

Grevelingen-Volkerak-Zoommeer WAQUA-model 5e generatie

Modelopzet en validatie stormopzet en afwaaiing



Grevelingen-Volkerak-Zoommeer WAQUA-model 5e generatie

Modelopzet en validatie stormopzet en afwaaiing

Kees Kuiper
David Kerkhoven
Theo van der Kaaij

1209448-005

Titel

Grevelingen-Volkerak-Zoommeer WAQUA-model 5e generatie

Opdrachtgever
RWS WVL

Project
1209448-005

Kenmerk
1209448-005-ZKS-0005

Trefwoorden

Grevelingen-Volkerak-Zoommeer, WAQUA-model van het Volkerak-Zoommeer, Baseline, validatie op wind, 5^e generatie modellen.

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de bouw en validatie van een nieuw WAQUA model van het Volkerak-Zoommeer. Voor een goede reproduceerbaarheid en consistentie met overige RWS-schematisaties, zoals het Rijn Maas Monding model (RMM), is er voor de geometrie en inrichting van het Volkerak-Zoommeer gebruik gemaakt van een Baseline database voor de situatie 2012.




Aanleiding voor het opzetten van het model was de noodzaak om voor de bepaling van Hydraulisch Randvoorwaarden voor 2017 voor de Rijn Maasmonding in het kader van het Wettelijk Toetsingsinstrumentarium 2017 (WTI2017), te kunnen rekenen met scenario's waarin de inzet van de maatregel "Waterberging Volkerak" kan worden doorgerekend.

Het model is alleen gevalideerd op windopzet (op- en afwaaiing) aan de hand van twee historische stormen. De met dit model berekende op- en afwaaiing in het Volkerak-Zoommeer stemt goed overeen met metingen. Het gemiddelde waterstandsverschil tussen meting en berekening in maximale op- en afwaaiing bedraagt ongeveer 2 cm.

Uit de uitgevoerde validatieberekeningen wordt verder geconcludeerd dat:

- De gebruikte ruwheid, een alluviale ruwheidsvoorspeller of een Manning formulering met een coëfficiënt met een grootte gelijk aan de waarde gebruikt in het IJsselmeer, nauwelijks invloed heeft op de berekende opzet/afwaaiing in het Volkerak-Zoommeer.
Vanwege de vergelijkbaarheid van waterbewegingskarakteristieken tussen het IJsselmeer en het Volkerak-Zoommeer, beiden momenteel een stagnerend binnenmeer, wordt voorgesteld voor het Volkerak-Zoommeer een Manning formulering te hanteren met een waarde van de coëfficiënt die overeenstemt met de waarde die voor het IJsselmeer gebruikt is ($0.022 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$).
- Op basis van reproductie van maximale op- en afwaaiing heeft forcering van het Volkerak-Zoommeer met wind Tholen de voorkeur boven wind Stavenisse of wind Rotterdam. Wanneer uit het oogpunt van consistentie met RMM model gekozen wordt voor forcering met wind Rotterdam verslechtert de reproductie van de maximale op-en afwaaiing iets.

Ten behoeve van inzet van de maatregel "Waterberging Volkerak", is het Volkerak-Zoommeer model middels domeindecompositie gekoppeld aan het RMM model. Het keringenscript, waarmee Maeslant- en Hartelkering worden aangestuurd in het RMM model, is zodanig uitgebreid dat ook de inlaatsluizen van het sluiscomplex Volkerak worden aangestuurd. Deze uitbreiding is uitvoerig getest en de werking ervan is correct bevonden. Dit betekent dat de schematisatie daarmee ingezet kan worden voor de productieberekeningen voor in het kader WTI-2017.

| Versie | Datum | Auteur | Paraaf | Review | Paraaf | Goedkeuring | Paraaf |
|--------|-----------|-------------------|---|-------------------|---|------------------|---|
| 1.0 | Juni 2014 | D. Kerkhoven | | Th. van der Kaaij | | F.M.J. Hoozemans | |
| 1.1 | Sep. 2014 | K. Kuiper | | | | | |
| 1.2 | Dec. 2014 | K. Kuiper | | M. Verlaan |  | F.M.J. Hoozemans |  |
| | | Th. van der Kaaij |  | | | | |
| | | D. Kerkhoven | | | | | |

Status

definitief

Inhoud

| | |
|--|-----------|
| 1 Inleiding | 1 |
| 1.1 Algemeen | 1 |
| 1.2 Gebiedsbeschrijving | 2 |
| 1.3 Achtergrond | 3 |
| 1.4 Doel | 3 |
| 1.5 Organisatie en bijdragen | 4 |
| 2 Validatie Methodiek | 5 |
| 3 Modelopzet | 7 |
| 3.1 Algemeen | 7 |
| 3.2 Programmatuur en hardware | 7 |
| 3.3 Geometrie en inrichting (Baseline) | 7 |
| 3.4 Modelopzet in WAQUA | 8 |
| 3.4.1 Rooster | 8 |
| 3.4.2 Randvoorwaarden | 9 |
| 3.4.3 Overige modelparameters | 10 |
| 3.4.4 Initiële conditie | 12 |
| 3.4.5 Overige modelinstellingen | 12 |
| 3.5 Rekening | 12 |
| 3.6 Verschillen tussen nieuwe en vorige model | 12 |
| 4 Stormperiodes voor validatie | 15 |
| 4.1 Selectie stormperiodes | 15 |
| 4.2 Oktober 2002 Storm | 21 |
| 4.3 December 2013 | 22 |
| 4.4 Beschikbare meetgegevens | 22 |
| 5 Resultaten validatie | 25 |
| 5.1 Gevolgde methodiek | 25 |
| 5.2 Beoordeling modelprestatie | 25 |
| 5.2.1 Perioden beoordeling | 25 |
| 5.2.2 Kentallen beoordeling | 25 |
| 5.3 Modelprestatie | 27 |
| 5.3.1 Resultaten validatie storm oktober 2002 | 27 |
| 5.3.2 Resultaten validatie storm december 2013 | 35 |
| 5.3.3 Modelprestatie | 42 |
| 6 Implementatie maatregel “Waterberging Volkerak-Zoommeer” | 47 |
| 6.1 Inleiding | 47 |
| 6.2 Beschrijving Volkeraksluizen | 47 |
| 6.3 Beschrijving keringenscript | 49 |
| 6.4 Algoritme Waterberging Volkerak | 50 |
| 6.5 Implementatie | 50 |
| 7 Test implementatie Waterberging Volkerak voor extreme (WTI) condities | 53 |

| | |
|---|------------|
| 8 Conclusies | 57 |
| 9 Referenties | 59 |
| Bijlage(n) | |
| A Maatregellijst Baseline-zwd-j12_5_v8hwwl met korte omschrijving | A-1 |
| B Memo: Aanpassingen in WAQUA en Baseline t.b.v. WT12017 schematisatie | B-1 |

Lijst met Figuren

| | | |
|------------|--|----|
| Figuur 1.1 | Gebiedsoverzicht (bron: Rijkswaterstaat, spuikanaal Bath ontbreekt in dit figuur) | 1 |
| Figuur 1.2 | Overzicht peilbeheer (bron: (DHV, 2010, maart)). | 3 |
| Figuur 3.1 | Rekenrooster Grevelingen-Volkerak-Zoommeer. | 8 |
| Figuur 3.2 | Rekenrooster Grevelingen-Volkerak-Zoommeer; Detail Volkerak..... | 9 |
| Figuur 3.3 | Rekenrooster Grevelingen-Volkerak-Zoommeer; detail Zoommeer..... | 10 |
| Figuur 3.4 | Windschuifspanningscoëfficiënt als functie van de 10 meter windsnelheid. De gestippelde lijn geeft de algemene lineaire functie; de doorgetrokken lijn de trapvormige functie die in WAQUA gebruikt wordt. | 11 |
| Figuur 4.1 | Waterstanden Volkerak-Zoommeer, windsnelheid en –richting te Rotterdam en spuidebiet Bathse spuisluis tijdens de september 1998 storm..... | 16 |
| Figuur 4.2 | Waterstanden Volkerak-Zoommeer, windsnelheid en –richting te Rotterdam en spuidebiet Bathse spuisluis tijdens de oktober 2002 storm..... | 17 |
| Figuur 4.3 | Waterstanden Volkerak-Zoommeer, windsnelheid en –richting te Rotterdam en spuidebiet Bathse spuisluis tijdens de oktober/november 2006 storm..... | 18 |
| Figuur 4.4 | Waterstanden Volkerak-Zoommeer, windsnelheid en –richting te Rotterdam en spuidebiet Bathse spuisluis tijdens de november 2007 storm..... | 19 |
| Figuur 4.5 | Waterstanden Volkerak-Zoommeer, windsnelheid en –richting te Rotterdam en spuidebiet Bathse spuisluis tijdens de december 2013 storm..... | 20 |
| Figuur 4.6 | Windverloop bij Hoek van Holland op 27 oktober 2002 (Stormvloedwaarschuwingsdienst/SVSD, 2003). | 21 |
| Figuur 4.7 | Hoogste uurgemiddelde windsnelheid op 27 oktober 2002..... | 21 |
| Figuur 4.8 | Waterstandsverloop bij Vlissingen op 27 oktober 2002 (Stormvloedwaarschuwingsdienst/SVSD, 2003). | 22 |
| Figuur 5.1 | Waterstandverloop gedurende de oktober 2002 stormperiode in de noord-zuid georiënteerde stations Galathea, Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop en windsnelheid te Rotterdam. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid). | 28 |
| Figuur 5.2 | Waterstandverloop gedurende de oktober 2002 stormperiode in de west-oost georiënteerde stations Galathea en Rak-zuid en windsnelheid te Rotterdam. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid). | 29 |
| Figuur 5.3 | Waterstandverloop gedurende de oktober 2002 stormperiode in de noord-zuid georiënteerde stations Galathea, Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop en windsnelheid te Stavenisse. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid). | 31 |
| Figuur 5.4 | Waterstandverloop gedurende de oktober 2002 stormperiode in de west-oost georiënteerde stations Galathea en Rak-zuid en windsnelheid te Stavenisse. | |

