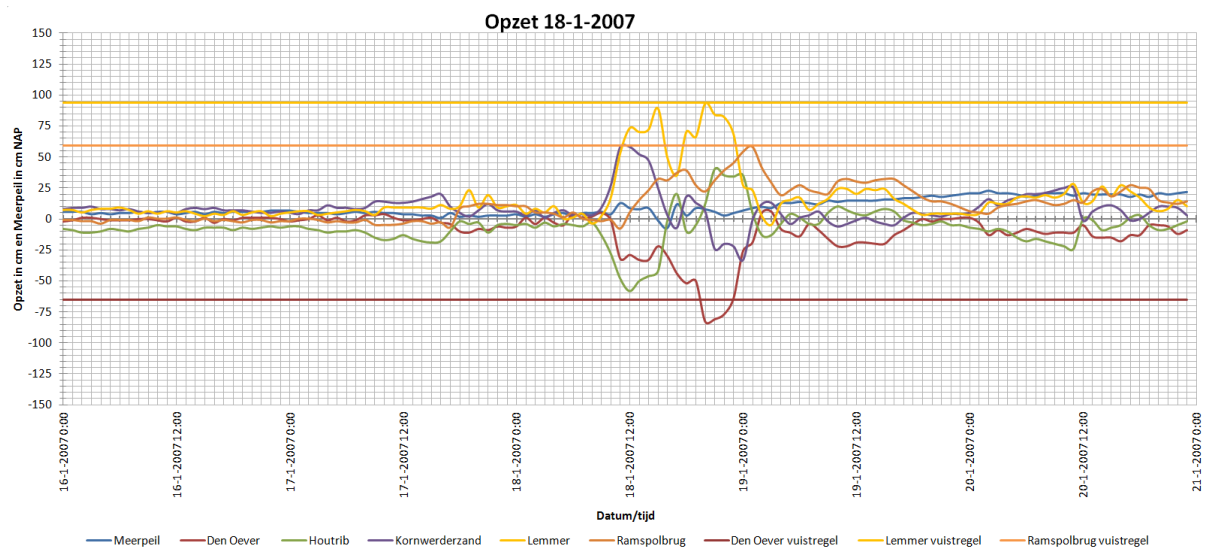
Maximale windsnelheid	23 m/s
Windrichting bij maximale windsnelheid	250 graden N (WZW)

Locatie	Strijk lengte 1 (km)	Strijk lengte 2 (km)	Opwaaiing vuistregel 1 (cm)	Opwaaiing vuistregel 2 (cm)	Gemeten opwaaiing (cm)
Den Oever	-28	-45	-66	-106	-73
Houtrib	0	15/-31	0	35/-73	-47/+50
Kornwerderzand	0	30/-14	0	71/-33	+55/-38
Lemmer	39	46	92	108	+93
Ramspolbrug	10	46	24	108	+74



Maximale windsnelheid	20 m/s
Windrichting bij maximale windsnelheid	320 graden N (NW)

Locatie	Strijk lengte 1 (km)	Strijk lengte 2 (km)	Opwaaiing vuistregel 1 (cm)	Opwaaiing vuistregel 2 (cm)	Gemeten opwaaiing (cm)
Den Oever	-60	-70	-107	-124	-56
Houtrib	60	60	107	107	+75
Kornwerderzand	-5	-70	-9	-124	-67
Lemmer	0	42	0	75/-50	+45
Ramspolbrug	0	70	0	124	+82



Maximale windsnelheid

23 m/s

Windrichting bij maximale windsnelheid

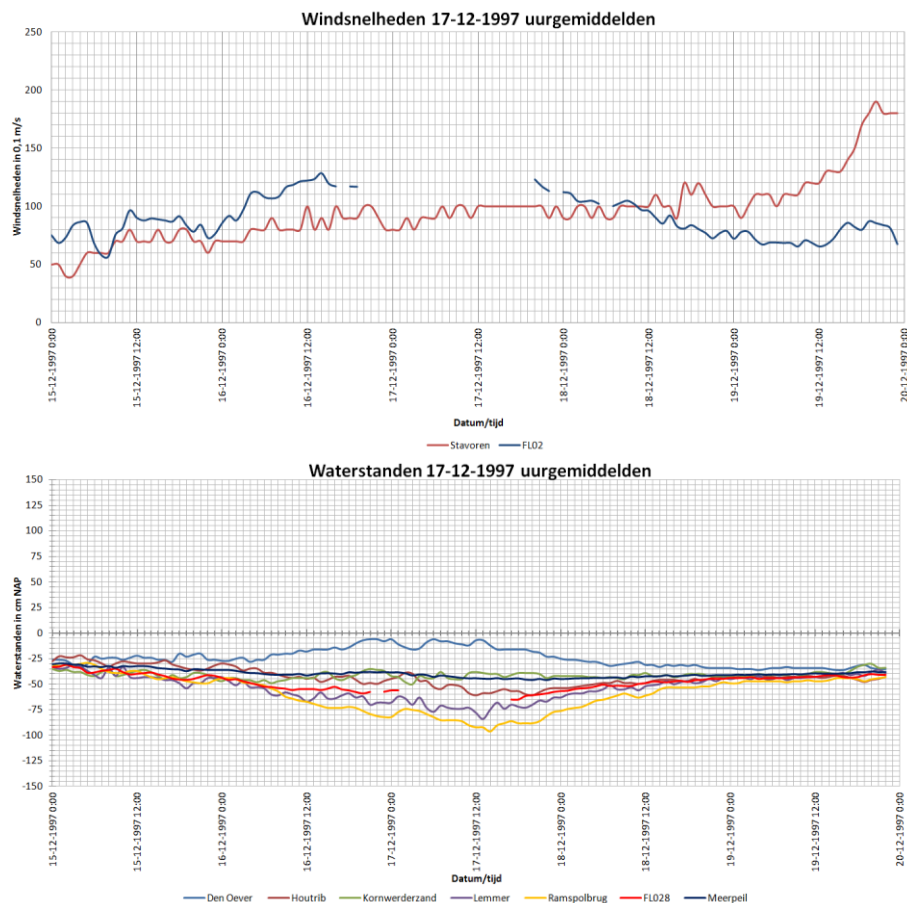
250 graden N (WZW)

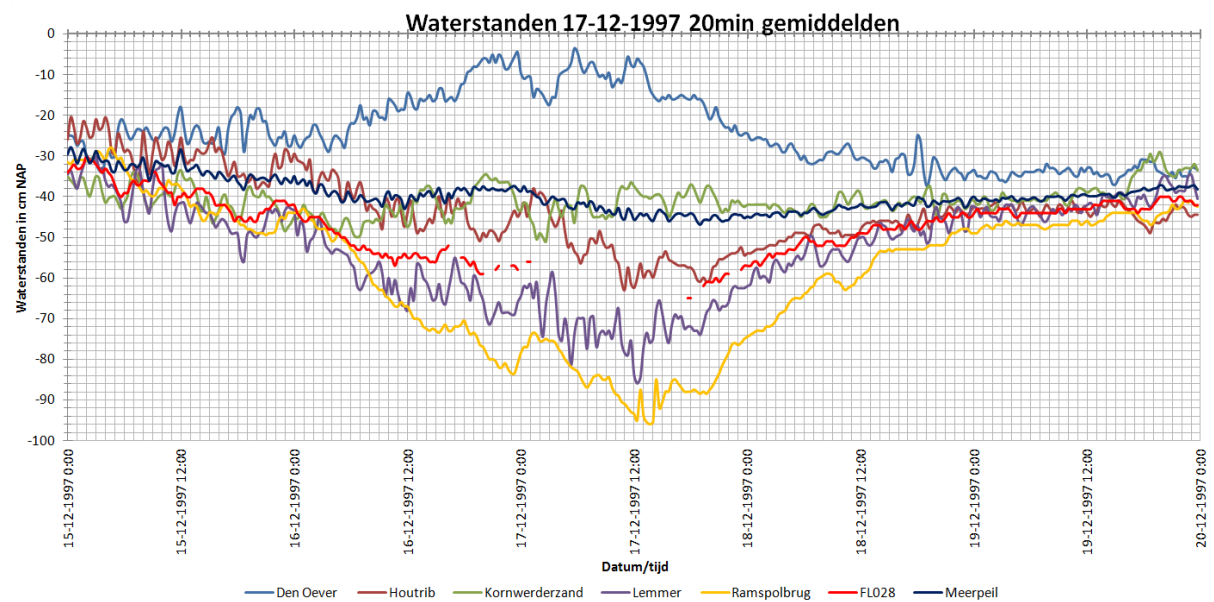
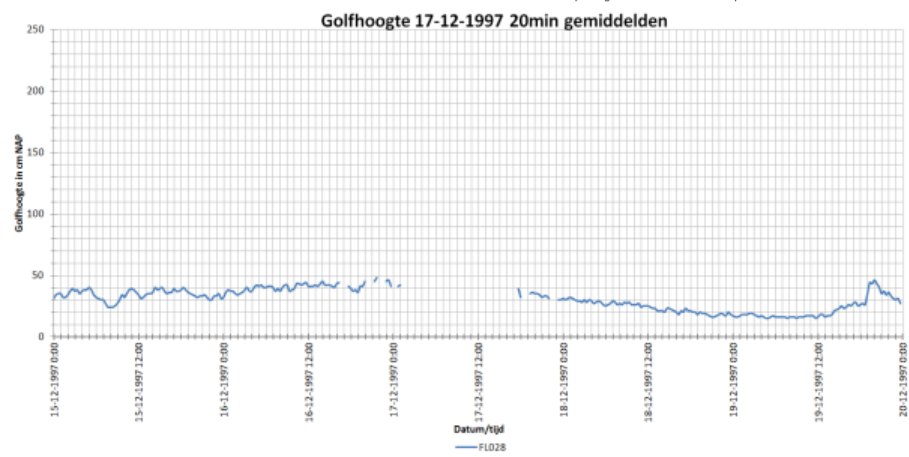
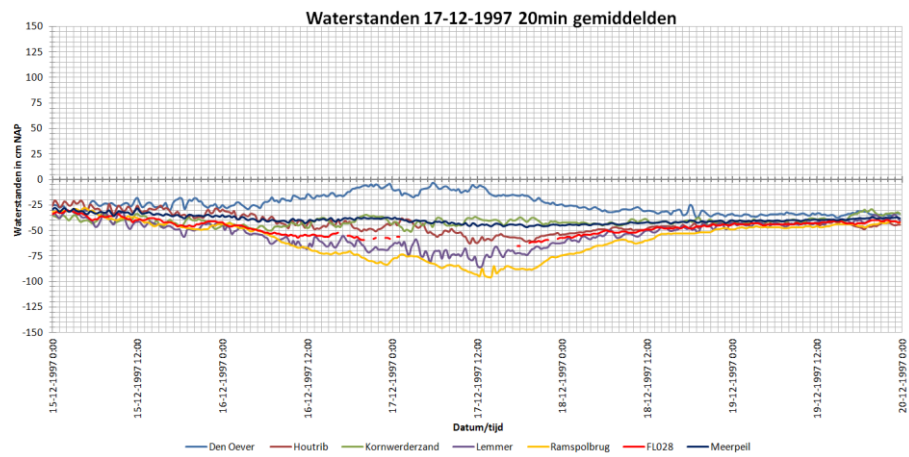
Locatie	Strijkklengte 1 (km)	Strijkklengte 2 (km)	Opwaaiing vuistregel 1 (cm)	Opwaaiing vuistregel 2 (cm)	Gemeten opwaaiing (cm)
Den Oever	-28	-45	-66	-106	-83
Houtrib	0	15/-31	0	35/-73	-58/40
Kornwerderzand	0	30/-14	0	71-33	53/-33
Lemmer	39	46	92	108	93
Ramspolbrug	10	46	24	108	58

GRAFIEKEN

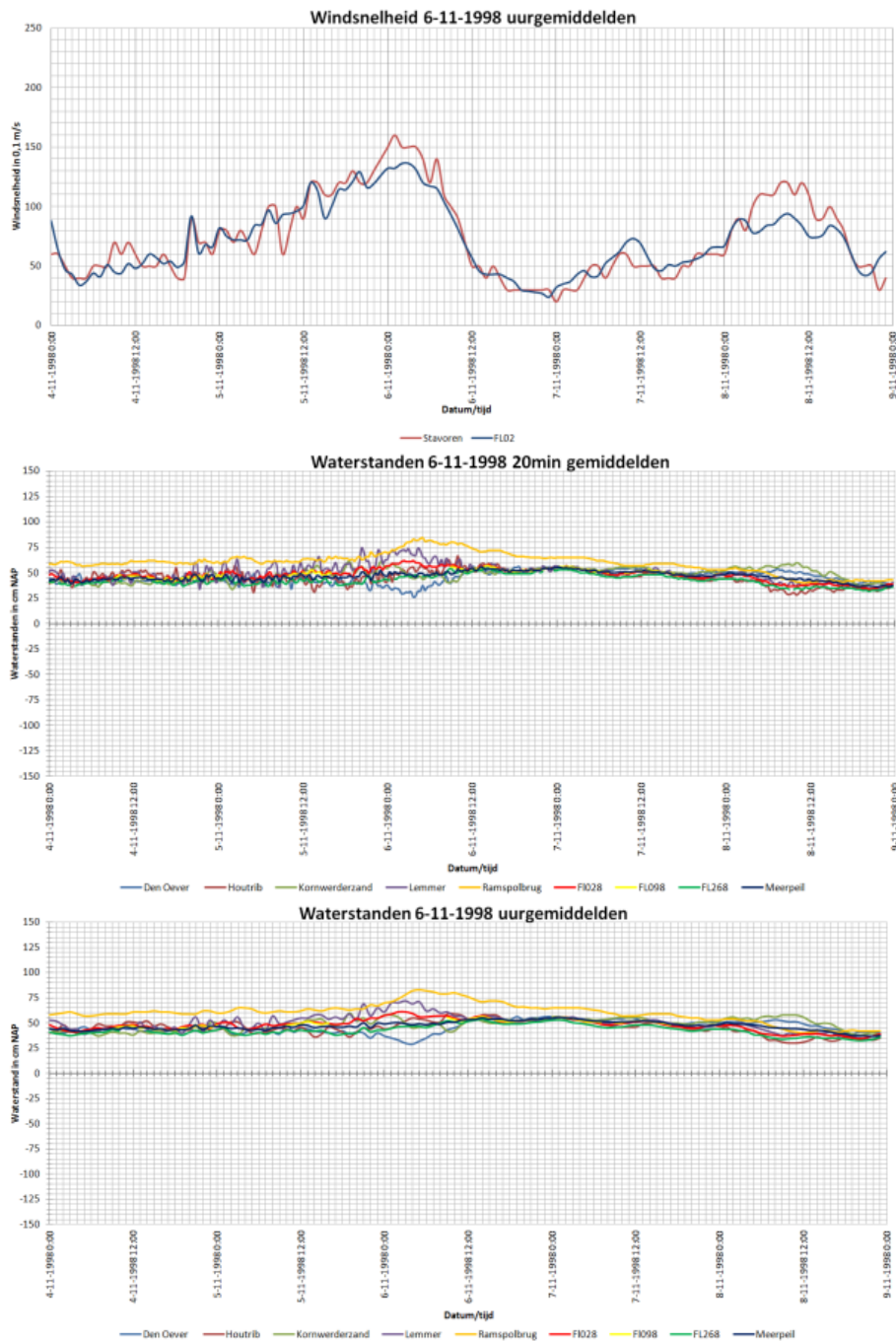
BIJLAGE G1 Grafieken Extreme-Waarden methode

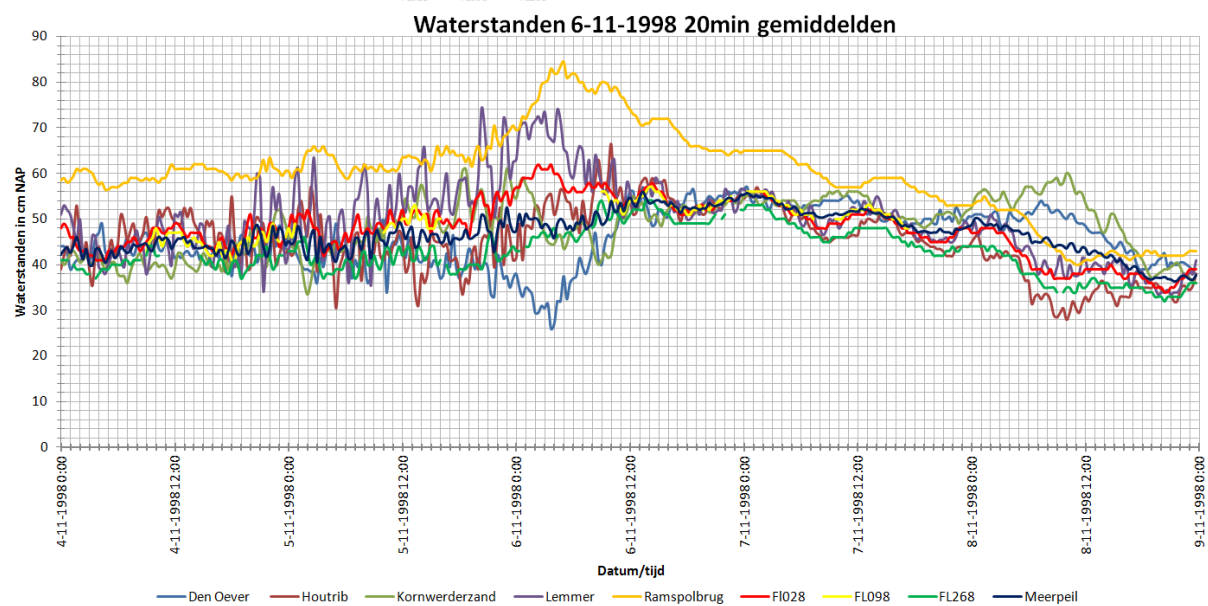
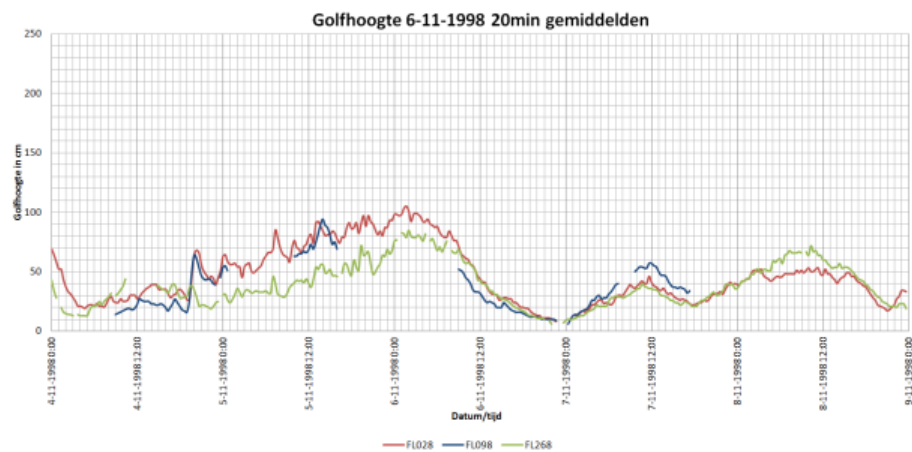
Grafieken 17-12-1997



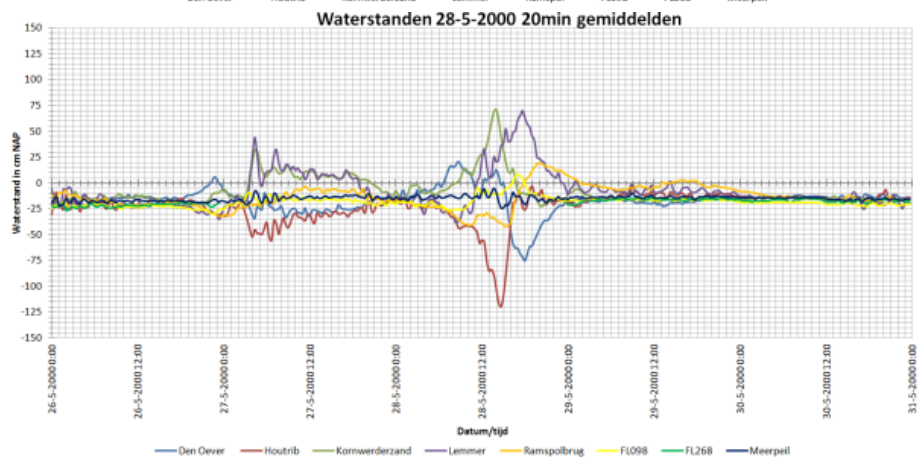
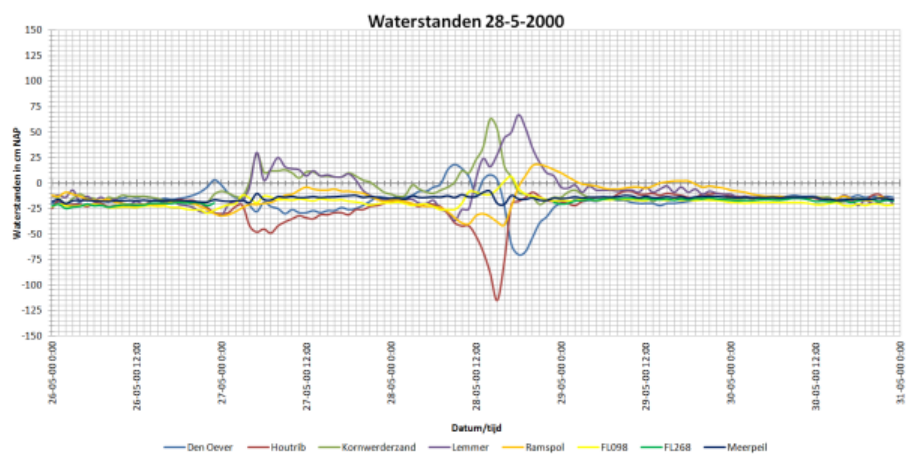
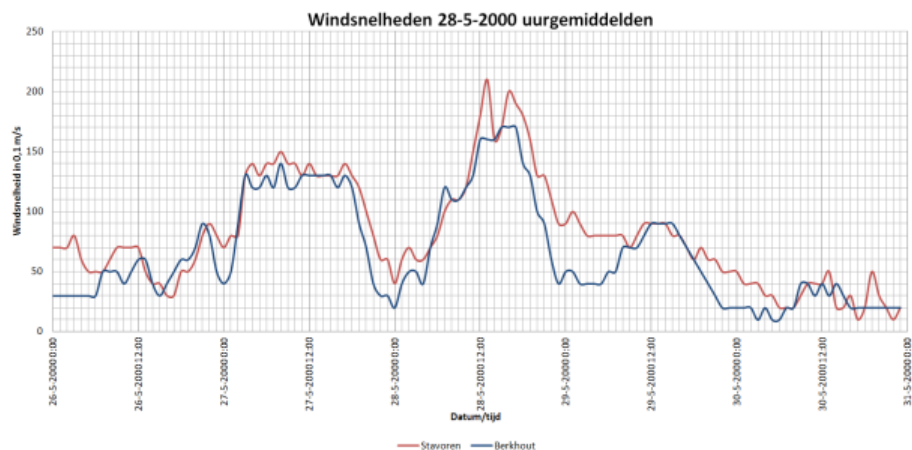


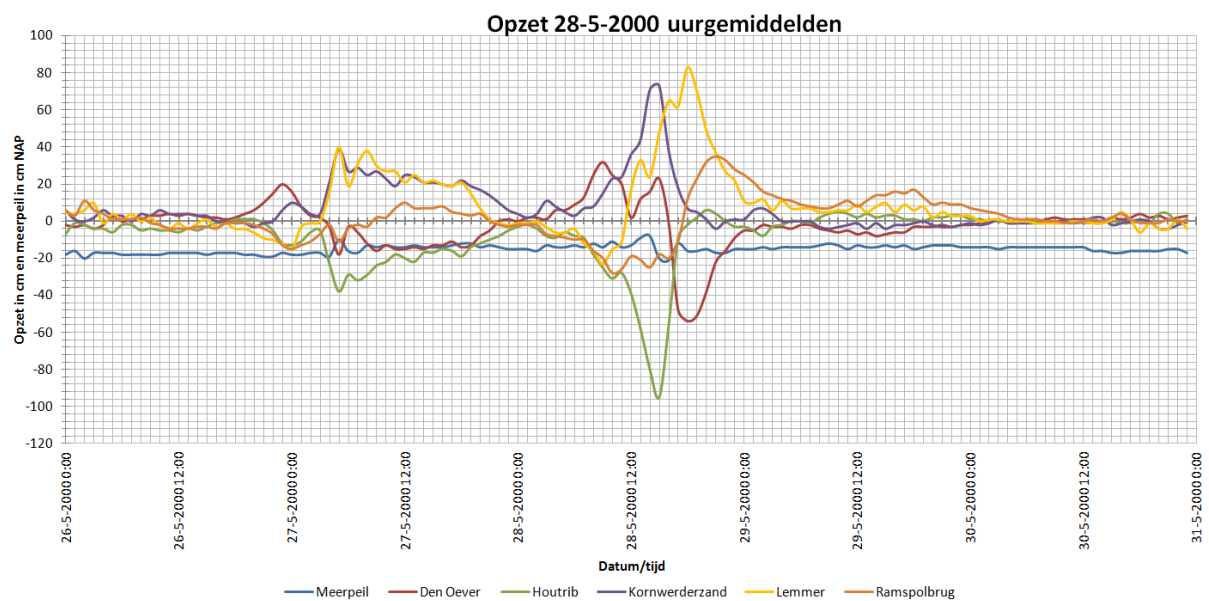
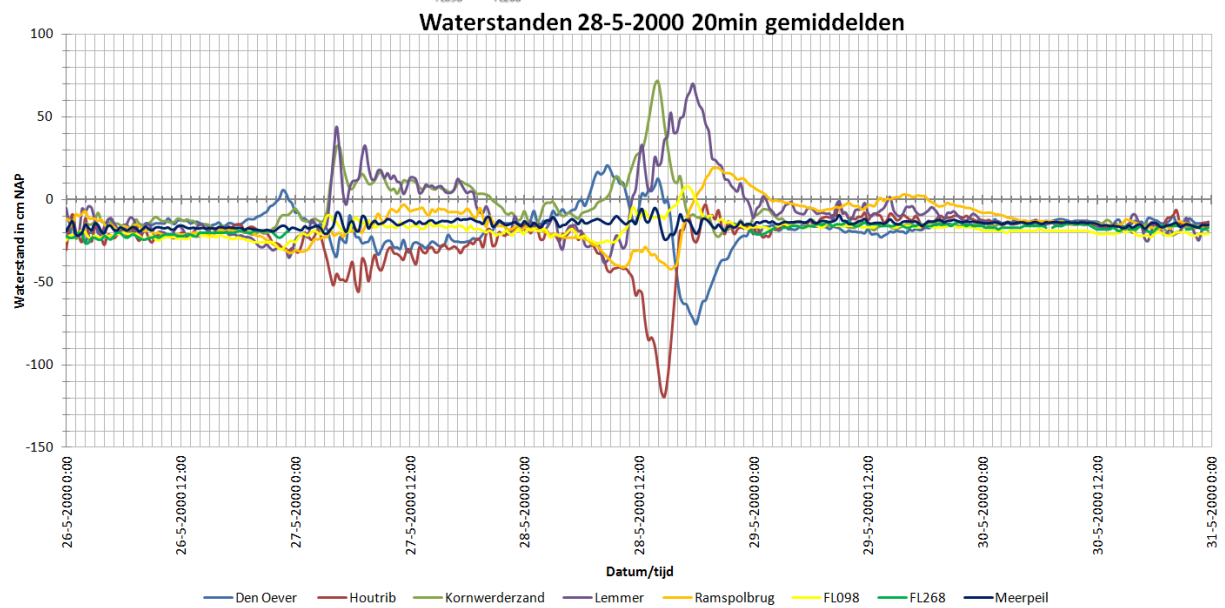
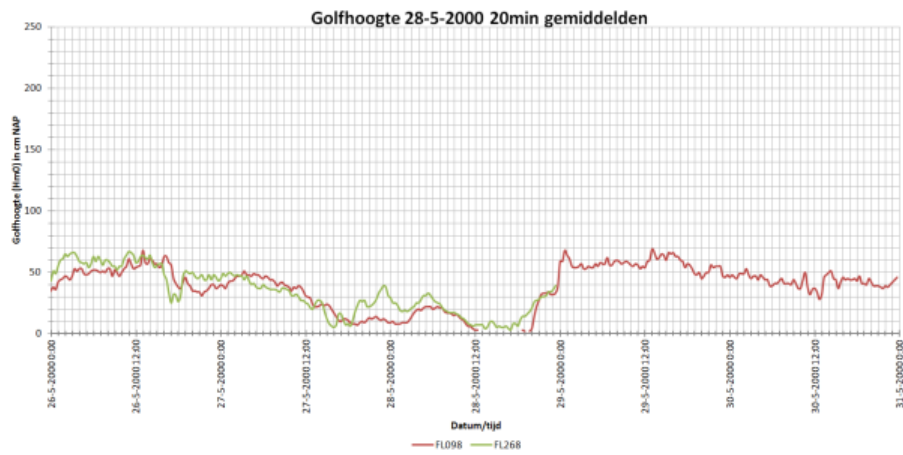
Grafieken 6-11-1998



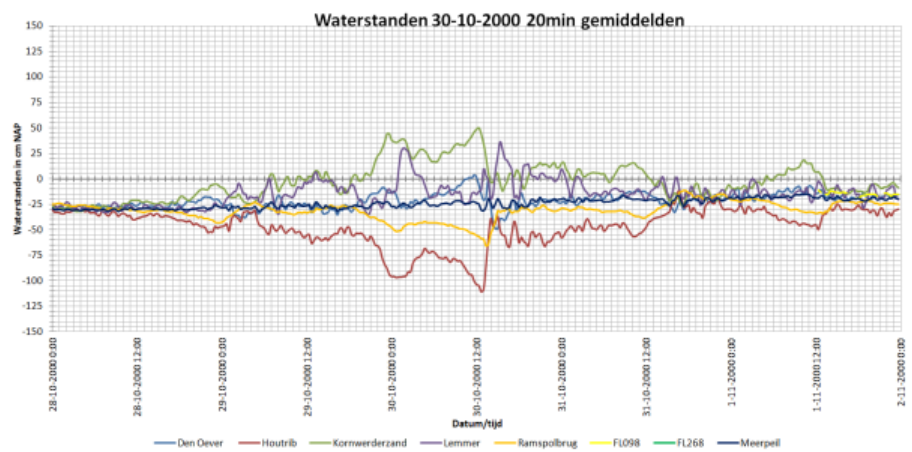
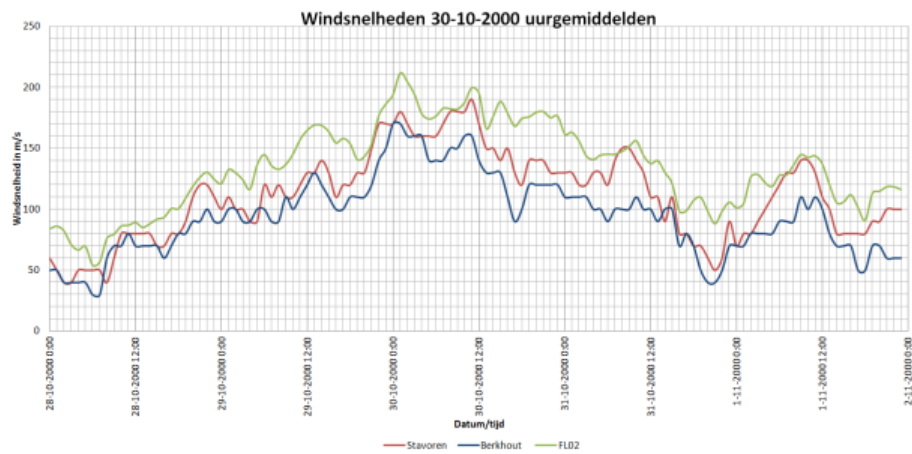