| | | |
|-------------|--|----|
| | Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid). | 32 |
| Figuur 5.5 | Waterstandverloop gedurende de oktober 2002 stormperiode in de noord-zuid georiënteerde stations Galathea, Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop en windsnelheid te Tholen. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid)..... | 33 |
| Figuur 5.6 | Waterstandverloop gedurende de oktober 2002 stormperiode in de west-oost georiënteerde stations Galathea en Rak-zuid en windsnelheid te Tholen. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid). | 34 |
| Figuur 5.7 | Waterstandverloop gedurende de december 2013 stormperiode in de noord-zuid georiënteerde stations Galathea, Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop en windsnelheid te Rotterdam. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid)..... | 36 |
| Figuur 5.8 | Waterstandverloop gedurende de december 2013 stormperiode in de west-oost georiënteerde stations Galathea en Rak-zuid en windsnelheid te Rotterdam. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid). | 37 |
| Figuur 5.9 | Waterstandverloop gedurende de december 2013 stormperiode in de noord-zuid georiënteerde stations Galathea, Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop en windsnelheid te Stavenisse. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid)..... | 38 |
| Figuur 5.10 | Waterstandverloop gedurende de december 2013 stormperiode in de west-oost georiënteerde stations Galathea en Rak-zuid en windsnelheid te Stavenisse. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid). | 39 |
| Figuur 5.11 | Waterstandverloop gedurende de december 2013 stormperiode in de noord-zuid georiënteerde stations Galathea, Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop en windsnelheid te Tholen. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid)..... | 40 |
| Figuur 5.12 | Waterstandverloop gedurende de december 2013 stormperiode in de west-oost georiënteerde stations Galathea en Rak-zuid en windsnelheid te Tholen. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid). | 41 |
| Figuur 6.1 | Overzicht status schuiven inlaatsluis Volkerak in 2014 (rood=verwijderd, groen = in bedrijf) | 48 |
| Figuur 6.2 | Dwarsdoorsnede met bodem Volkerak inlaatsluizen (bron: (WL-Delft, 1973) ontwerptekening) | 48 |
| Figuur 6.3 | Algoritme keringenscript | 49 |
| Figuur 6.4 | Implementatie algoritme “Waterberging Volkerak” in het keringenscript | 50 |
| Figuur 7.1 | Waterstanden Volkerak, locatie Galathea, op basis van gekoppelde berekening | 53 |
| Figuur 7.2 | Gedrag Maeslantkering, Hartelkering en Volkerakspuisluizen in gekoppelde berekening met actieve waterberging (BO4)..... | 54 |

| | | |
|------------|--|----|
| Figuur 7.3 | Effect Waterberging Volkerak op maximale waterstanden in de Rijn Maas monding (berekening BO4) | 55 |
|------------|--|----|

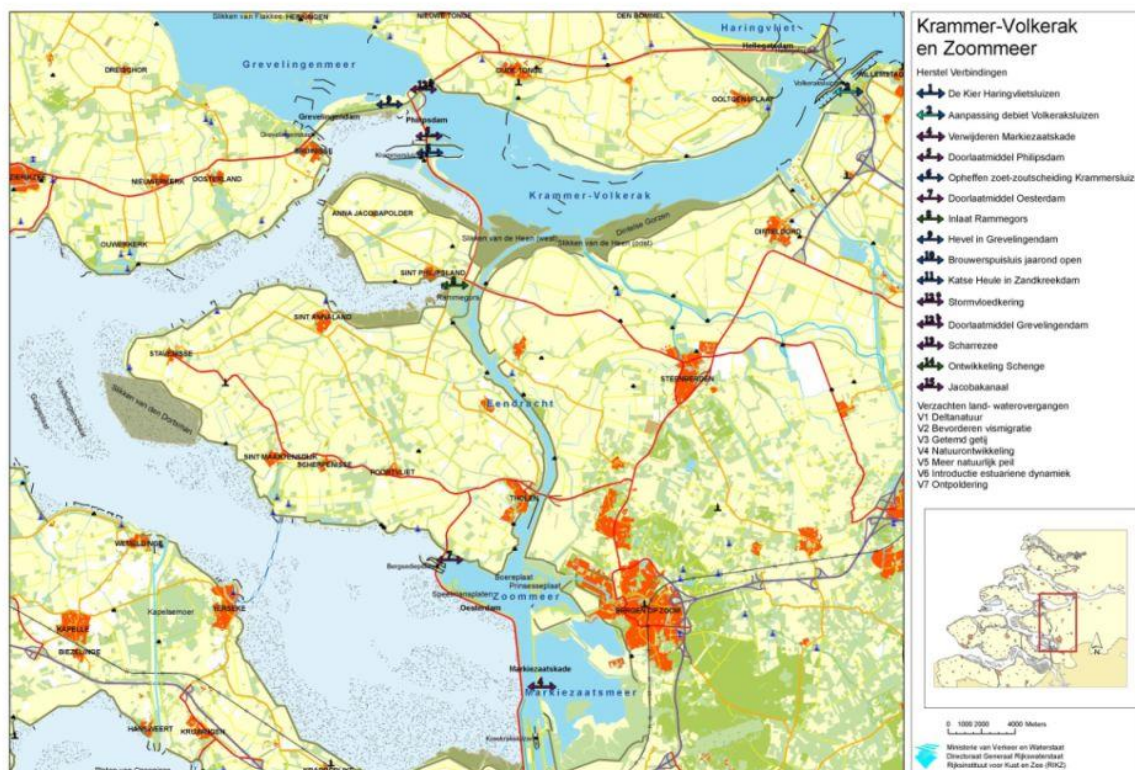
1 Inleiding

1.1 Algemeen

Dit rapport beschrijft de modelopzet en validatie van het dieptegemiddelde WAQUA model voor het Volkerak-Zoommeer gebied. Het model heeft conform de naamconventies van Rijkswaterstaat de aanduiding “*waqua-gn_vo_zo-j12_5-v1*” gekregen. Het model vormt een onderdeel (deeldomein) van het gehele Zuidwestelijke Deltamodel. De validatie is beperkt tot windopzet en afwaaiing.

Het WAQUA-model is ontwikkeld in het kader van het KPP 2014 Hydraulica Schematisaties, project 1209448-005, Zeeuwse Delta.

De eerste toepassing van het model zal zijn ten behoeve van de bepaling van Hydraulische Randvoorwaarden voor 2017 voor de Rijn Maasmonding. In het kader van het Wettelijk Toetsingsinstrumentarium 2017 (WTI-2017) moet voor dit gebied gerekend kunnen worden met de maatregel “Waterberging Volkerak-Zoommeer”¹. Hiervoor is het noodzakelijk dat tijdens de productiesommen van WTI2017 gerekend kan worden met een model, dat middels horizontale domeindecompositie gekoppeld kan worden aan het WAQUA-model van de Rijn-Maasmonding. Zo kan bepaald worden wat de invloed is van het inzetten van de maatregel “Waterberging Volkerak-Zoommeer” op de waterstanden in de Rijn-Maasmonding.



Figuur 1.1 Gebiedsoverzicht (bron: Rijkswaterstaat, spuikanaal Bath ontbreekt in dit figuur).

¹ 'Waterberging Volkerak-Zoommeer' is één van de ruim 30 projecten van "Ruimte voor de Rivier" van Rijkswaterstaat, welke nodig is om de waterveiligheid in Noord-Brabant en Zuid-Holland, tijdens een situatie van zware storm op zee met zeer hoge afvoeren van de rivieren, te kunnen waarborgen.