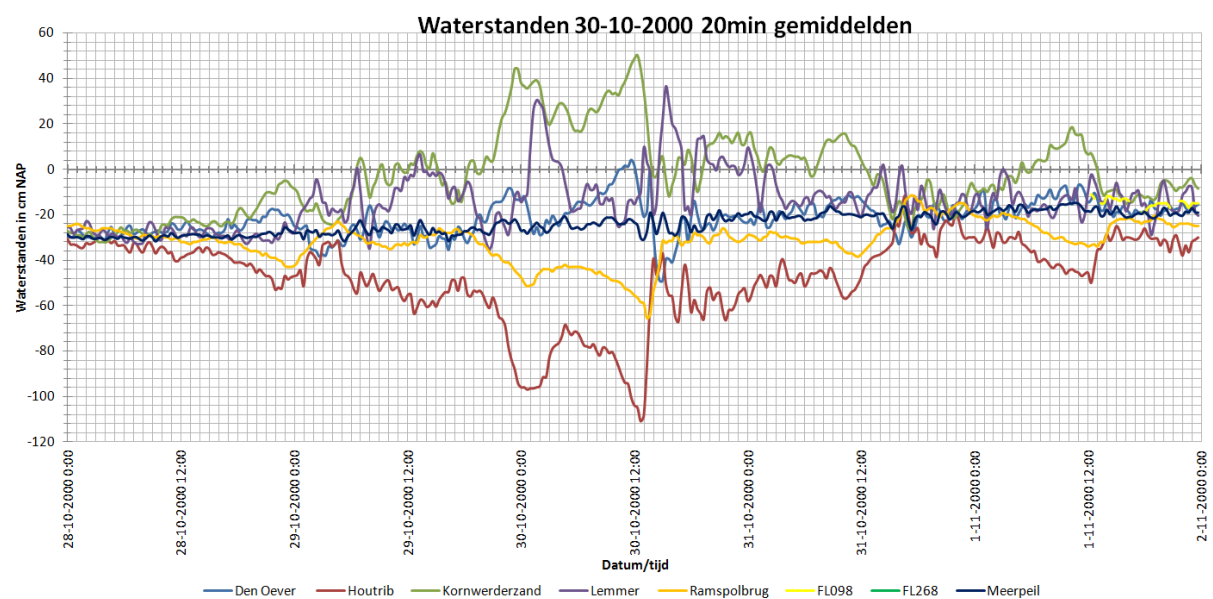
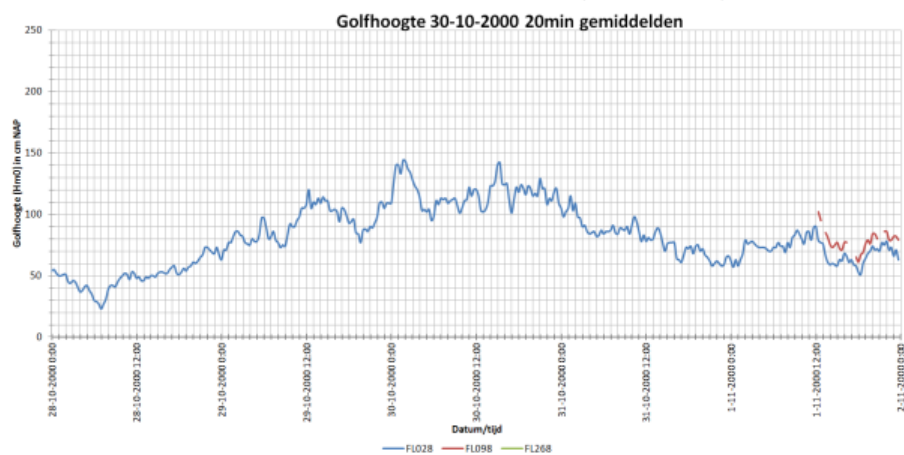
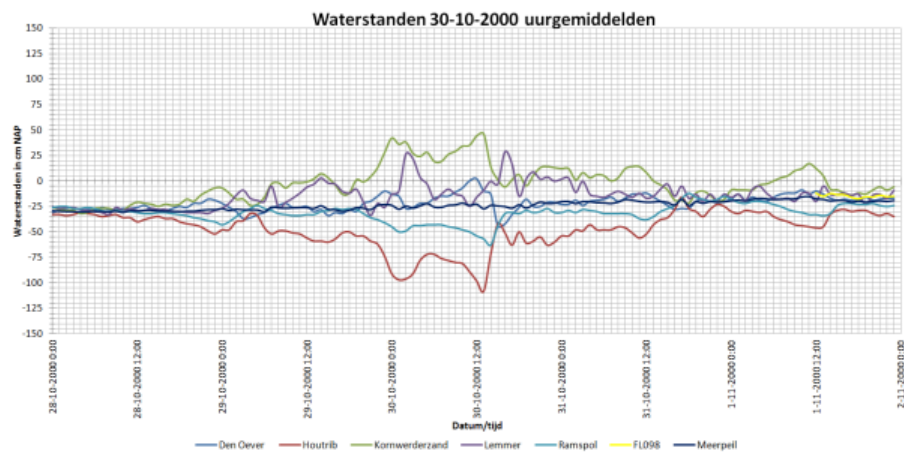
Grafieken 28-05-2000



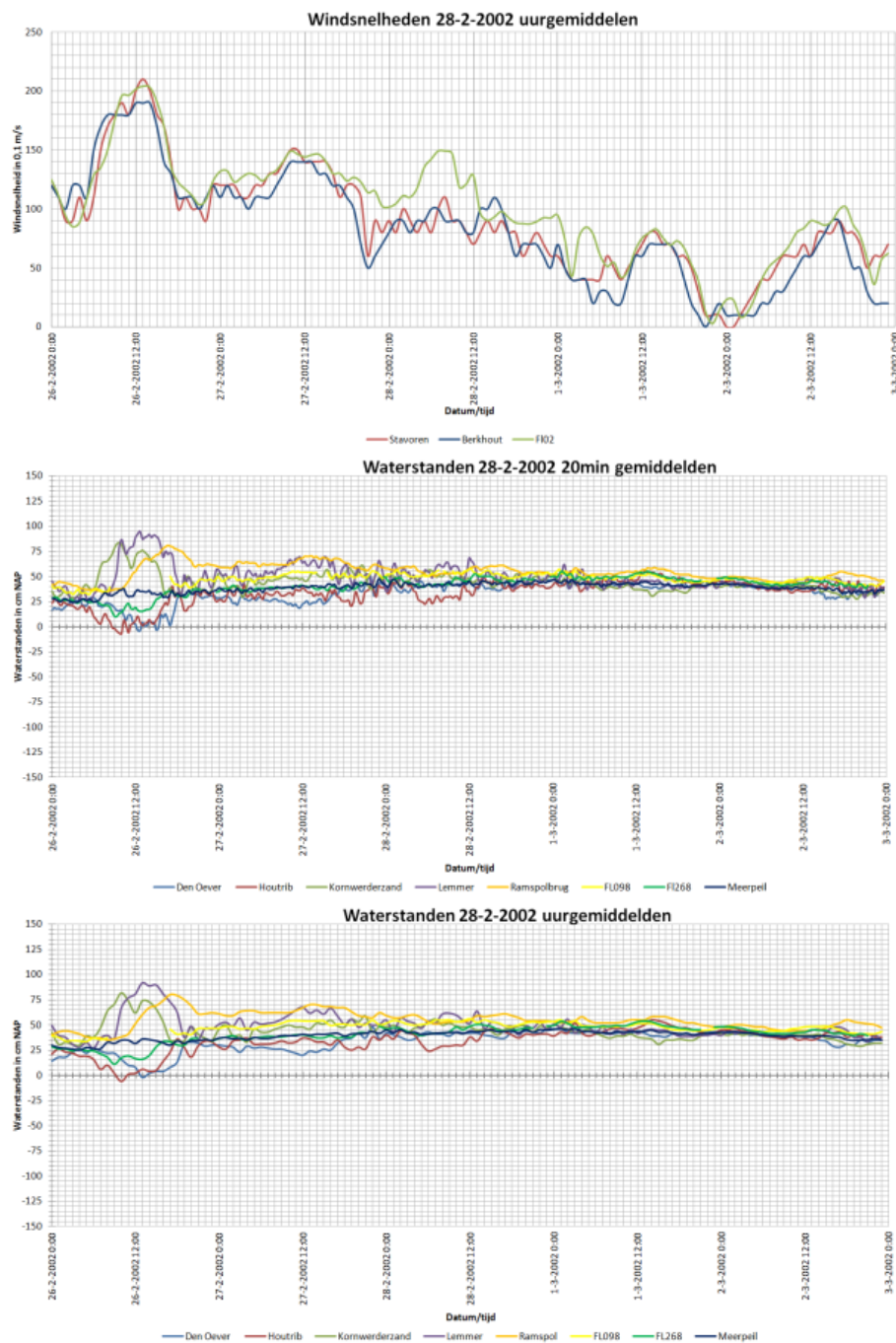


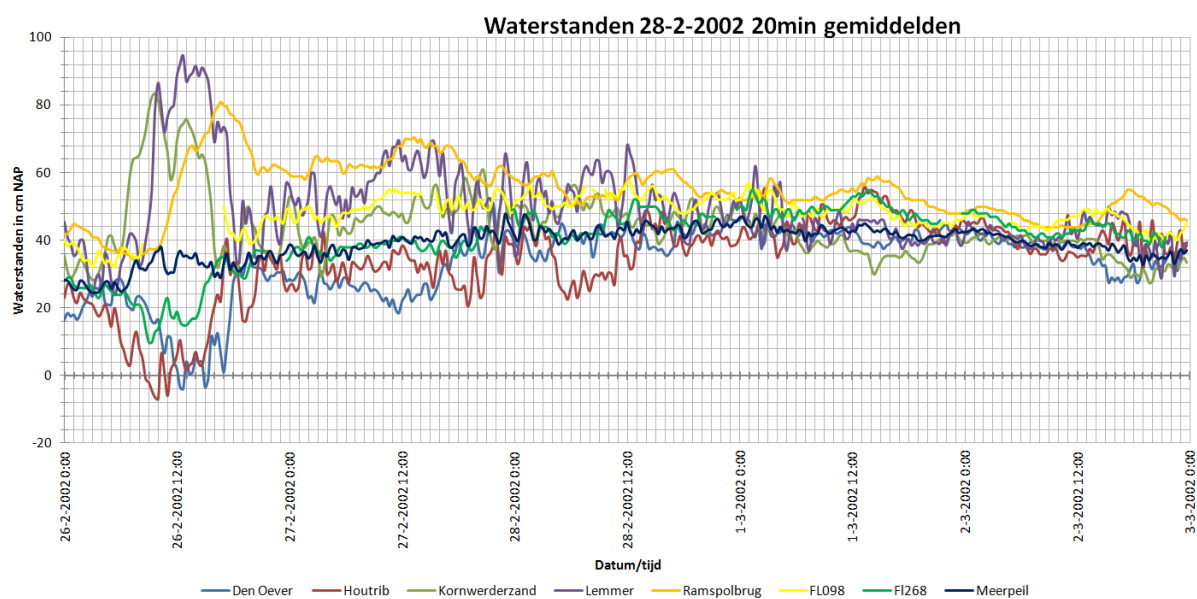
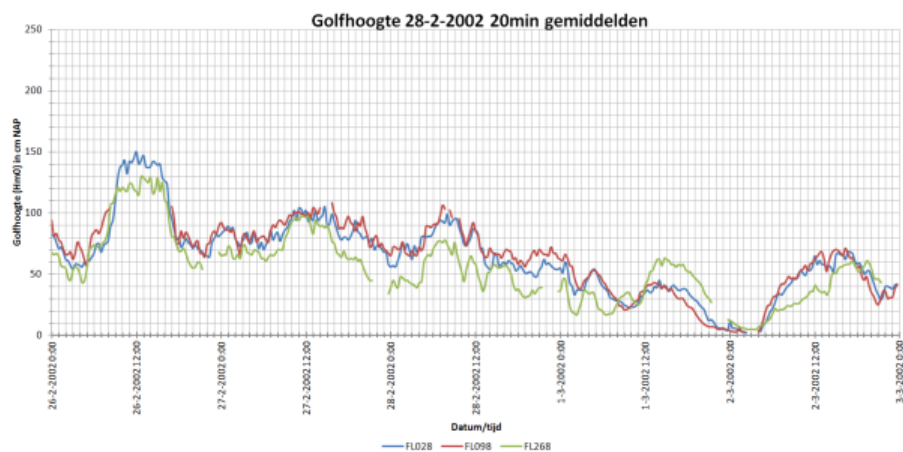
Grafieken 30-10-2000



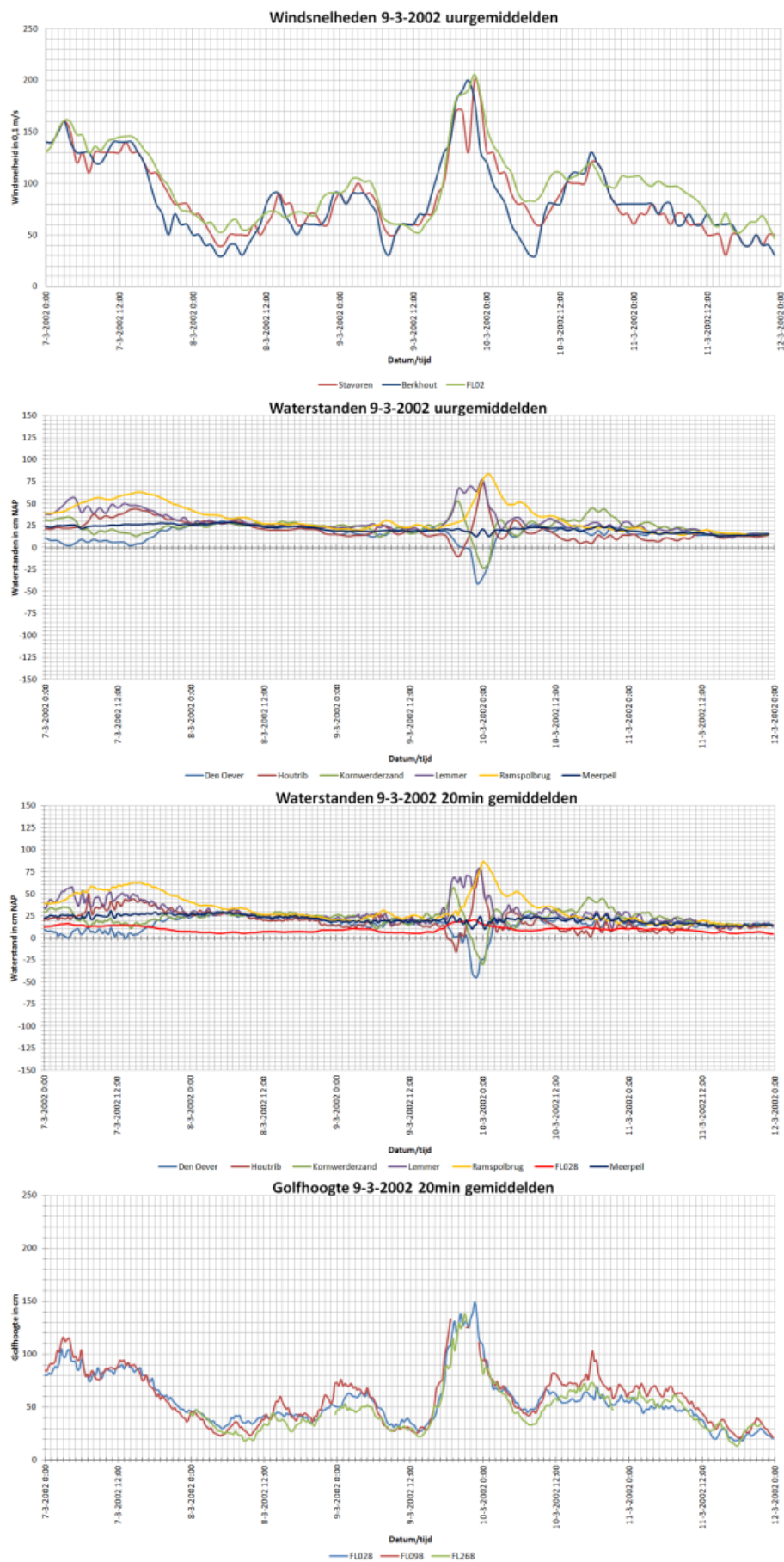


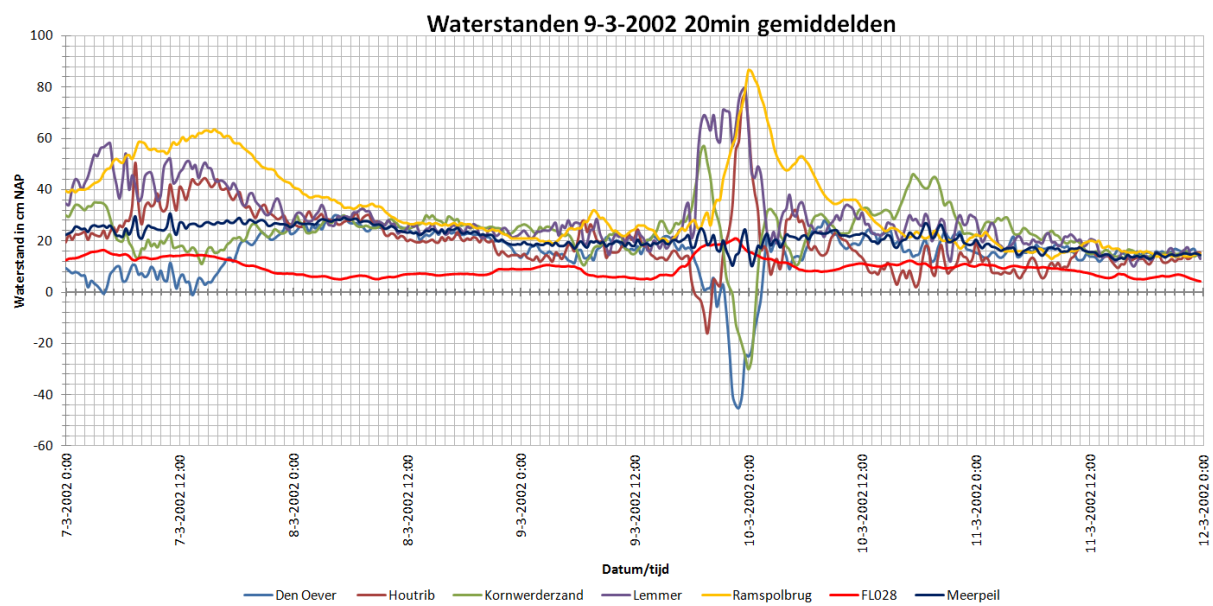
Grafieken 28-02-2002



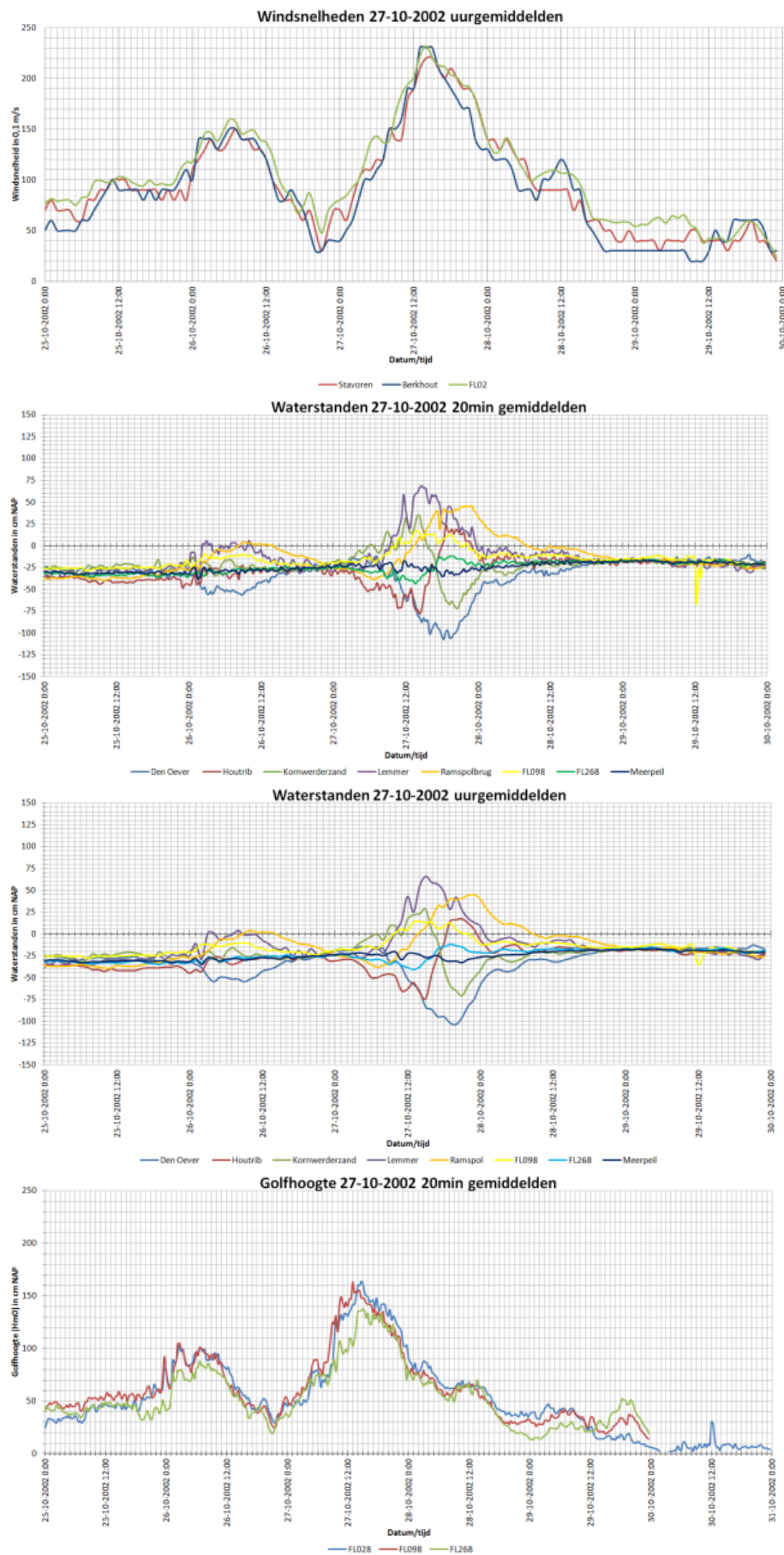


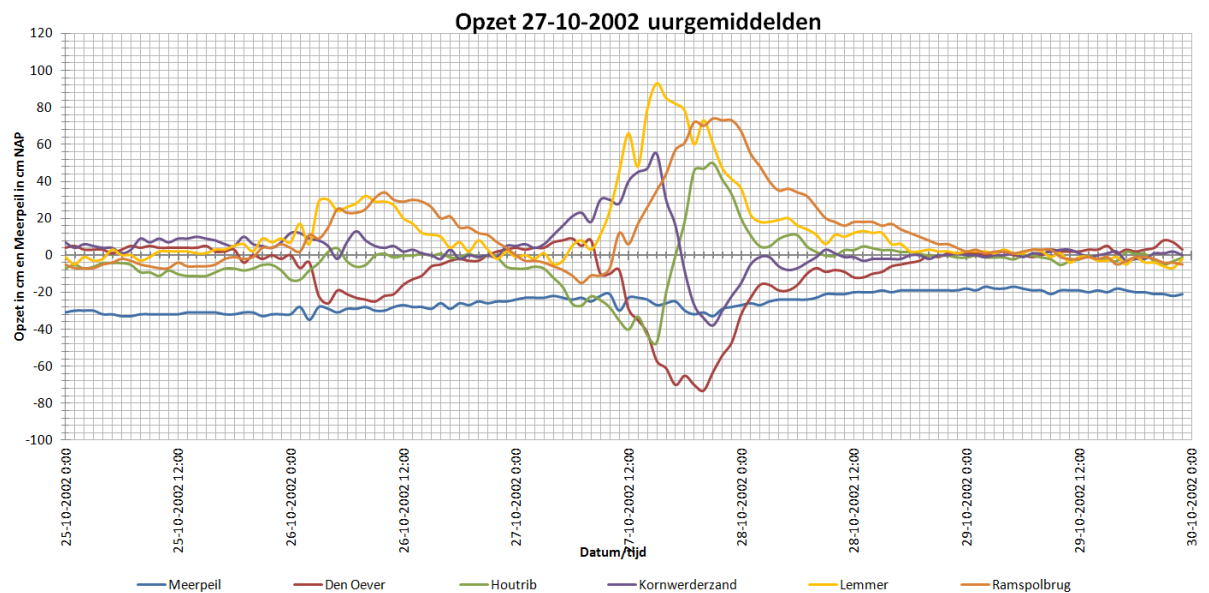
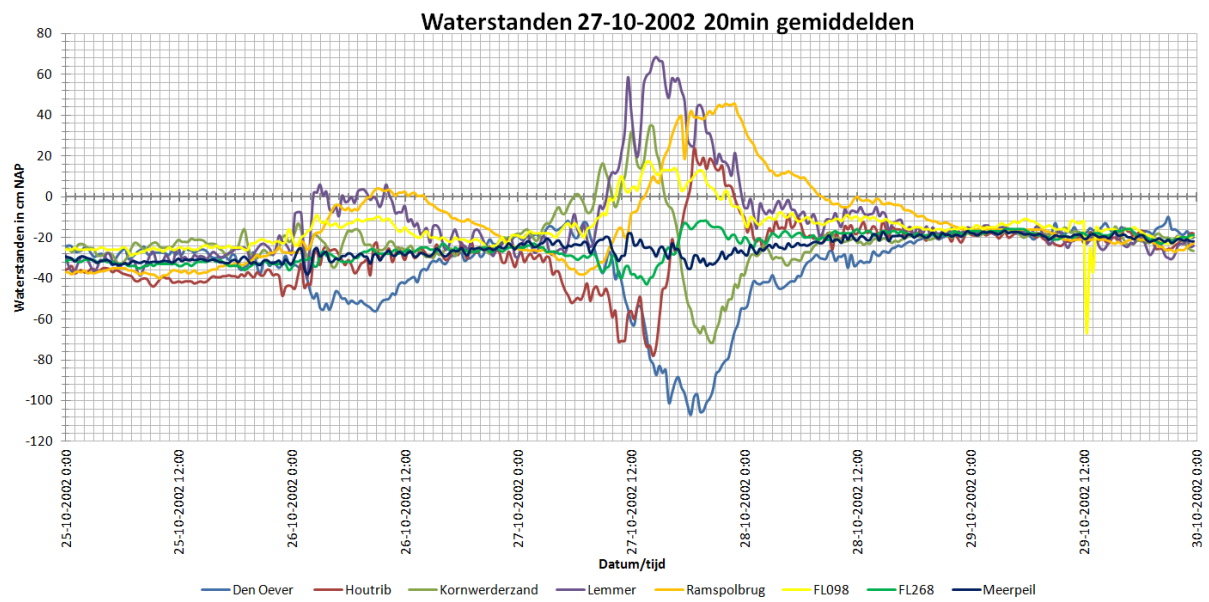
Grafieken 9-3-2002