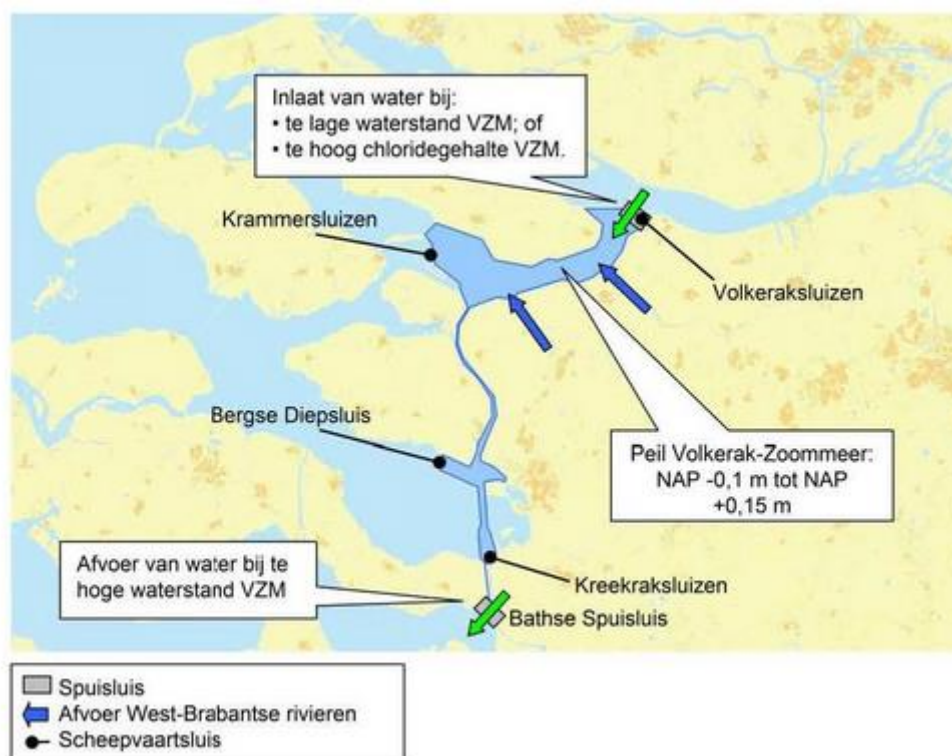
1.2 Gebiedsbeschrijving

Het model van het Volkerak-Zoommeer beslaat de gebieden het Krammer-Volkerak, Eendracht, Zoommeer en Markiezaatsmeer. Door de laatste drie gebieden loopt het Schelde Rijnkanaal, welke een belangrijke hoofdvaarweg is als onderdeel van de hoofdtransportas Antwerpen-Rotterdam-Duitsland. Een overzicht van het Volkerak-Zoommeer gebied is te zien in Figuur 1.1.

De Brabantse rivieren de Mark, de Dintel, de Steenbergsche en de Roosendaalse Vliet en de Zoom monden uit in het Volkerak-Zoommeer. Daarnaast lozen verschillende poldergemalen water op het Volkerak-Zoommeer. De grootste aan- en afvoer van water uit het Volkerak-Zoommeer gebied vindt plaats via Bathse Spuisluis, Kreekraksluizen, Krammersluizen en de Volkeraksluizen.

Het Volkerak-Zoommeer kent een peilbeheer, gericht op een min of meer constante waterstand. Dit peil is vastgelegd in het Peilbesluit Volkerak/Zoommeer (Minister van Verkeer en Waterstaat, 19 februari 1996) en het Waterakkoord Volkerak-Zoommeer (Rijkswaterstaat, 2001). Ook voor het 'Verdrag tussen het Koninkrijk der Nederlanden en het Koninkrijk België betreffende de verbinding tussen de Schelde en de Rijn' (1963) is een constant peil het uitgangspunt. Als minimum en maximum waterstand worden respectievelijk genoemd NAP-1,00 m en NAP+0,50 m. Het huidige streefpeil varieert tussen NAP-0,1 m en NAP+0,15 m. Dit peil wordt gehandhaafd door overtollig water af te voeren via de Bathse Spuisluis naar de Westerschelde of water aan te voeren via de Volkerak spuisluizen. Het dagelijkse peilbeheer van het Volkerak-Zoommeer wordt verzorgd door het Hydro Meteo Centrum Zeeland (HMCZ) van Rijkswaterstaat. Een overzicht van het peilbeheer wordt, schematisch, getoond in Figuur 1.2.

Om het Volkerak-Zoommeer zoet te houden, bevatten de Krammersluizen en de Bergse Diepsluis een systeem om zoet en zout water te scheiden. Dit systeem voorkomt dat zout water uit de Oosterschelde het zoetere Volkerak-Zoommeer instroomt en omgekeerd zoet water vanuit het Volkerak-Zoommeer wordt geloosd op de Oosterschelde. Bij de Kreekraksluizen wordt met behulp van een pompmaal zoet water gespuid op het zoute Antwerps Kanaalpand: hiermee wordt een zoet-zoutgradiënt in stand gehouden. Het pompmaal van de Kreekraksluizen kan ook ingezet worden voor het afdalen van overtollig water, hetgeen vanwege de hoge energiekosten echter beperkt wordt ingezet. Hierdoor kunnen de Kreekraksluizen in specifieke situaties worden ingezet bij het doorspoelen van het Volkerak-Zoommeer.



Figuur 1.2 Overzicht peilbeheer (bron: (DHV, 2010, maart)).

1.3 Achtergrond

In het verleden is een aantal modellen voor het Volkerak-Zoommeer ontwikkeld, waaronder WAQUA en SOBEK-RE modellen. In 2002 is door de voormalige Directie Zeeland van Rijkswaterstaat een WAQUA-schematisatie ontwikkeld ten behoeve van het operationele peilbeheer en het zoutgehalte in het Volkerak-Zoommeer (Lieveense, 2002). Het destijds ontwikkelde WAQUA-model is opgezet om binnen het HMCZ gebruikt te gaan worden voor de nadere uitwerking van het door een balansberekening bepaalde scenario. Het idee hierbij is dat het model dan online gedraaid gaat worden, waarbij steeds wordt doorgestart op de voorgaande berekening en waarbij de randvoorwaarden automatisch worden gegenereerd. Daarnaast is het destijds ontwikkelde model reeds toegepast binnen diverse onderzoeksprojecten (persoonlijke communicatie met Lieveense, 2014).

Voor de ontwikkeling van het nieuwe WAQUA model in dit project is een volledig nieuw rooster gemaakt. Dit rooster is zodanig opgezet dat deze gekoppeld kan worden met de roosters van het Rijn-Maasmonding gebied en de Oosterschelde. Tevens omvat het rekenrooster het Grevelingen-gebied en is bij de Bathse Spuisluis een koppeling met de Westerschelde mogelijk.

1.4 Doel

Het doel van dit project is het opzetten en het valideren van het nieuwe WAQUA model voor het Volkerak-Zoommeer. Gegeven de eerste toepassing van het model, het bepalen van het effect van de inzet van de maatregel "Waterberging Volkerak-Zoommeer" onder stormcondities op waterstanden in de Rijn Maasmonding, én het feit dat deze maatregel nog nooit daadwerkelijk is ingezet, richt de validatie zich specifiek op de op- en afwaaiing over het watersysteem onder stormcondities. De waterbalans en de zoutverdeling in het systeem worden in het kader van dit project niet gevalideerd, omdat bij de eerste toepassing van de

inzet van de maatregel waterberging Volkerak-Zoommeer onder extreme condities van hoge afvoer in het Rijn Maasmonding-gebied en storm, deze niet van belang zijn. Voor de Grevelingen, welke overigens wel onderdeel uitmaakt van het rekenrooster, is geen validatie uitgevoerd.

Aangezien de schematisatie gebruikt zal gaan worden voor de productiesommen van Wettelijk Toetsingsinstrumentarium 2017 (WTI2017), in combinatie met het WAQUA-model voor de Rijn-Maasmonding, zal er specifiek ook aandacht gegeven worden aan het rekenen met gekoppelde deeldomeinen van het Rijn-Maasmonding en het Volkerak-Zoommeer. Tevens zal in dit kader een test uitgevoerd worden waarin de werking van de maatregel "Waterberging Volkerak-Zoommeer" getoetst wordt, daar er binnen WTI2017 rekening gehouden zal gaan worden met het effect van deze maatregel op de waterstanden in het Rijn-Maasmondinggebied. Validatie van het effect van deze maatregel op de waterstanden in de Rijn-Maasmonding aan de hand van metingen is echter niet mogelijk, aangezien deze situatie in de praktijk nog nooit is opgetreden.

1.5 Organisatie en bijdragen

De werkzaamheden zijn uitgevoerd onder het programma "KPP Hydraulica schematisaties RWS zout", projectnummer 1209448.005 bij Deltares. De algemene projectleiding van de bouw en validatie van het WAQUA model van het Volkerak-Zoommeer gebied is uitgevoerd door Deltares in samenwerking met Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving (projectleider: Martin Scholten) en Rijkswaterstaat Zee en Delta (Jan-Rolf Hendriks en Piet Lievense).

Vanuit Deltares werkte een team van verschillende mensen aan de totstandkoming van het model. Dit team bestaat uit de volgende personen:

- Theo van der Kaaij: projectleider KPP Zeeuwse Delta, bouw en validatie WAQUA-model, keringenscript.
- David Kerkhoven: algemeen projectleider KPP Hydraulica schematisaties RWS zout, inhoudelijk adviseur.
- Ton Visser: controle en aanpassing Baseline schematisaties.
- Remco Plieger: aanpassing WAQUA rooster, koppeling RMM.
- Nadine Slootjes: adviseur maatregel "Waterberging Volkerak-Zoommeer".
- Kees Kuiper: rapportage.
- Jurjen de Jong: koppeling WAQUA-RMM, Baseline.

Het rooster is gemaakt door Deltares. De Baseline schematisaties voor de Zeeuwse Delta zijn opgebouwd door CSO (Hoefsloot, 2014). Door Deltares zijn hierin gedurende dit project enkele kleine correcties doorgevoerd. Vanuit gebruikersoogpunt is eveneens belangrijke input geleverd door Jan-Rolf Hendriks en Piet Lievense van Rijkswaterstaat.

2 Validatie Methodiek

Met het nieuw opgezette model van het Volkerak-Zoommeer, zie Hoofdstuk 3 van dit rapport, zijn opgetreden stormen doorgerekend. Hierbij zijn de in het meer berekende waterstanden vergeleken met de beschikbare waargenomen waterstanden. Onder normale omstandigheden zijn de waterstandsvariaties in het meer bijna alleen een gevolg van het peilbeheer, i.e. de lozingen en de onttrekkingen aan het watersysteem. Gedurende een storm zijn de waterstanden en waterstandsverschillen een gevolg van zowel het peilbeheer als de opgetreden windcondities. Voor de validatie van het Volkerak-Zoommeer model, zijn stormen geselecteerd waarbij het peilbeheer zodanig was dat de hierdoor veroorzaakte waterstandsfluctuaties gering zijn.

In eerste instantie zijn de geselecteerde stormen gesimuleerd met windinstellingen identiek aan de instellingen van het Rijn-Maasmonding model. Onder instellingen wordt hier verstaan de gebruikte windtijdreeks en de -formulering met de daarbij behorende coëfficiënten waarmee de windsnelheid vertaald wordt naar een kracht aan het wateroppervlak. Hierbij is, conform het Rijn-Maasmondingmodel, gebruik gemaakt van station Rotterdam Zestienhoven voor de windforcering.

Vervolgens is een gevoeligheidsonderzoek uitgevoerd waarbij windgegevens zijn gebruikt, welke zijn ontleend aan gemeten windtijdreeksen van de stations Stavenisse en Tholen. Daarna zijn de berekeningen herhaald waarbij de ruwheden in het gebied zijn aangepast van alluviale ruwheid naar Manning ruwheden. Hierbij is de Manning waarde zoals gebruikt in het IJsselmeer aangehouden.

Als laatste is een testberekening uitgevoerd voor extreme (WTI) omstandigheden, waarbij het Volkerak-Zoommeer model is gekoppeld aan het Rijn-Maasmonding model en deze fungeert als waterbergende maatregel voor de Rijn-Maasmonding. Aangezien de maatregel "Waterberging Volkerak-Zoommeer" in de praktijk nog nooit is toegepast zijn geen metingen van deze situatie beschikbaar. De beoordeling van deze testberekening is dan ook kwalitatief.

3 Modelopzet

3.1 Algemeen

Het Volkerak-Zoommeer model is een onderdeel, een deeldomein, van het gehele Zuidwestelijke Delta model. De rekenroosters van dit gehele model worden beschreven in (Plieger, 2014). De (deel)roosters van dit model zijn zo opgezet dat de verschillende watersystemen van de Zuidwestelijke Delta afzonderlijk kunnen worden doorgerekend. Voor de validatie van het Volkerak-Zoommeer is dit (deel)domein “stand-alone” (d.i. niet gekoppeld met andere domeinen) doorgerekend. Voor de testberekeningen onder extreme omstandigheden is dit deeldomein gekoppeld met het RMM model.

Om op een consistente en reproduceerbare manier WAQUA schematisaties te verkrijgen, wordt er gebruikt gemaakt van een Baseline database. Hierin wordt de geometrie en inrichting van het Volkerak-Zoommeer gebied beschreven. Deze geometrie en inrichting wordt binnen Baseline vertaald naar een WAQUA-model.

Wanneer het rekenrooster relatief grof is ten opzichte van de geometrische variabiliteit kan het geautomatiseerd aanmaken van een WAQUA-schematisatie in ongewenste diepten/overlaten resulteren. Voor het Volkerak-Zoommeer geldt dit vooral in de directe nabijheid van kunstwerken. Voor de validatie van het Volkerak-Zoommeer model is besloten dit handmatig, direct in de WAQUA invoer, te herstellen. Deze herstelactie is wel zodanig gedaan en beschreven, zodat deze in een later stadium als Baseline maatregel kan worden geïmplementeerd.

3.2 Programmatuur en hardware

Bij de verwerking en de conversie van de geometrie en inrichting gegevens van het gebied is gebruik gemaakt van Baseline versie 5.2.2.870. De WAQUA berekeningen zijn uitgevoerd met Simona 2013 (64 bits, MPICH2, double precision).

De software is gedraaid op één node van het H5 Linux-cluster van Deltares. Elke node bevat één Intel quad-core i7-2600 processor, dat wil zeggen 4 cores per node met 3.4 GHz per core. Verder is gebruik gemaakt van “hyperthreading”, een technologie waarbij één enkele processorkern meerder logische processors bevat die de cache en externe interfaces delen. Hierbij zijn 4 partities met 4 threads gedraaid op 4 cores.

3.3 Geometrie en inrichting (Baseline)

Het uitgangspunt voor alle modellen is de Baseline schematisatie van de Zuidwestelijke Delta van het jaar 2007. Deze schematisatie is door CSO opgebouwd (Hoefsloot, 2014) en heeft in eerste instantie de naamgeving *baseline-zwd-j07_5-v1* gekregen.

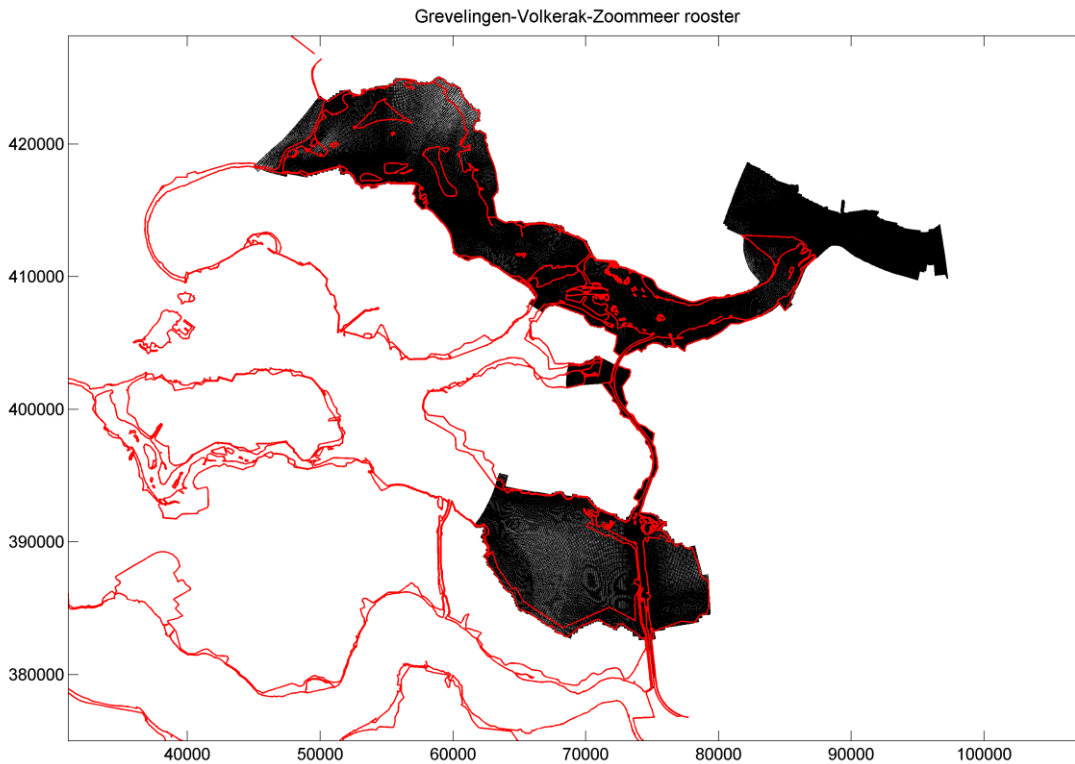
De Baseline schematisatie j07_5-v1 is als basis gebruikt om te komen tot een Baseline schematisatie van het jaar 2012 (*baseline-zwd-j12_5-v8hwvl-v1*). Om van de 2007 schematisatie naar de 2012 schematisatie te komen, zijn met behulp van Baseline-maatregelen wijzigingen doorgevoerd. In Bijlage A wordt de gebruikte maatregellijst en een korte omschrijving van elke maatregel (en de eventuele handmatige correcties die hierin zijn gedaan) gegeven.

Merk op dat voor het droge deel van het modelgebied de geometrie van beide jaren identiek is. Nagenoeg dit gehele gebied is opgebouwd vanuit het Digitaal Topografisch Bestand (DTB); alleen het Markiezaatsmeer en enkele kleinere gebieden zijn opgebouwd vanuit Top10NL en AHN2². De bathymetrie van de Baseline databases is voor nagenoeg het gehele modelgebied verschillend tussen 2007 en 2012. De diepte van het Markiezaatsmeer is in de Baseline schematisaties gesteld op een constante waarde van NAP-1,0 m.

3.4 Modelopzet in WAQUA

3.4.1 Rooster

Het rooster (*grid-gn_vo_zo60m_5-v1*) van het Grevelingen-Volkerak-Zoommeer wordt getoond in Figuur 3.1³, Figuur 3.2 en Figuur 3.3. Dit rooster heeft een resolutie van ongeveer 50 m in het midden van het Volkerak en een resolutie van 100 m in het Zoommeer. Voor het Schelde Rijnkanaal geldt een resolutie van ongeveer 50 m. Het rooster sluit aan op de roosters van de Rijn-Maasmonding en Oosterschelde.



Figuur 3.1 Rekenrooster Grevelingen-Volkerak-Zoommeer.

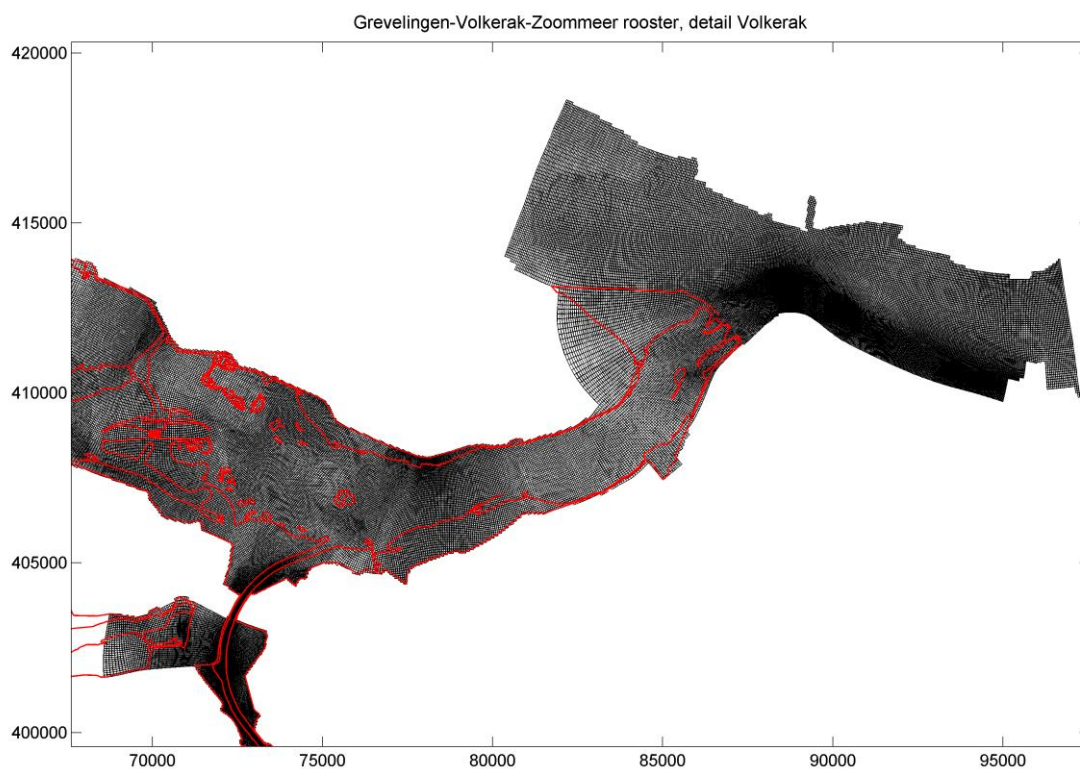
² Top10NL en AHN2 zijn resp. het digitale topografische basisbestand van het Kadaster en het Actueel Hoogtebestand Nederland.

³ Het rooster omvat ook het Grevelingen en een stukje Oosterschelde. In de WAQUA schematisatie is geen verbinding tussen het Grevelingen en het Volkerak en geen verbinding tussen het Zoommeer en de Oosterschelde. Windopzet en afwaaiing in het Grevelingen gebied is wel berekend, maar daar wordt in het kader van de huidige validatie niet naar gekeken.

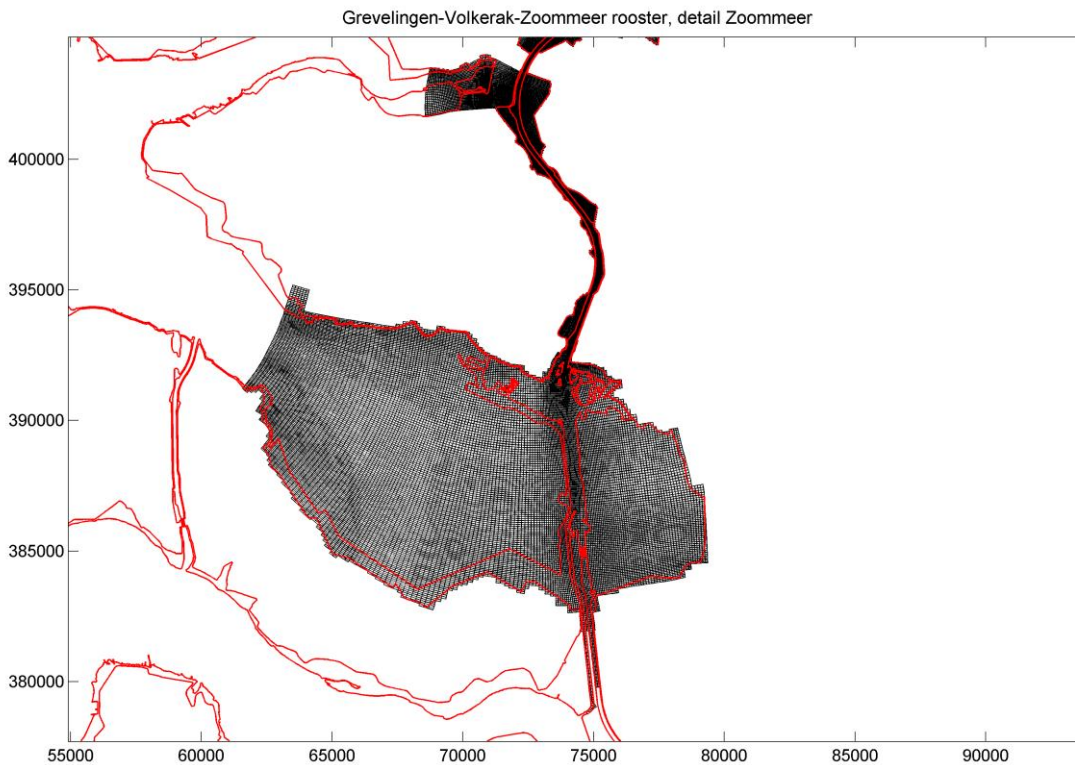
3.4.2 Randvoorwaarden

Er worden verschillende randvoorwaarden opgelegd aan het model. Aan het wateroppervlak wordt de wind als forcering opgelegd. De methode waarmee dit gebeurt, wordt toegelicht in Paragraaf 4.1.

Daarnaast vinden er op verschillende locaties in het modelgebied lozingen en onttrekkingen plaats. Voor de validatie van het model zijn perioden gekozen waarin de waterstanden in het Volkerak-Zoommeer vooral bepaald worden door wind en niet door het peilbeheer. De aan- en afvoeren van water zijn dan ook op nul gesteld voor de validatie.



Figuur 3.2 Rekenrooster Grevelingen-Volkerak-Zoommeer; Detail Volkerak.



Figuur 3.3 Rekenrooster Grevelingen-Volkerak-Zoommeer; detail Zoommeer.

3.4.3 Overige modelparameters

Bodemruwheid

De ruwheidscode zoals gegenereerd door Baseline correspondeert met een alluviale ruwheidsvoorspeller met de standaardwaarden voor de coëfficiënten “A/alpha” en “B/beta” (respectievelijk 2.5 en 0.1). Voor het Volkerak-Zoommeer lijkt een ruwheidsformulering zoals gebruikt voor grote meren als IJsselmeer en Markermeer een logischer keuze. Vandaar dat naast berekeningen met een alluviale ruwheidsvoorspeller, ook berekeningen met ruwheid volgens de “Manning” formulering zijn uitgevoerd. De waarde van de Manning coëfficiënt is gelijk gekozen aan de waarde die gebruikt is in het IJsselmeer, $0.022 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$.

Windforcering

schuifspanningscoëfficiënt

De windschuifspanningscoëfficiënt is een functie van de windsnelheid u_{10} op 10 meter hoogte boven het oppervlak en deze zorgt voor een vertaling van de wind naar een schuifspanning op het wateroppervlak. In WAQUA kan deze functie onder andere benaderd worden met een trapvormig profiel. De functie gaat uit van de algemene lineaire vorm:

$$Cd = (\alpha + \beta u_{10}) 10^{-3}$$

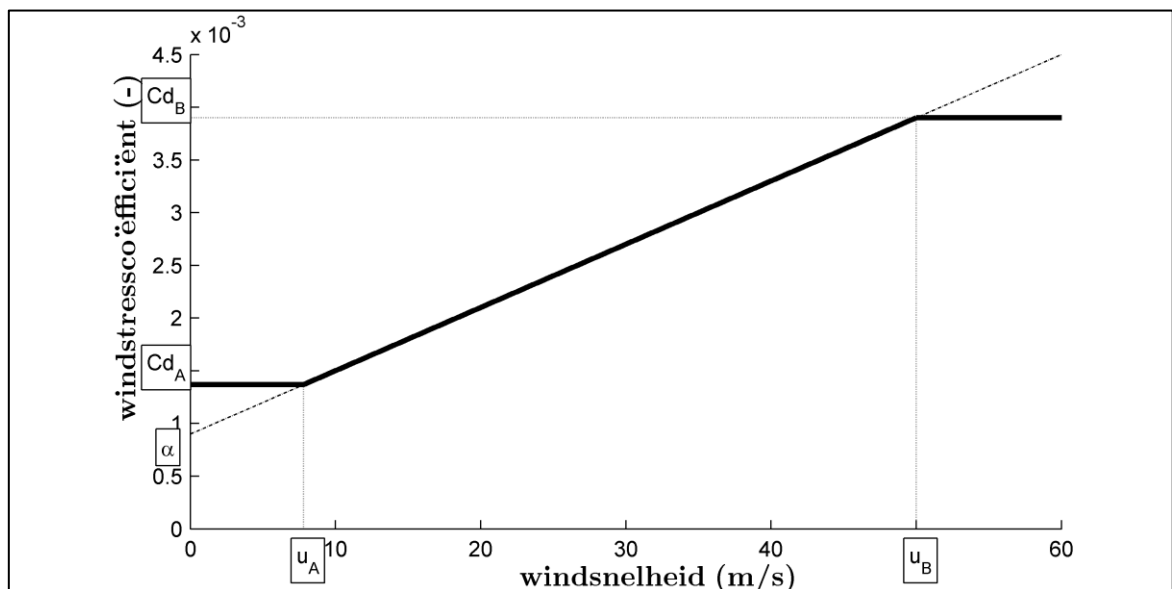
Hierbij is Cd de (dimensieloze) windschuifspanningscoëfficiënt, α een empirisch bepaalde dimensieloze constante, β een empirisch bepaalde constante (sm^{-1}) en u_{10} de windsnelheid op 10 meter hoogte (ms^{-1}). Conform het gebruik van de windschuifspanningscoëfficiënt in het Rijn-Maasmondingmodel wordt uitgegaan van $\alpha = 0,9$ en $\beta = 0,06 \text{ sm}^{-1}$.

Voor windsnelheden lager dan een bepaalde grenswaarde u_A wordt een constante windschuifspanningscoëfficiënt Cd_A voorgeschreven. Windsnelheden groter dan u_B krijgen als windschuifspanningscoëfficiënt de grenswaarde Cd_B opgelegd. Gelijk aan de instellingen voor het Rijn-Maasmondingmodel zijn de waarden van deze parameters gesteld op:

$$u_A = 7.0 \text{ m/s, met } Cd_A = 0.0014$$

$$u_B = 50.0 \text{ m/s, met } Cd_B = 0.0039$$

Dit levert de functie voor de windschuifspanningscoëfficiënt, zoals weergegeven in Figuur 3.4.



Figuur 3.4 Windschuifspanningscoëfficiënt als functie van de 10 meter windsnelheid. De gestippelde lijn geeft de algemene lineaire functie; de doorgetrokken lijn de trapvormige functie die in WAQUA gebruikt wordt.

Windtjeddreks

Als forcering in het WAQUA model wordt gebruik gemaakt van een ruimtelijk uniform windveld welke gebaseerd is op de gemeten wind in één van de drie windstations in of nabij het Volkerak-Zoommeer: Rotterdam Zestienhoven (locatie is identiek aan het Rijn-Maasmondingmodel), Stavenisse en Tholen.

Een nadeel van het gebruik van deze ruimtelijk *uniforme* windvelden is dat minder rekening wordt gehouden met het feit dat een lokaal gemeten wind niet voor alle locaties in het gebied even representatief zou kunnen zijn. Een ruimtelijk variërend windveld kan mogelijk betere resultaten geven, vooral als er in het gebied veel overgangen zijn tussen land en open water. Deze zijn echter niet altijd voor historische periodes eenvoudig beschikbaar, waardoor besloten is deze niet te gebruiken.

Rekentijdstap

De rekestijdstap heeft invloed op de nauwkeurigheid van het model. Met het Courantgetal C kan gecontroleerd worden of er een voldoende kleine tijdstap is gebruikt. Een richtlijn hiervoor is $C < 10$. Het Courantgetal wordt voor stroming in ondiep water gegeven door:

$$C = \frac{\sqrt{gH\Delta t}}{\Delta x}$$

Hierbij is g de zwaartekrachtsversnelling (ms^{-2}), H de waterdiepte (m), Δt de tijdstap (s) en Δx de breedte van een roostercel (m).

Het Volkerak/Zoommeer moet gekoppeld met RMM doorgerekend kunnen worden (maatregel waterbering Volkerak, zie hoofdstuk 6). Dit betekent dat de rekentijdstap in het RMM domein identiek moet zijn aan de rekentijdstap in het Volkerak/Zoommeer domein. Aangezien de rekentijdstap van het RMM domein 15 s is, is ook voor het Volkerak Zoommeer domein een rekentijdstap van 15 s gekozen. Dit impliceert Courant getallen van ongeveer 10 in het Volkerak en ongeveer 20 in het Schelde Rijn kanaal. De relatief hoge waarde in het Schelde Rijn kanaal is een gevolg van de kleine roostergrootte in dwarsrichting.

3.4.4 Initiële conditie

De validatieberekeningen zoals beschreven in hoofdstuk 0 zijn gestart met een gemiddeld waterniveau op NAP+0 m.

3.4.5 Overige modelinstellingen

Een overzicht van de belangrijkste modelparameters wordt gegeven in Tabel 3.1. Veel van de instellingen zijn identiek aan de waarden gebruikt in het RMM model omdat het gekoppeld doorrekenen van Volkerak Zoommeer met RMM dit vereist.

Tabel 3.1 Overzicht modelparameters.

| Parameter | Waarde | Beschrijving |
|--------------------|--------------------------------|--|
| EDDYviscositycoeff | $1,0 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ | Horizontale 'eddy viscosity' / turbulente viscositeit |
| GRAVITY | $9,8130 \text{ ms}^{-2}$ | Zwaartekrachtsversnelling |
| WATDENSITY | 1000,0 | Dichtheid van water |
| AIRDENSITY | $1,2050 \text{ kgm}^{-3}$ | Dichtheid van lucht |
| INTERCON | 20 | Maximaal aantal iteraties voor de continuïteitsvergelijking, als RMM |
| INTERMOM | 8 | Maximaal aantal iteraties voor de impulsbalans vergelijking, Als RMM |
| ITERACCURwl | 0,0005 | Convergentiecriteria Waterstanden als RMM |
| ITERACCURvel | 0,001 snelheden | Convergentiecriteria Snelheden als RMM |
| THETAC | 0,6 | Weegfactor energieverlies overlaat oude/nieuwe tijdstap |

Hoewel het Volkerak Zoommeer momenteel een zoet binnenmeer is, vereist het gekoppeld doorrekenen met het RMM dat ook in het Volkerak Zoommeer het transport van saliniteit wordt gemodelleerd als proces. Hoewel de saliniteit in werkelijkheid varieert over de seizoenen, is een initiële saliniteit van 0.542 psu (300 mg/l, ongeveer de jaargemiddelde saliniteit/chloriniteit in het Volkerak Zoommeer) verondersteld. Voor het dispersieve transport is een horizontale dispersie coëfficiënt van $50 \text{ m}^2/\text{s}$ aangenomen.

3.5 Rekening

De rekening van het hierboven beschreven WAQUA model bedraagt, uitgaande van de in Par. 3.2 beschreven hardware, 5 minuten per doorgerekende dag.

3.6 Verschillen tussen nieuwe en vorige model

Er is een aantal verschillen tussen het nieuwe en het vorige model (*simona-zoommeer-grof/fijn-1998-v1*). Ten eerste is er voor het nieuwe model een volledig nieuw rooster ontwikkeld. Dit rooster sluit aan op dat van de Rijn-Maasmonding en de Oosterschelde. Aan het rooster is tevens de Grevelingen gekoppeld. Ten tweede wordt er voor het nieuwe model een recentere gebiedsschematisatie gebruikt, afkomstig uit 2012.

Daarnaast zitten er in het nieuwe model vele overlaten welke bij de projectie vanuit Baseline geïntroduceerd zijn en die niet in het vorige model aanwezig waren. Ook zijn (onder andere door de conversie vanuit Baseline naar WAQUA met een ander rooster) de locaties van de meetstations in het nieuwe model iets anders gelegen dan in het vorige model. De locaties van de stations in het nieuwe model komen beter overeen met de werkelijke ligging van de meetstations.

4 Stormperiodes voor validatie

4.1 Selectie stormperiodes

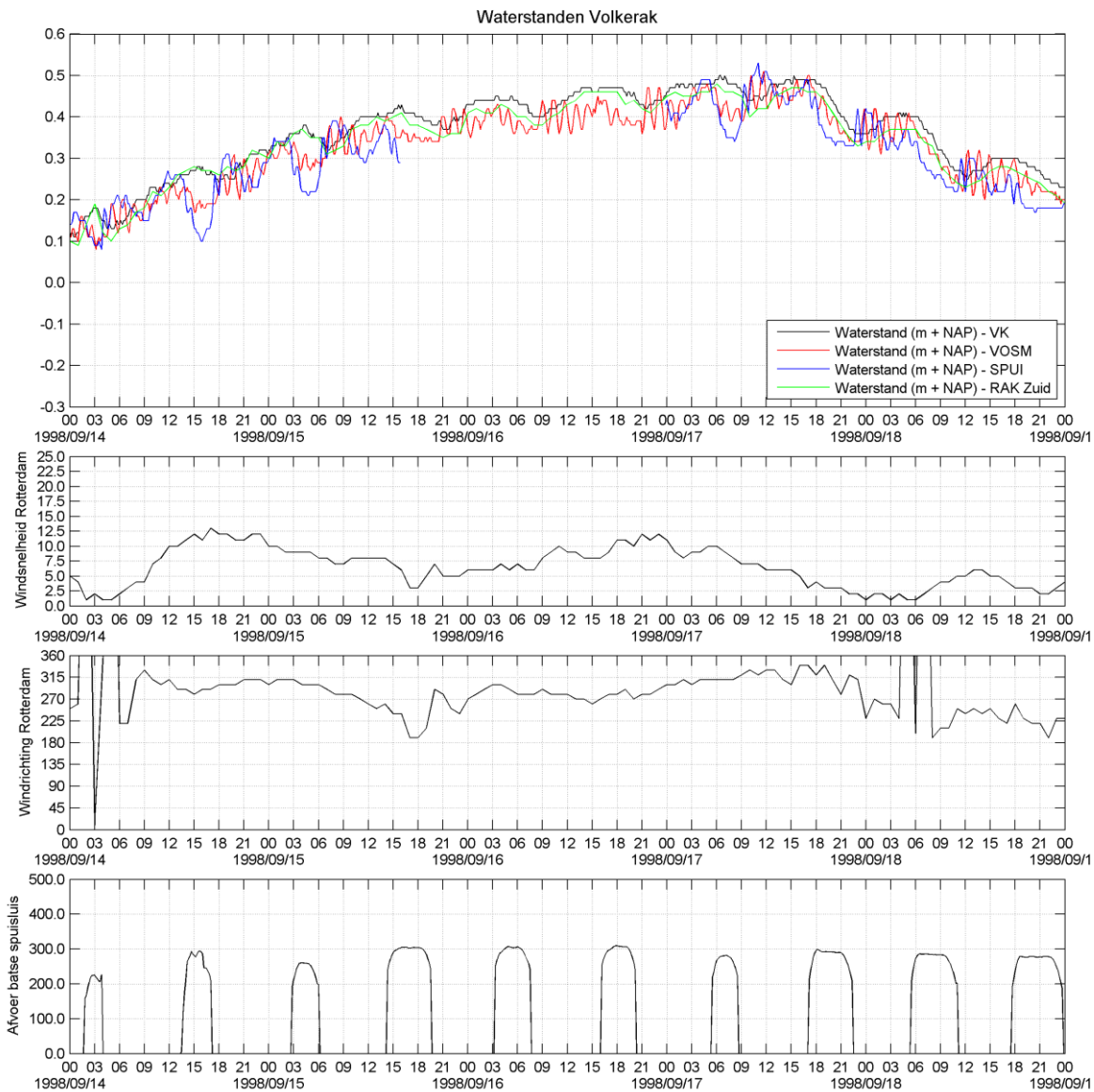
Aanvankelijk werd gedacht aan de validatie van vijf verschillende periodes met stormen, namelijk periodes in 1998, 2002, 2005, 2007 en 2013. Figuur 4.1 t/m Figuur 4.5 tonen de waterstanden in het Volkerak-Zoommeer, de windsnelheid en –richting te Rotterdam en spuidebiet Bathse spuisluis tijdens deze stormen. Uit deze figuren volgt dat de invloed van de wind op de waterstand niet bij alle stormen prominent zichtbaar is in de metingen van de waterstanden. Daarom is besloten om het model voor het Volkerak-Zoommeer alleen te valideren voor periodes in 2002 en 2013. Deze stormperiodes zijn geselecteerd op basis van het criterium dat peilfluctuaties ten gevolge van het peilbeheer beperkt zijn (spuidebiet kleiner dan circa 60 m³/s) én dat er een duidelijk signaal waarneembaar is in de waterstand ten gevolge van op- en afwaaiing door wind. In Tabel 4.1 wordt een overzicht gegeven van de begin- en eindtijden van de stormperiodes en een omschrijving van de daarbij behorende condities.

Tabel 4.1 Overzicht van de twee stormperiodes die gebruikt worden voor validatie.

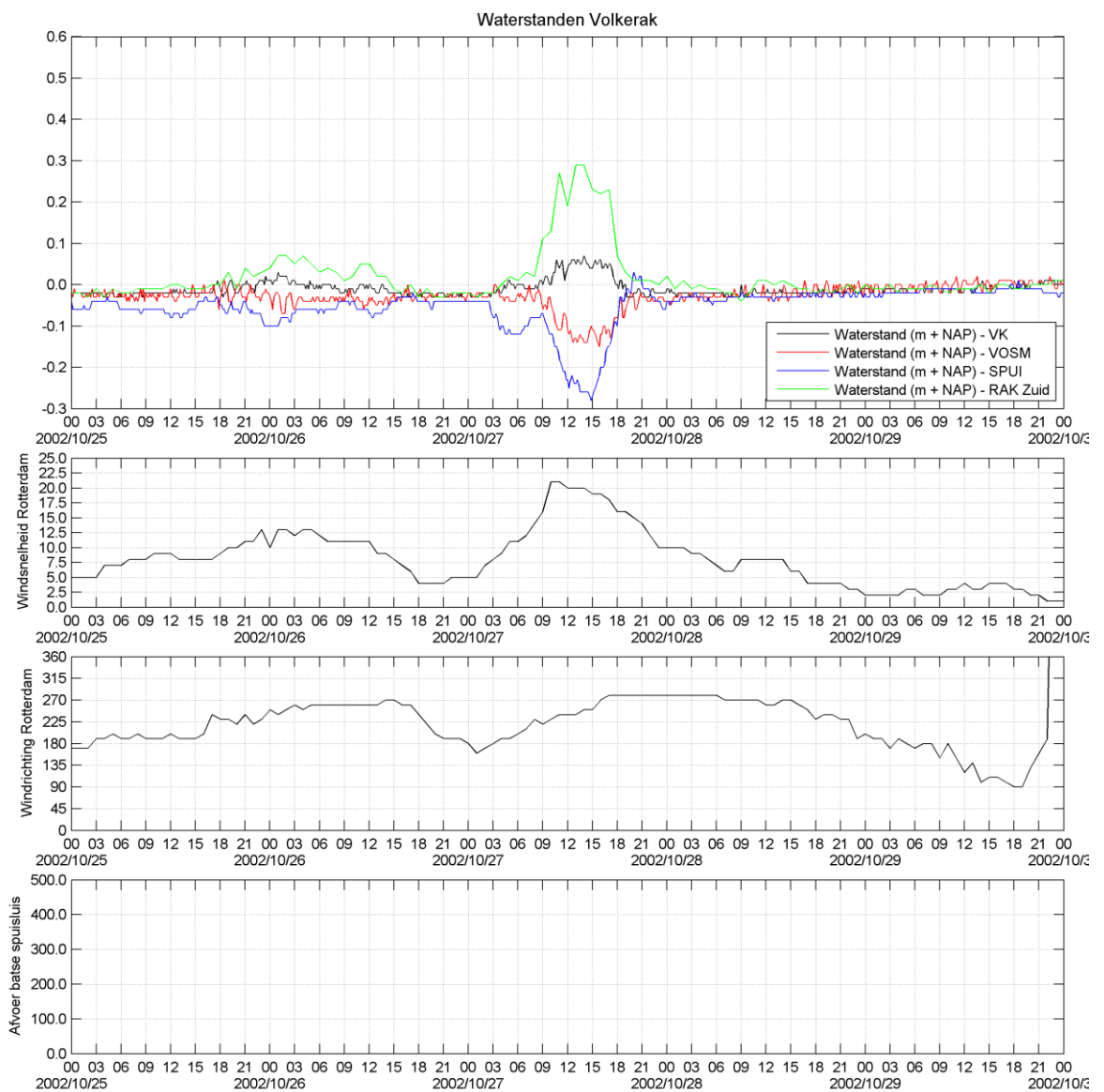
| Validatie periode | Conditie | Begin | Eind |
|-------------------|--|------------------|------------------|
| Oktober 2002 | Zware (zuid-)westerstorm Classificatie: lage stormvloed ⁴ Bft. 10-11. | 25-10-2002 00:00 | 30-10-2002 00:00 |
| December 2013 | Zware noordwesterstorm Classificatie: middelbare stormvloed Bft. 10. | 04-12-2013 00:00 | 07-12-2013 00:00 |

In Paragraaf 4.2 en Paragraaf 4.3 wordt een beschrijving gegeven van het verloop van de stormen zoals genoemd in Tabel 4.1.

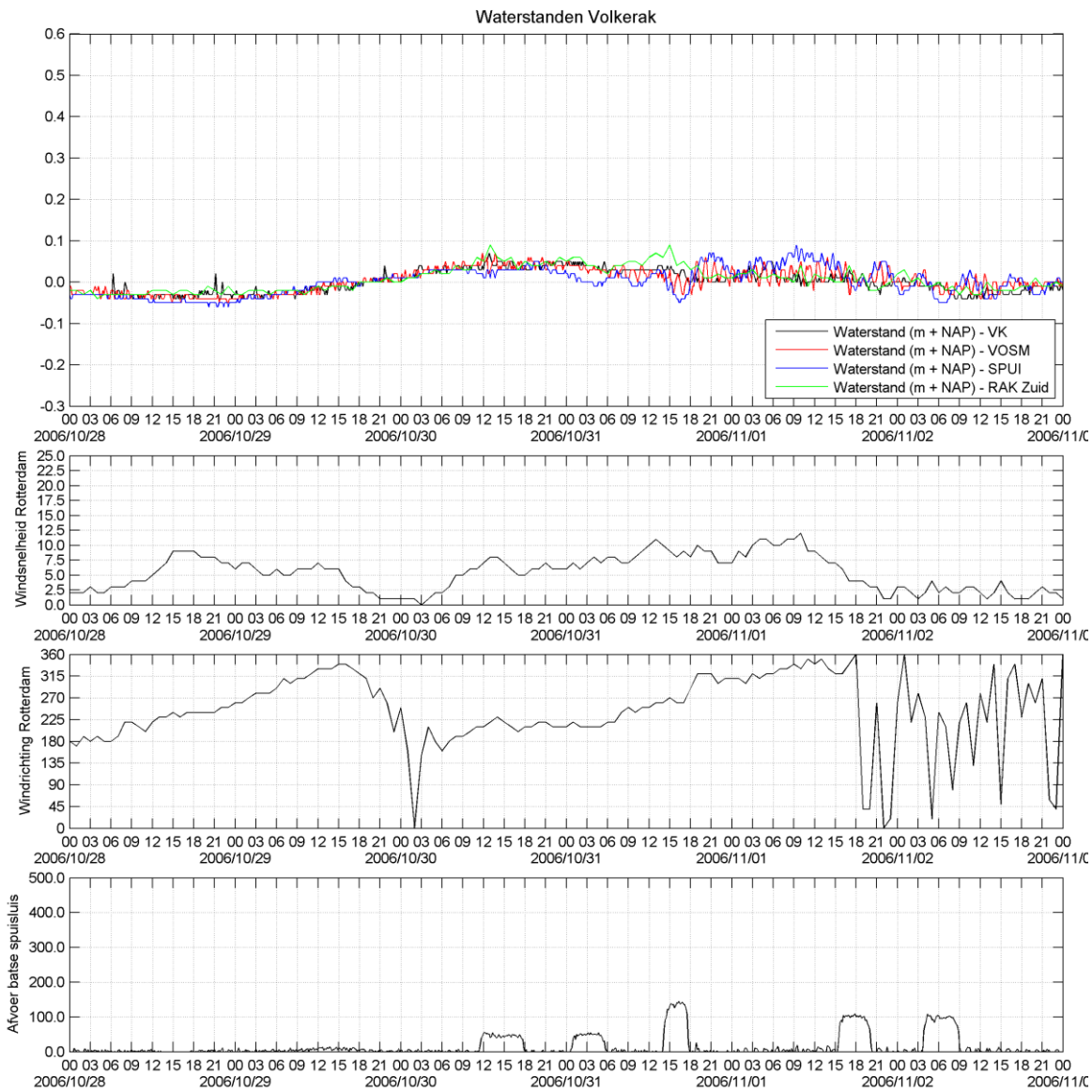
⁴ Deze classificatie geldt voor Den Helder. Voor Hoek van Holland en een aantal andere basisstations is de classificatie 'hoge vloed'. Voor Vlissingen is er geen classificatie (Stormvloedwaarschuwingsdienst, 2003).



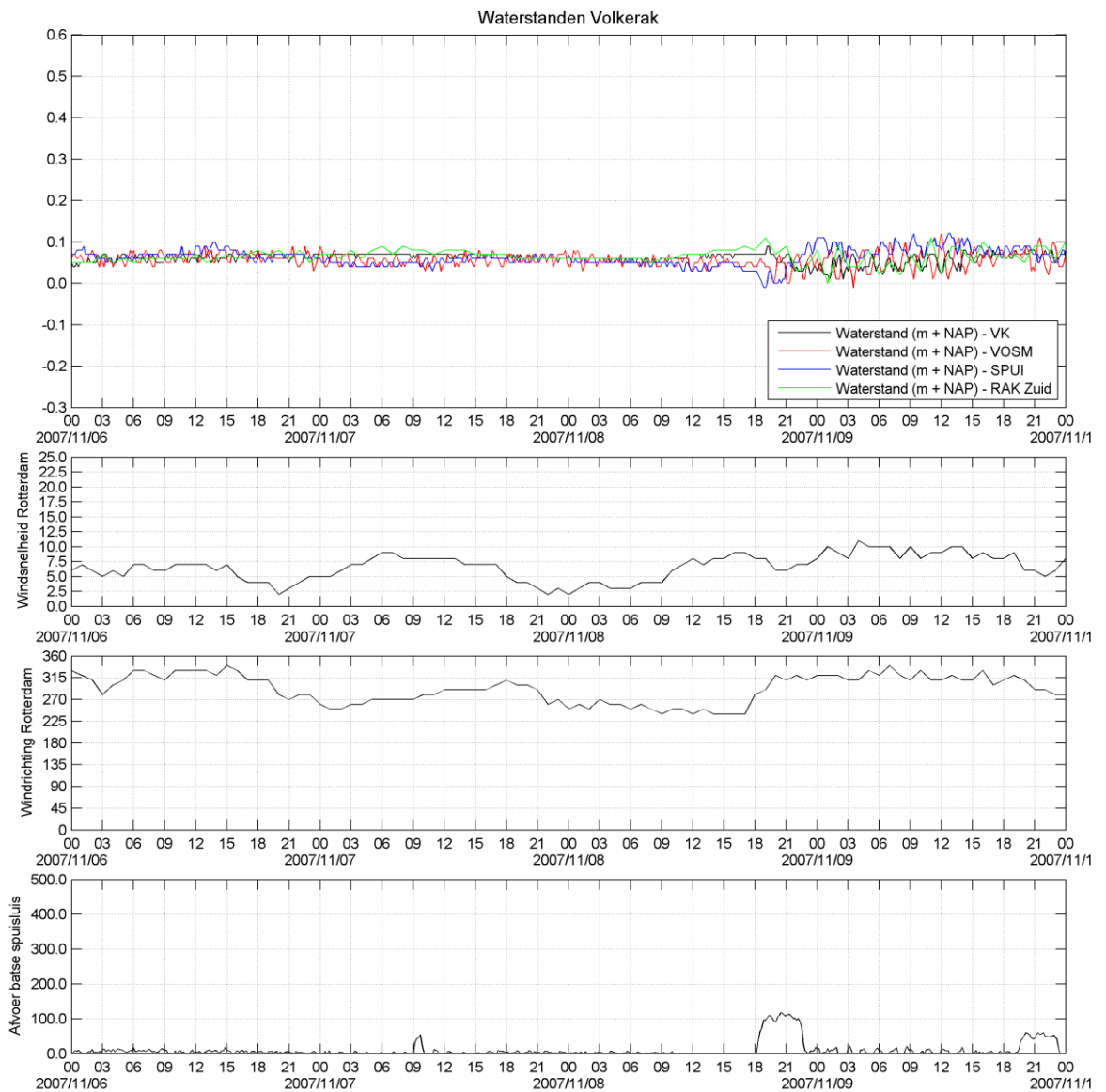
Figuur 4.1 Waterstanden Volkerak-Zoommeer, windsnelheid en –richting te Rotterdam en spuidebiet Bathse spuisluis tijdens de september 1998 storm.