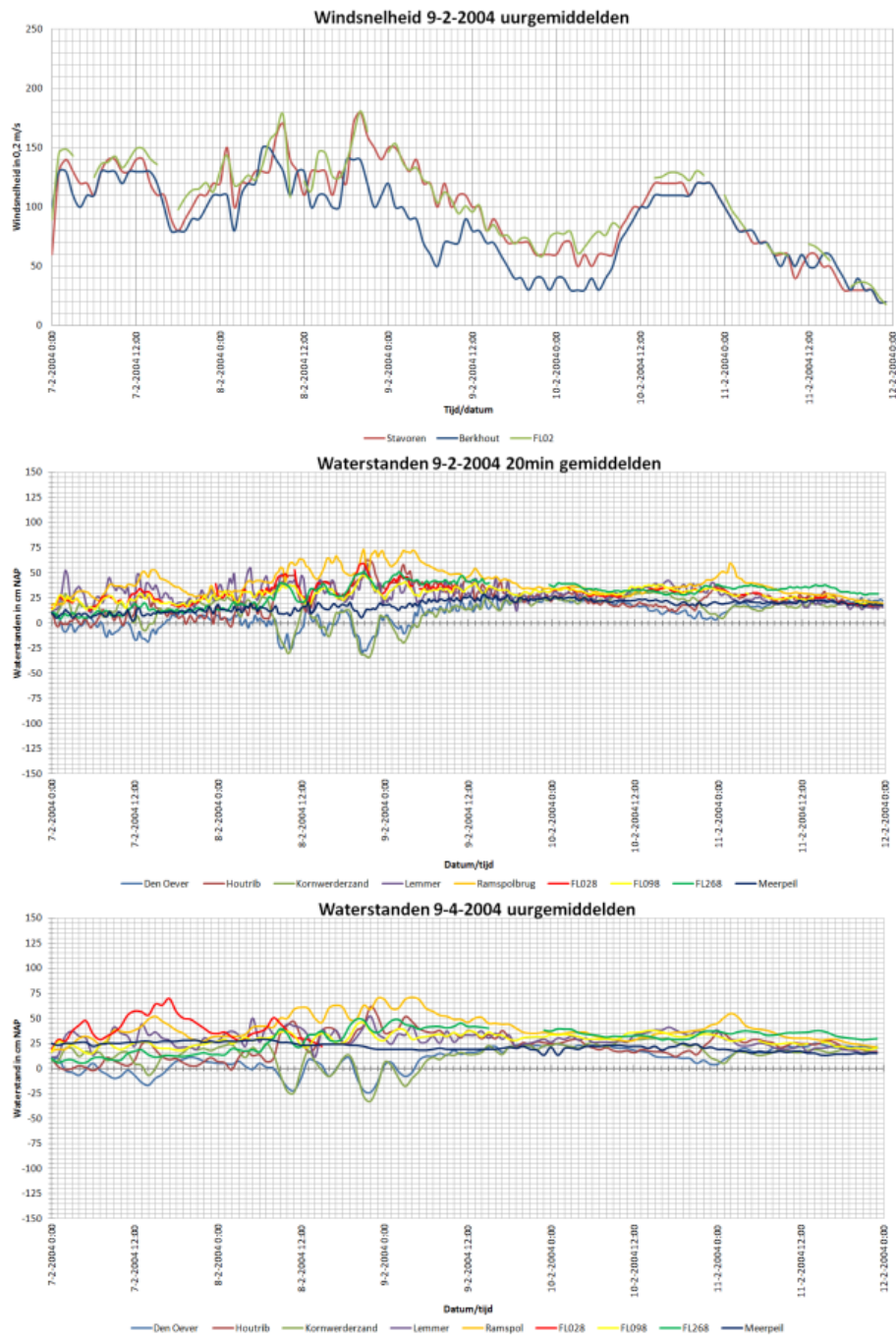


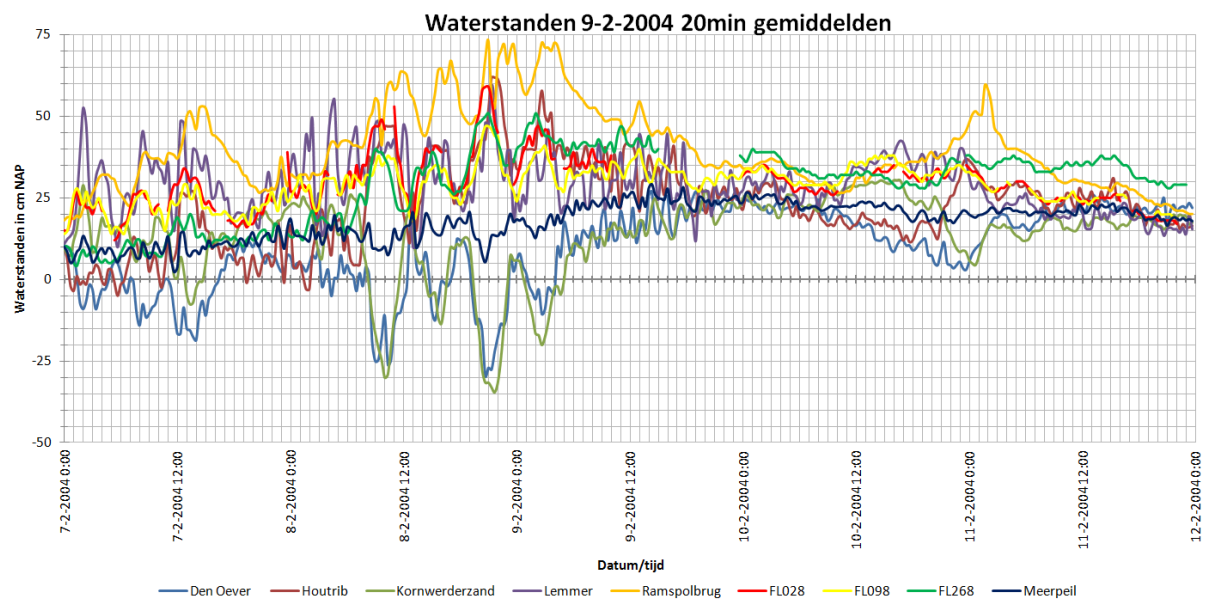
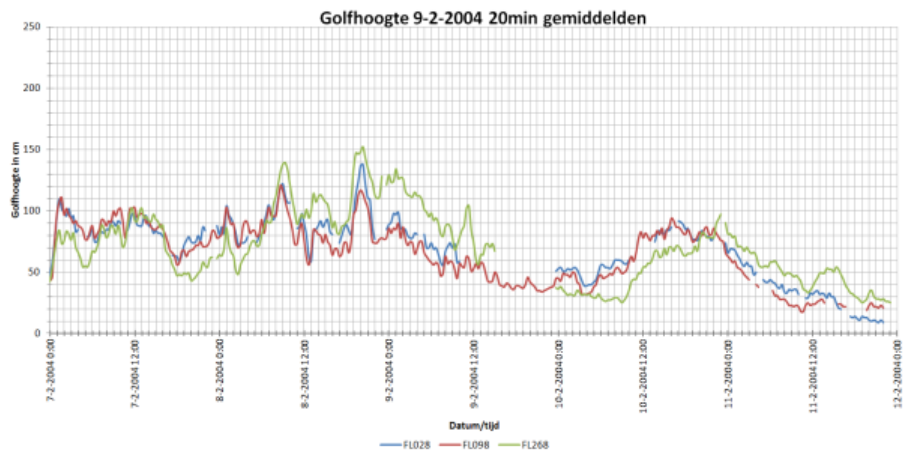
Grafieken 27-10-2002



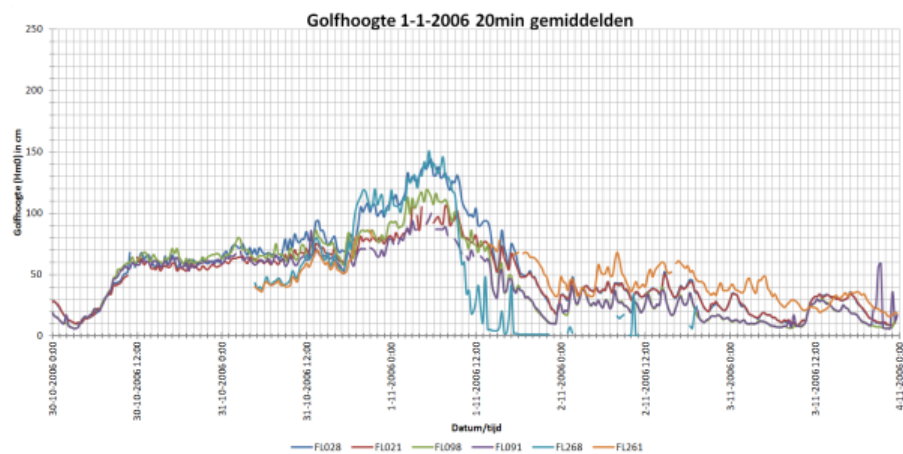
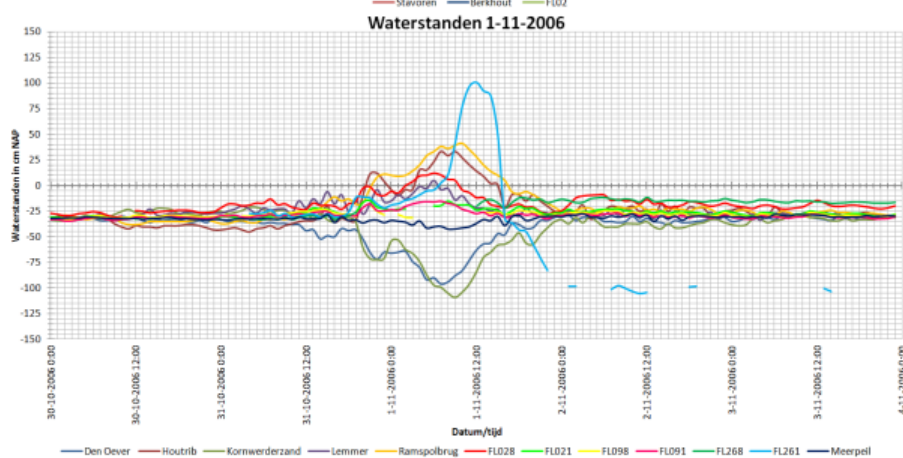
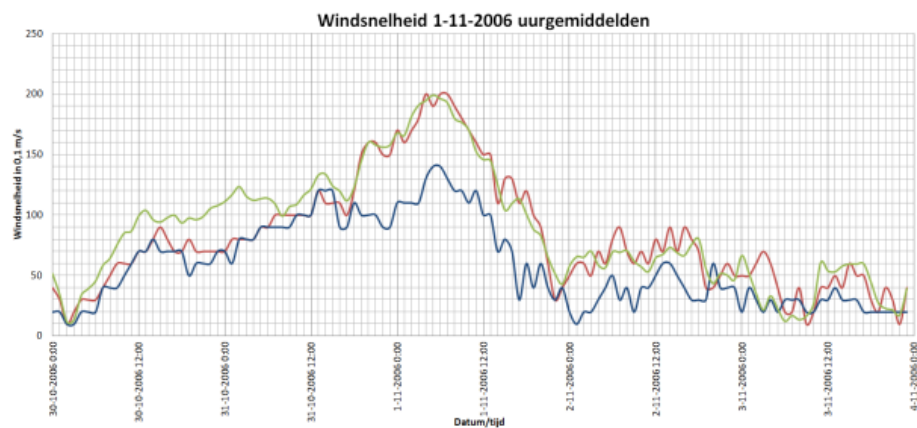


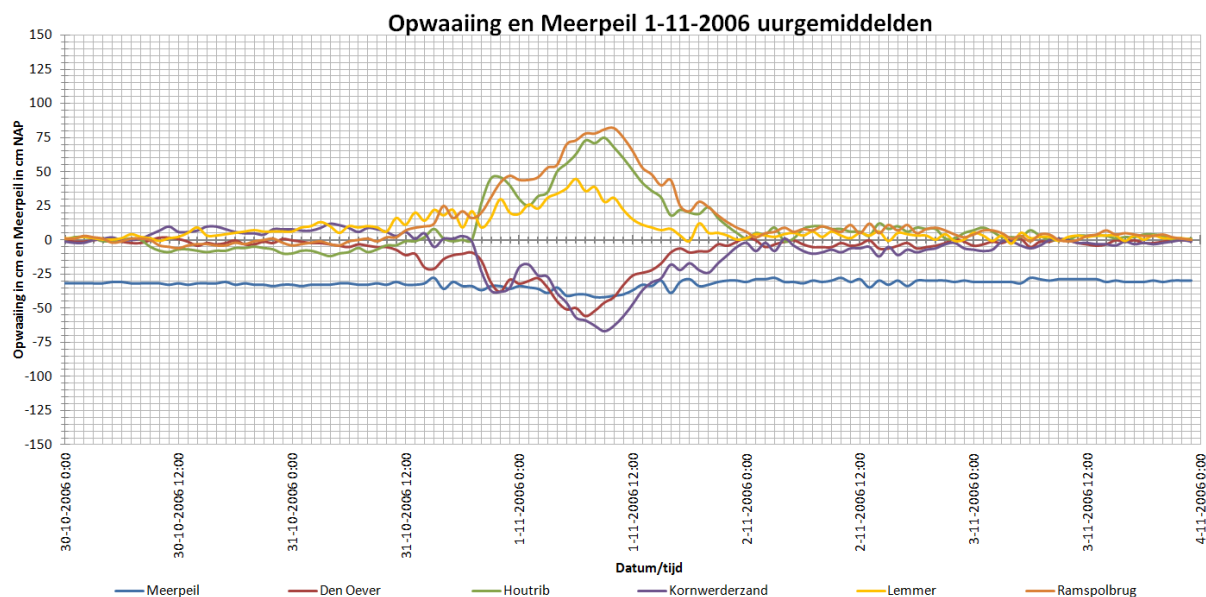
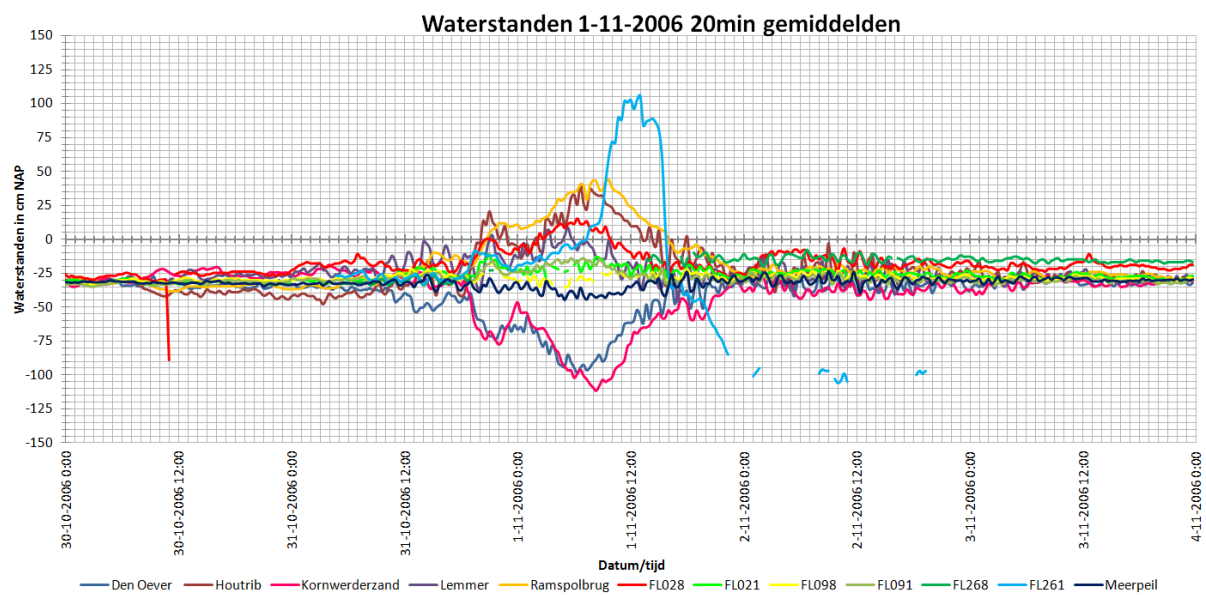
Grafieken 09-02-2004



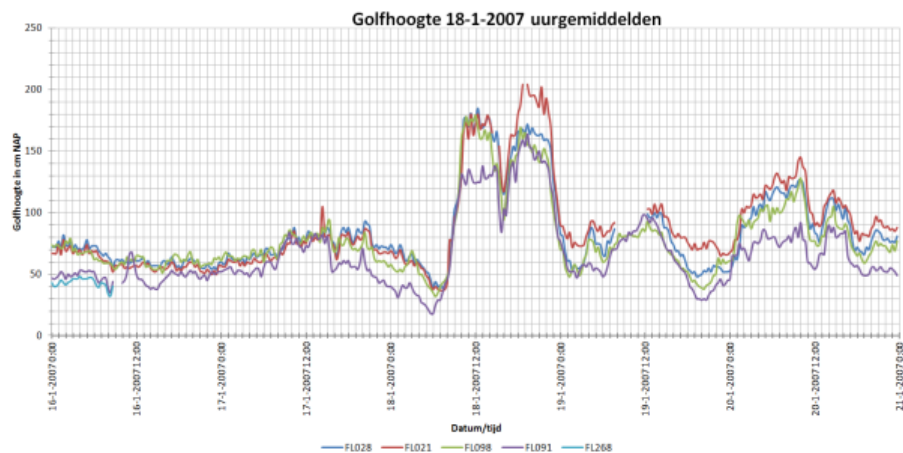
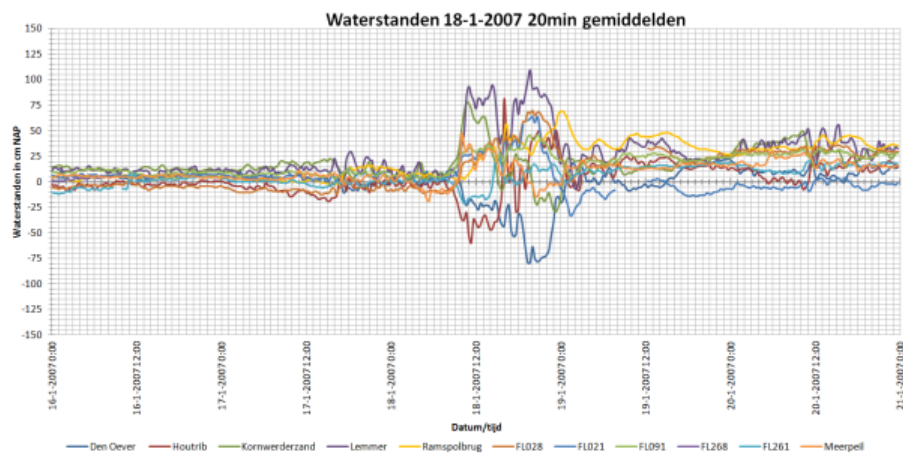
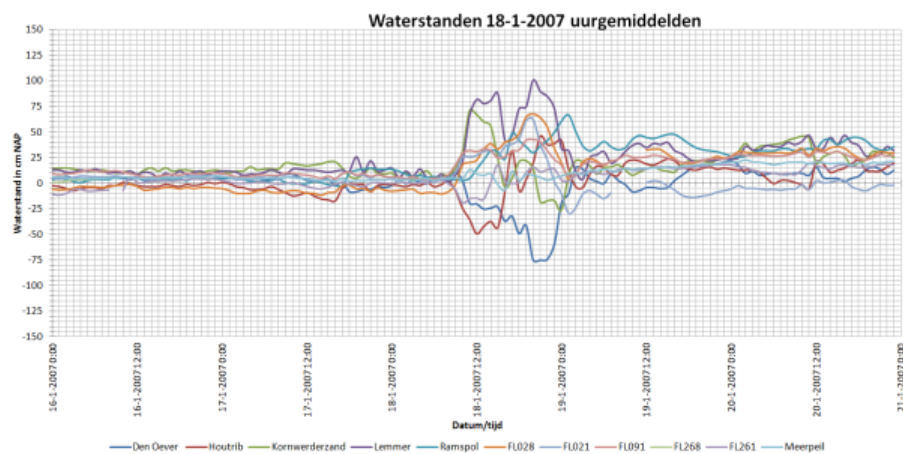
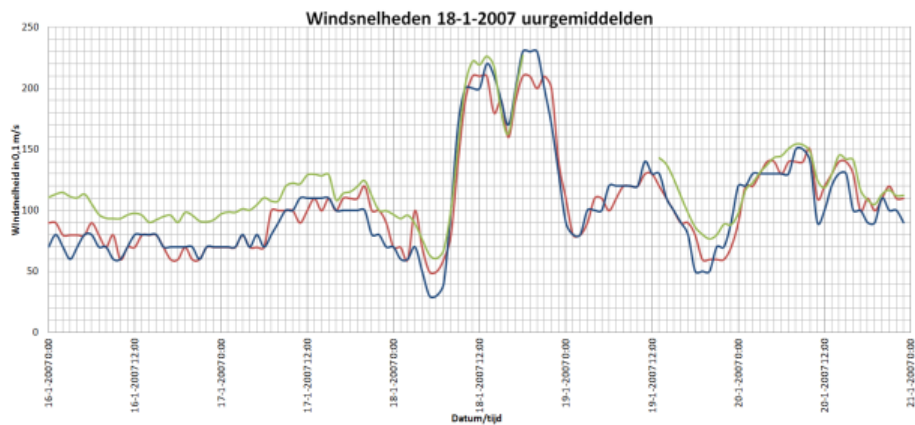


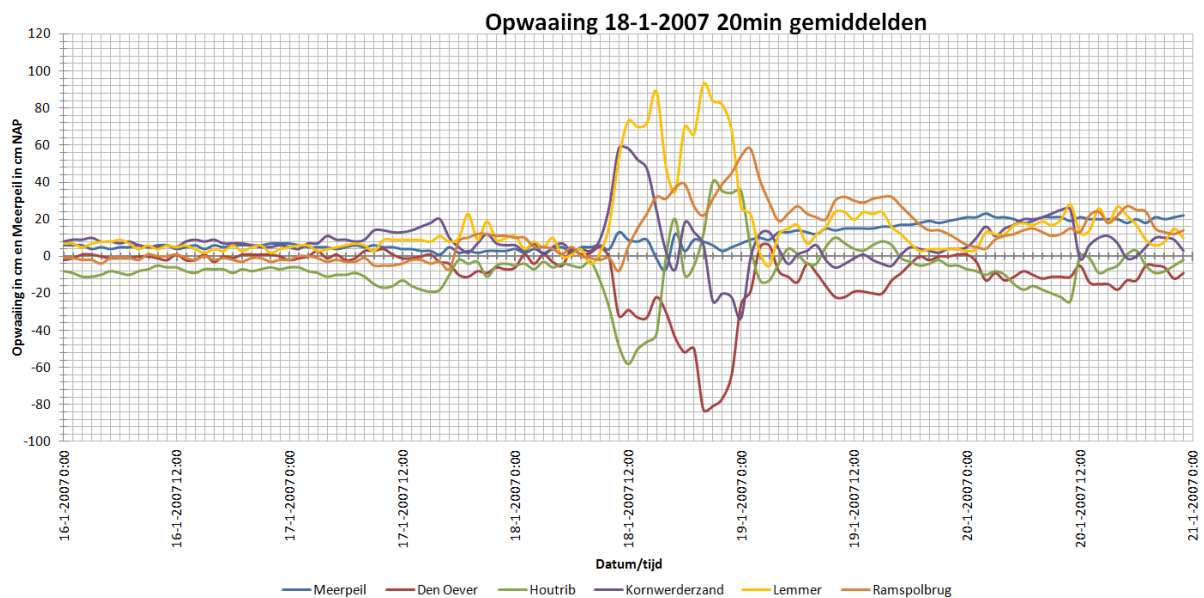
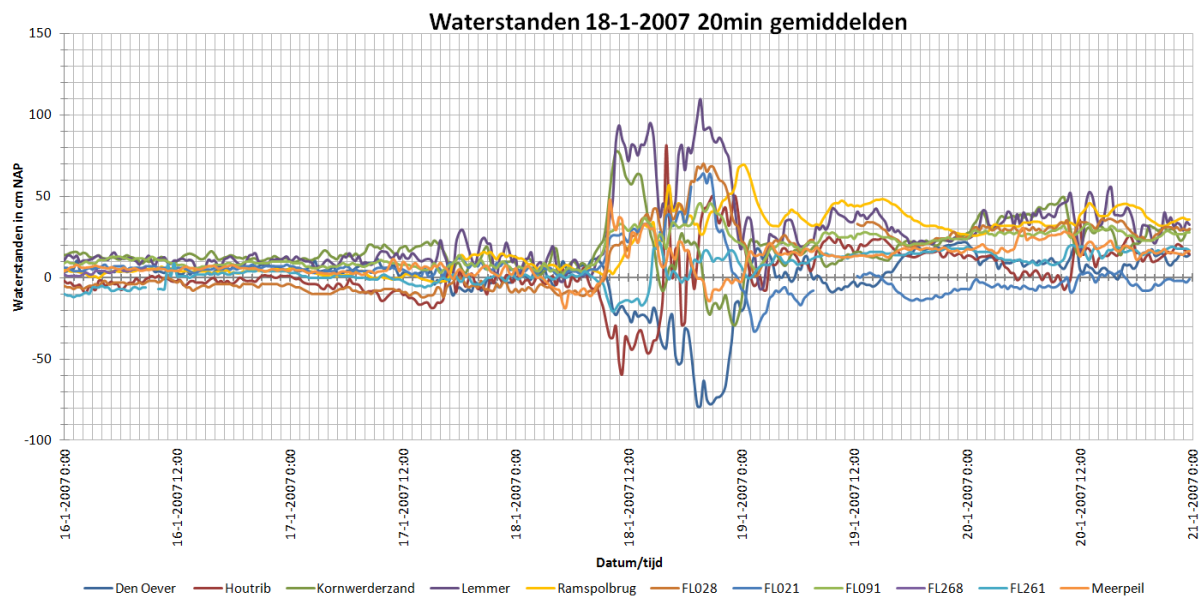
Grafieken 01-11-2006



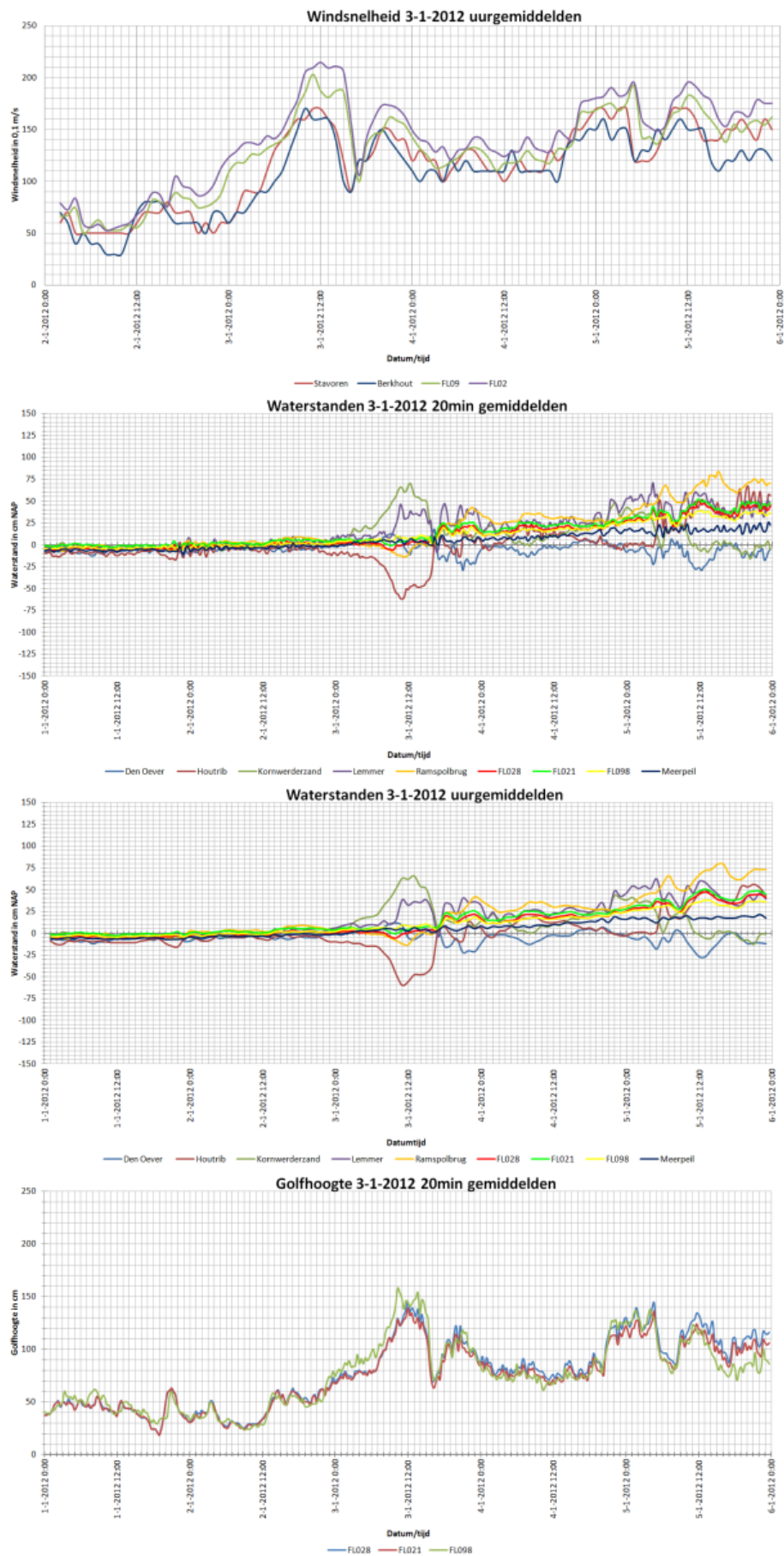


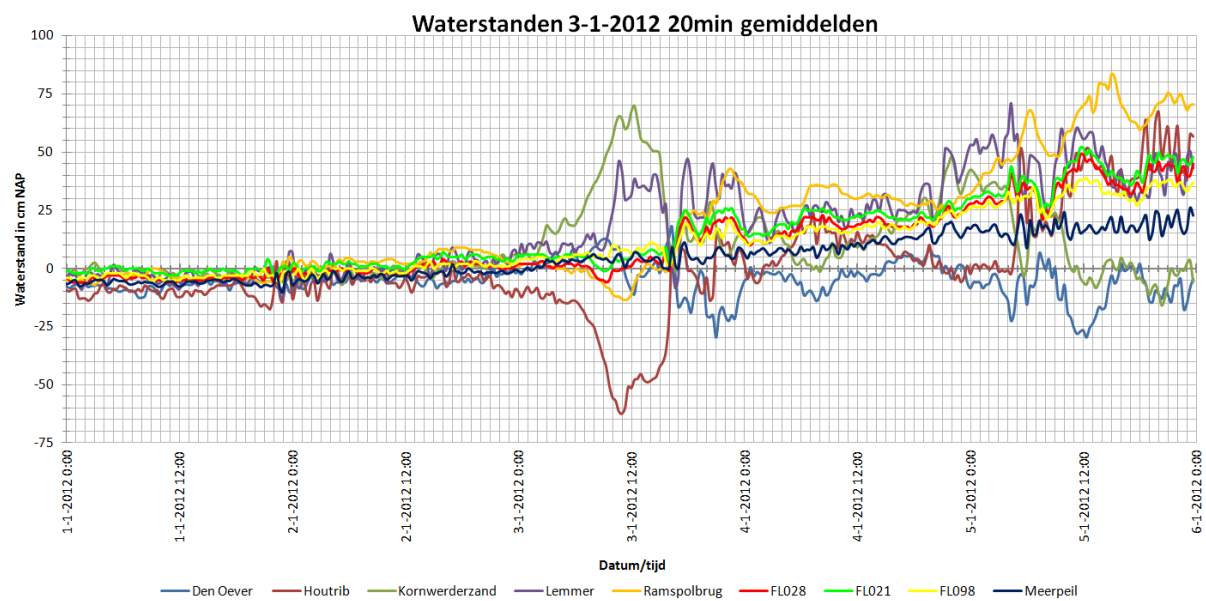
Grafieken 18-01-2007





Grafieken 03-01-2012





BIJLAGE G2 Grafieken Stormen methode

1-3-2008 Eerste piek ZW, tweede piek WNW

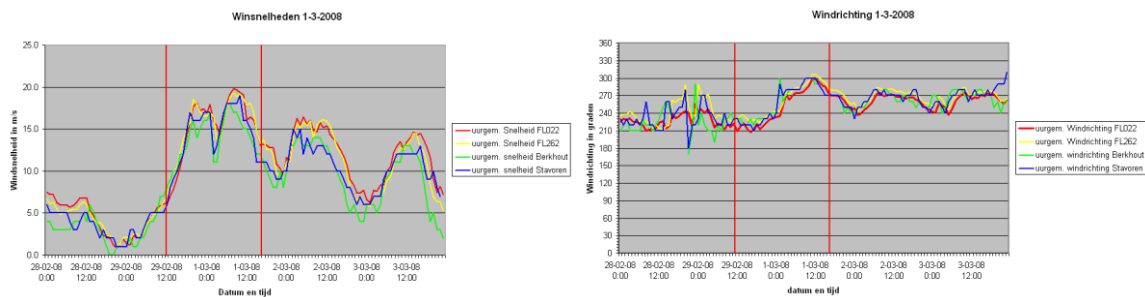
Duur: 29-2-2008, 12.00 - 1-3-2008, 16.00 = 28u

Richting: 225-300

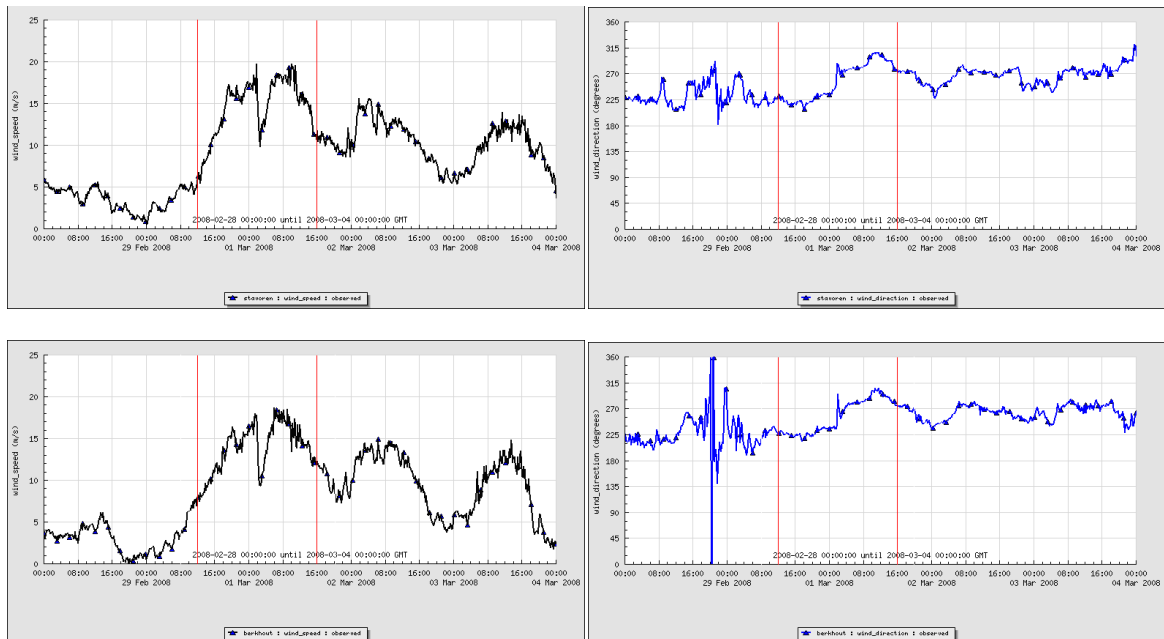
Stavoren: Top: 19.8 m/s

Berkhout: Top: 18.5 m/s

Wind meetpalen in uurgemiddelden, gemeten op 10 meter hoogte

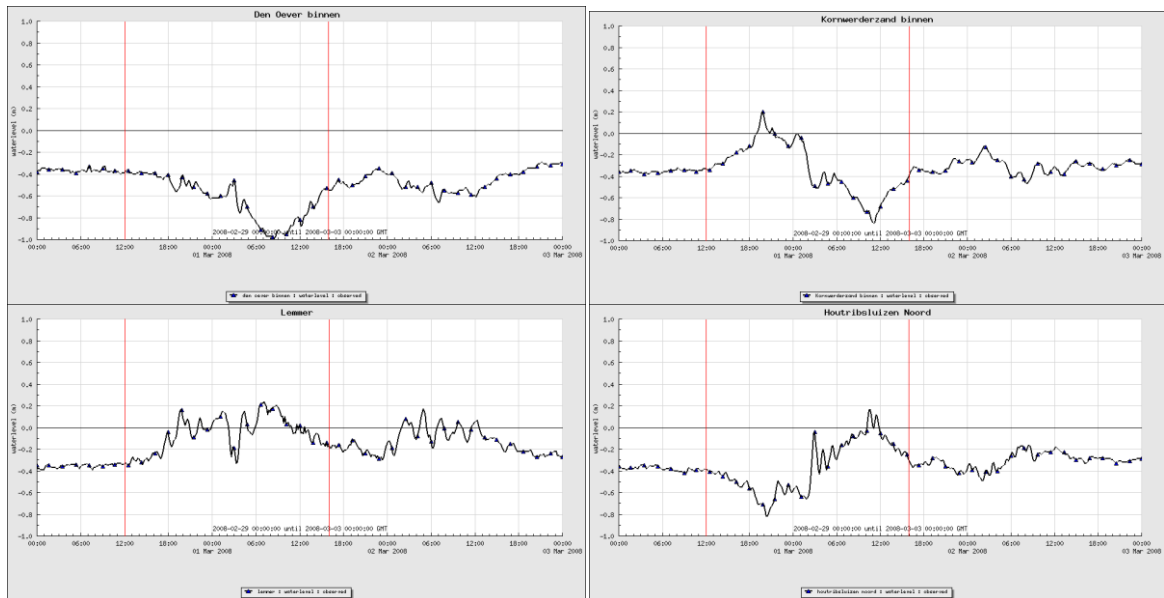


Wind landstations in 10min gemiddelden, gemeten op 10 meter hoogte

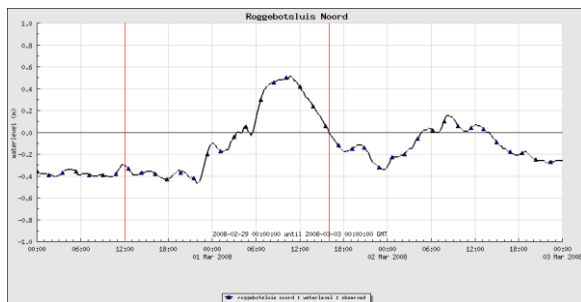


Reacties waterstanden:

IJsselmeer:



Ketel-/Zwartemeer:

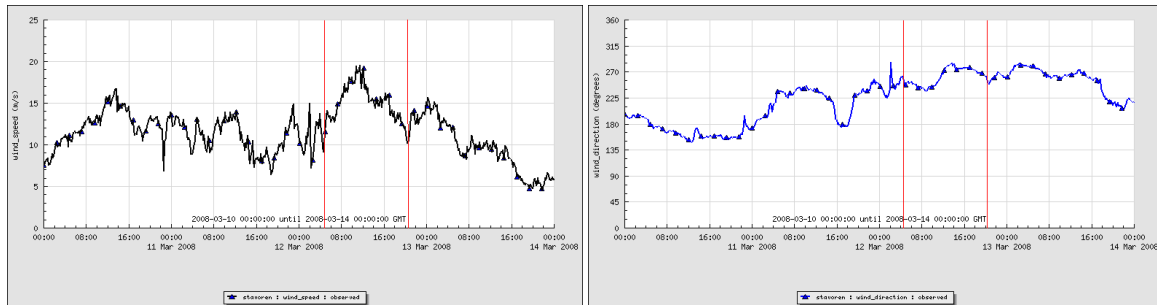


12-3-2008 Westenwind (eerst WZW)

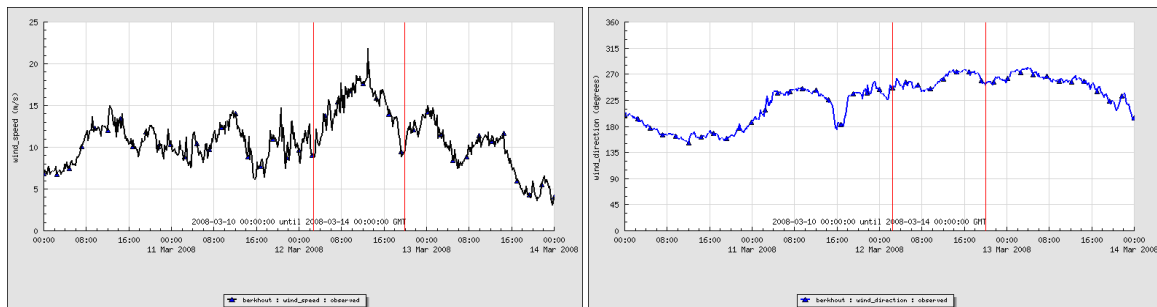
Duur:12-03-2008,5.00-12-03-2008,20.00 = 15u

Richting:eerst 250 dan 270

Stavoren: Top: 19.2 m/s

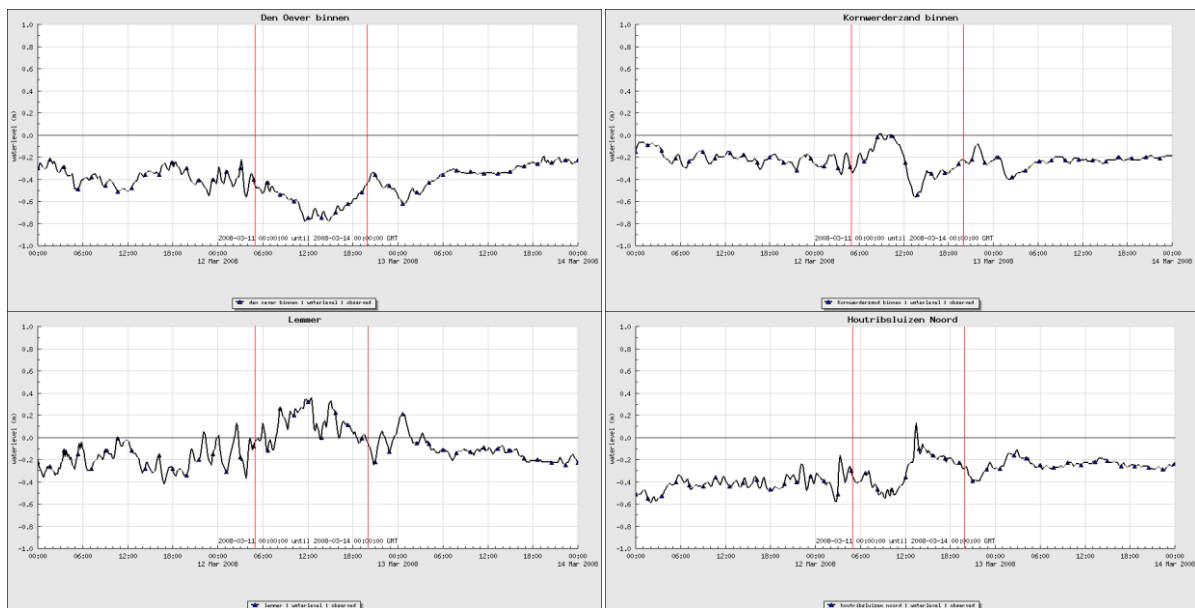


Berkhout: Top: 22 m/s

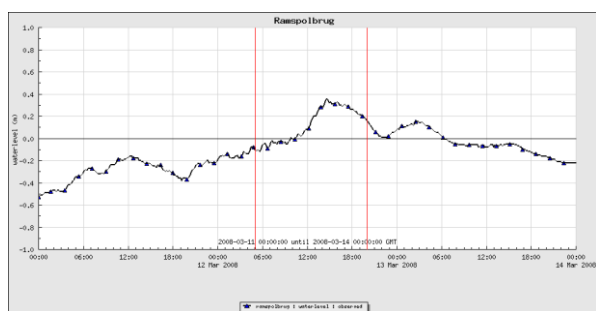


Reacties waterstanden:

IJsselmeer:



Ketel-/Zwartemeer:

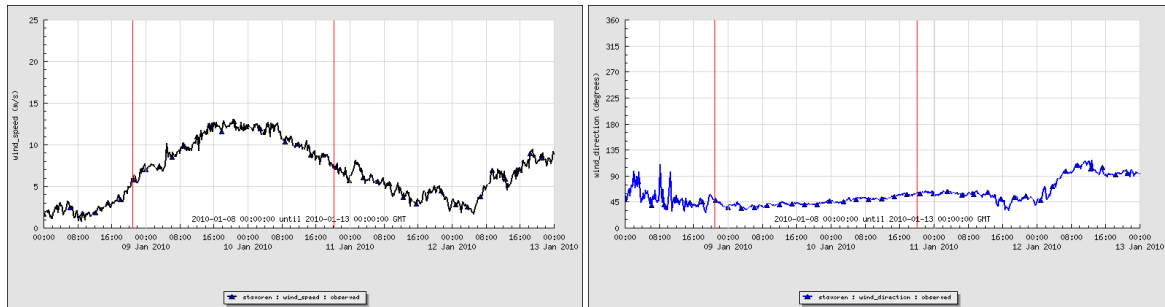


9-1-2010 NO wind

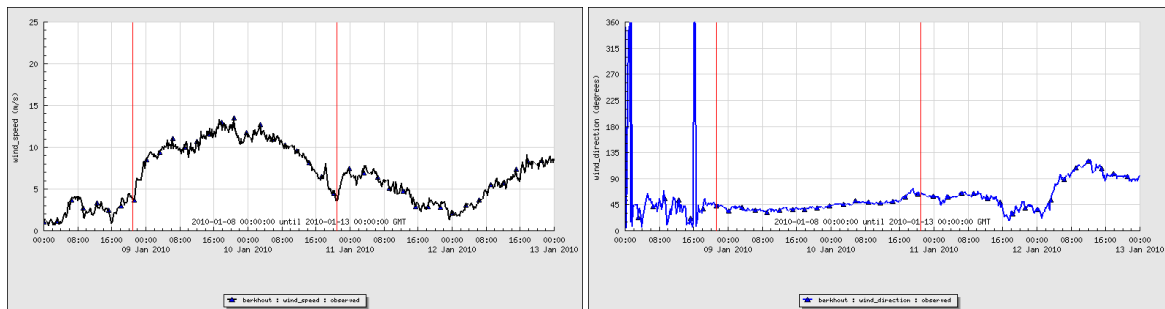
Duur: 8-1-2010, 21.00 → 10-1-2010, 20.00 = 23u

Richting: 45

Stavoren: Top: 13 m/s



Berkhout: Top: 13.2 m/s



Reacties waterstanden:

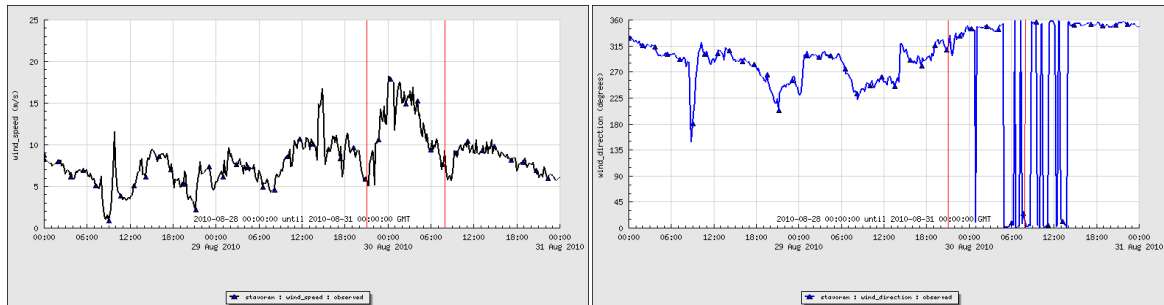
GEEN REACTIE,. WATERSTANDEN BLIJVEN GELIJK, het model voorspelt wel een reactie.

30-8-2010 Westenwind→NW→Noordenwind (3 pieken)

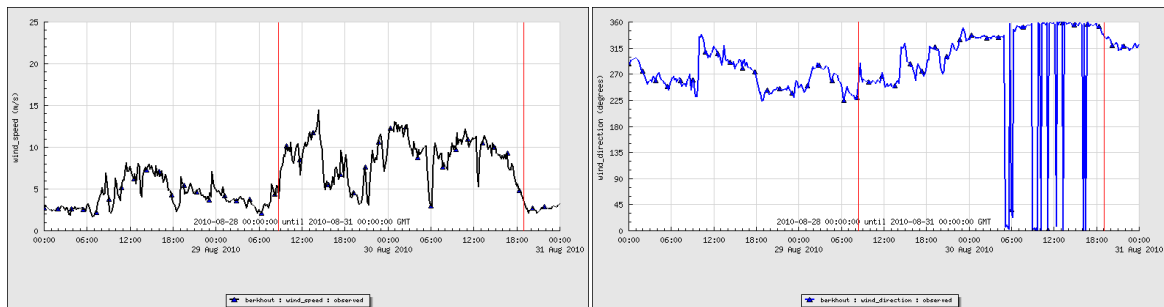
Duur: 29-8-2010,9.00→30-8-2010,19.00 = 34u

Richting:1e piek 270, 2e piek 270-300, 3e piek 360

Stavoren: Top: 18 m/s

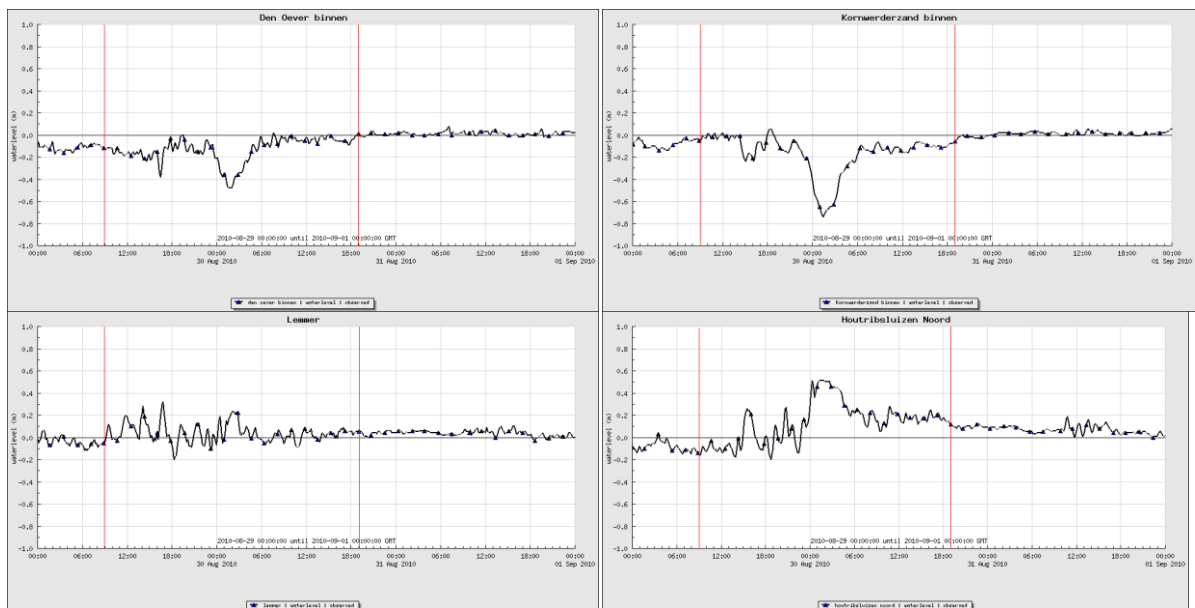


Berkhout: Top: 13 m/s

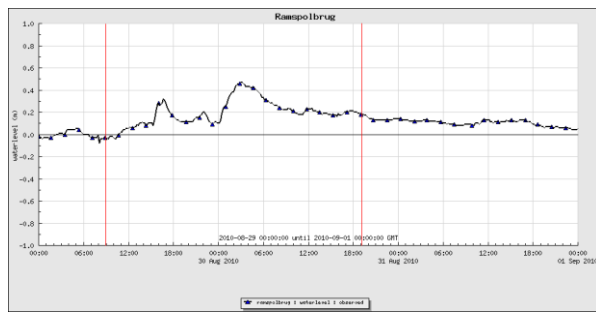


Reacties waterstanden:

IJsselmeer:



Ketel-/Zwartemeer:

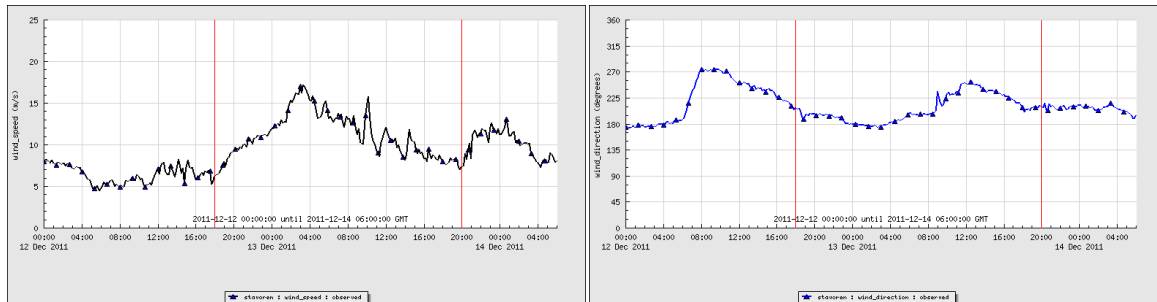


13-12-2011 Zuidenwind → Zuidwestenwind

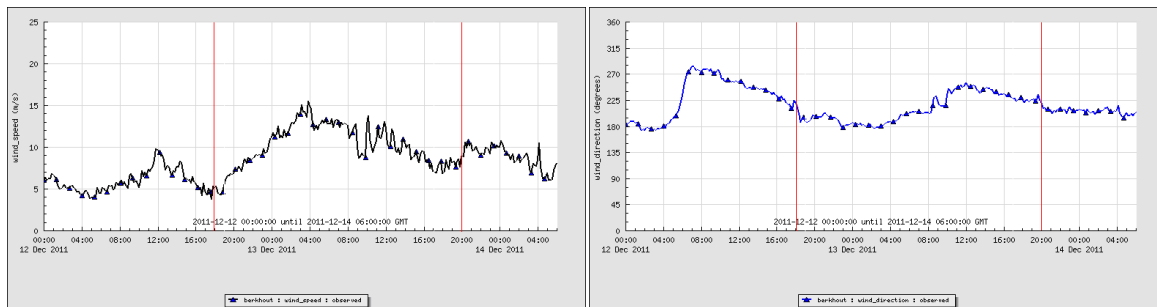
Duur: 12-12-2011, 18.00 → 13-12-2011, 20.00 = 26u

Richting: 180 bij de piek, daarna rond 230

Stavoren: Top: 17.2 m/s

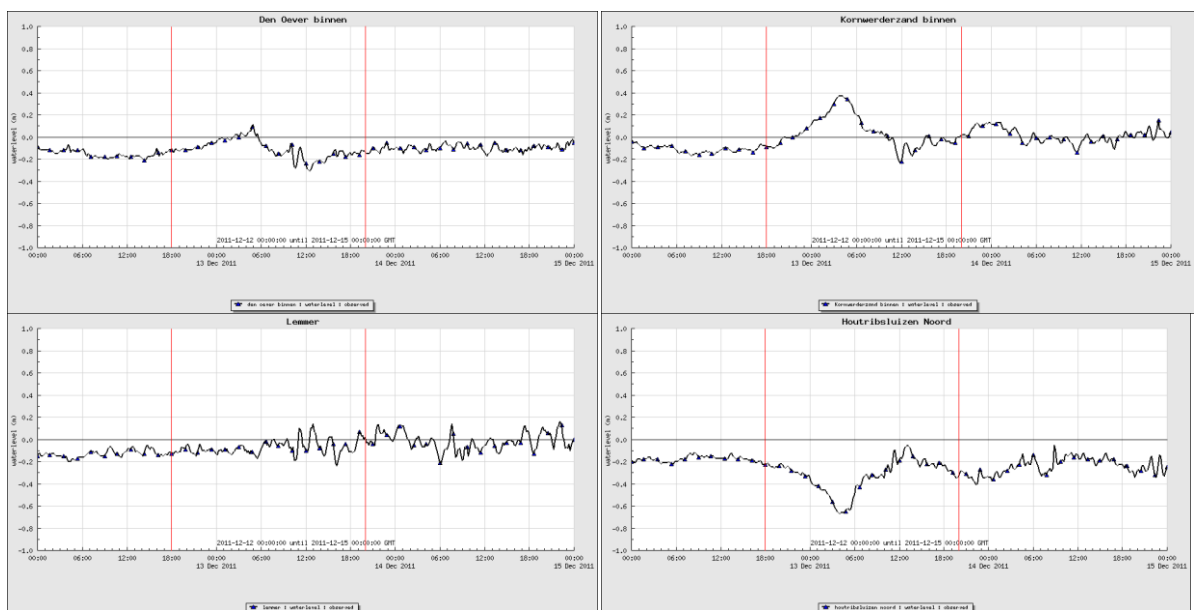


Berkhout: Top: 15.5 m/s

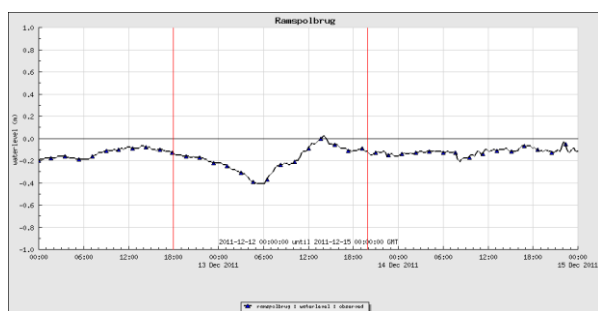


Reacties waterstanden:

IJsselmeer:



Ketel-/Zwartemeer:

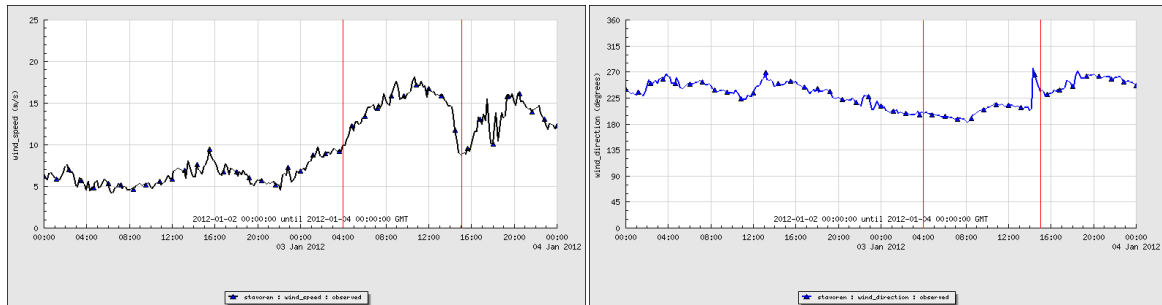


3-1-2012 ZZW wind

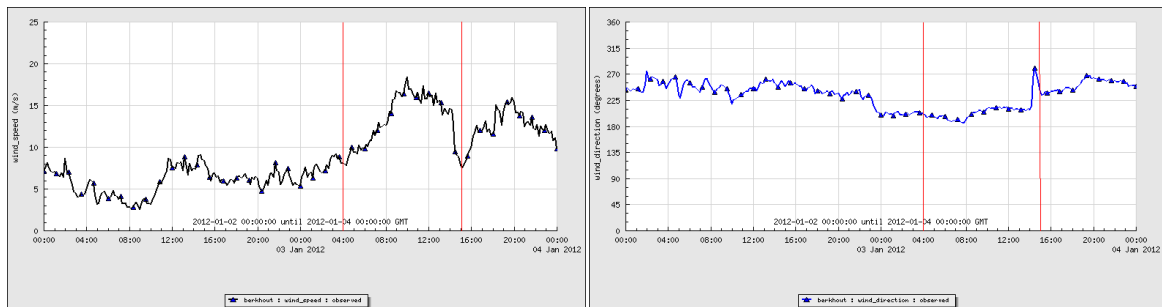
Duur: 3-1-2012,4.00-15.00 = 11u

Richting: 190-200

Stavoren: Top: 18 m/s

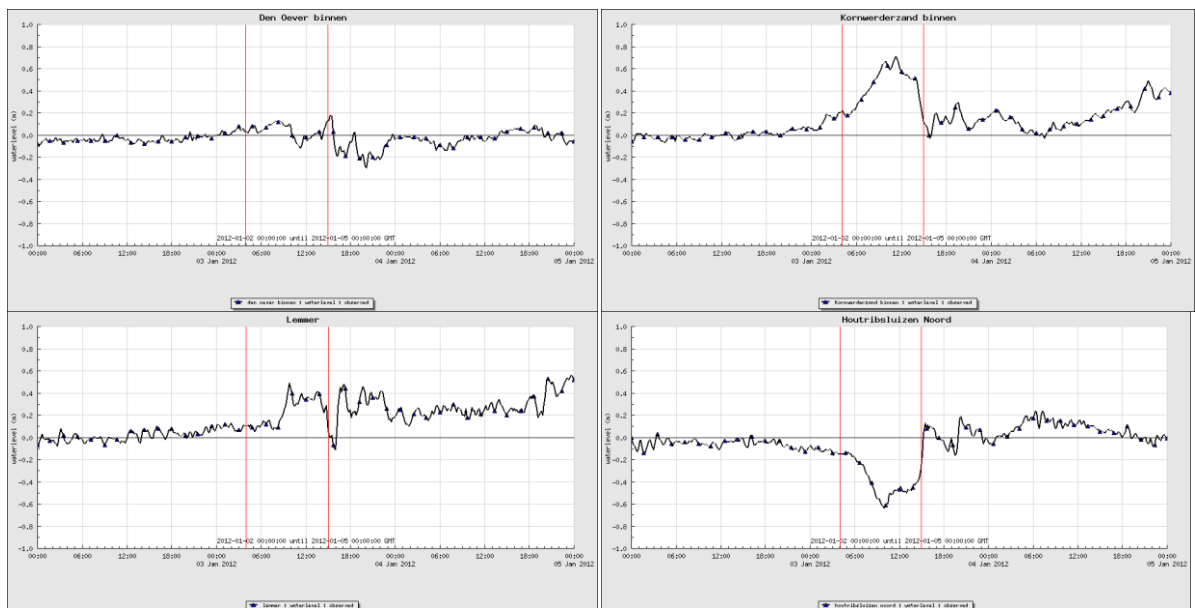


Berkhout: Top: 18.2 m/s

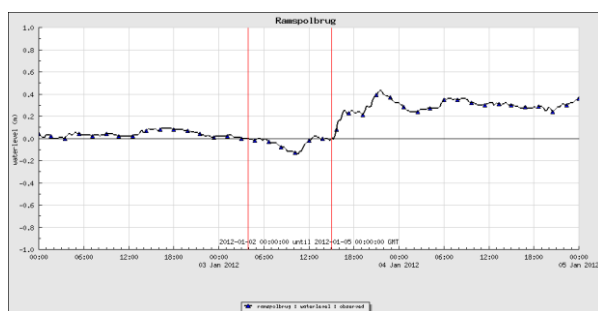


Reacties waterstanden:

IJsselmeer:



Ketel-/Zwartemeer:

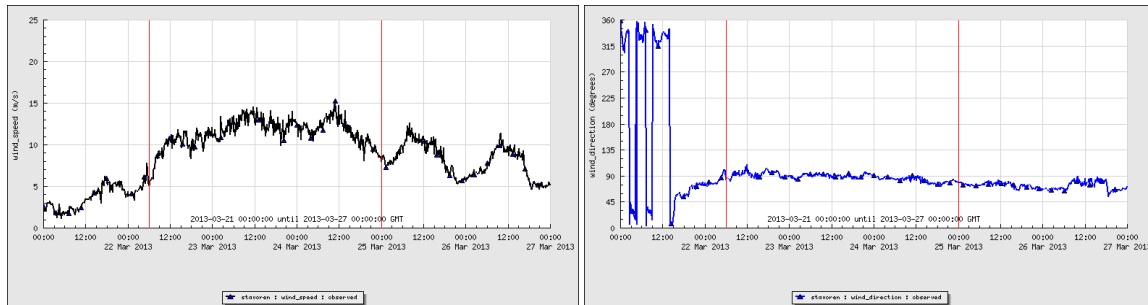


24-3-2013 langdurige Oostenwind

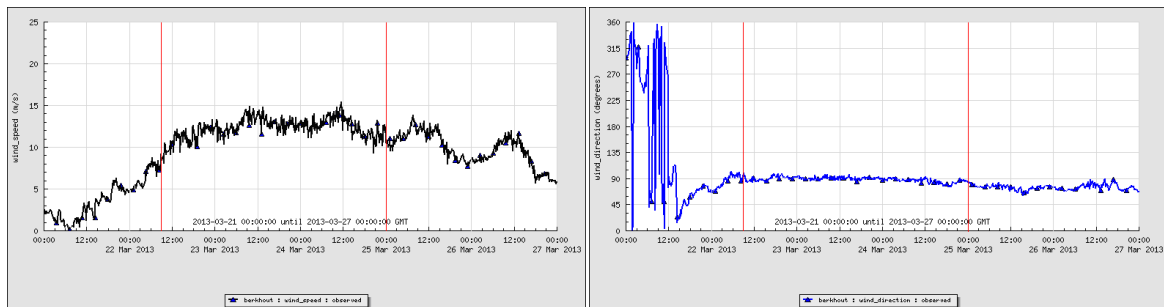
Duur: 22-3-2013,08.00→25-3-2013,00.00 = 64u

Richting: 90, erg stabiel

Stavoren: Top: 15.2 m/s

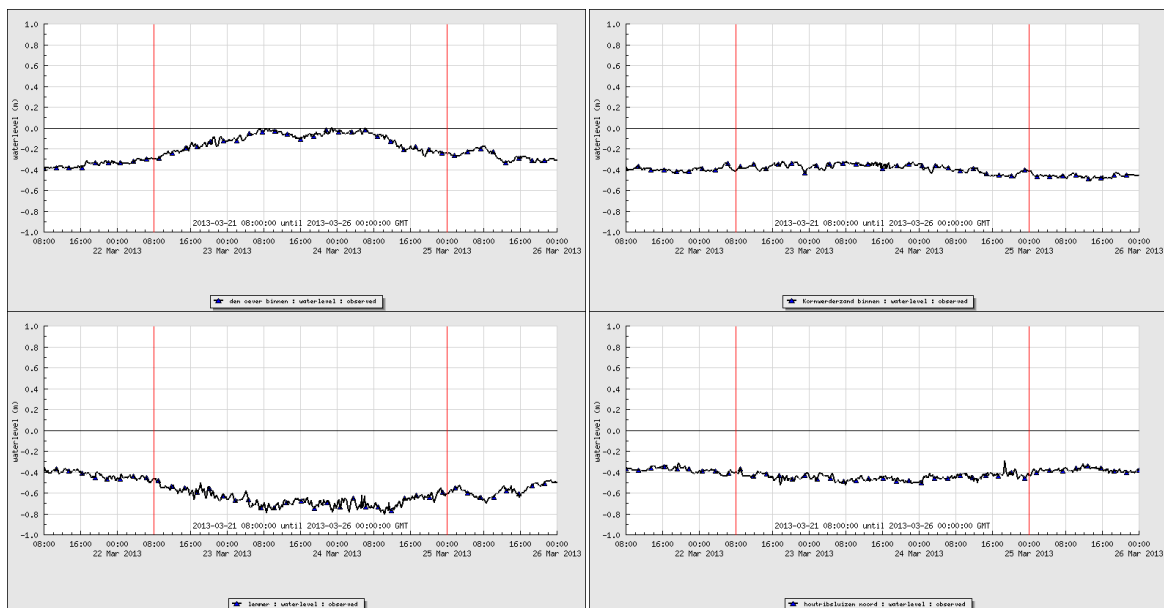


Berkhout: Top: 15.5 m/s



Reacties waterstanden:

IJsselmeer:



Ketel-/Zwartemeer:

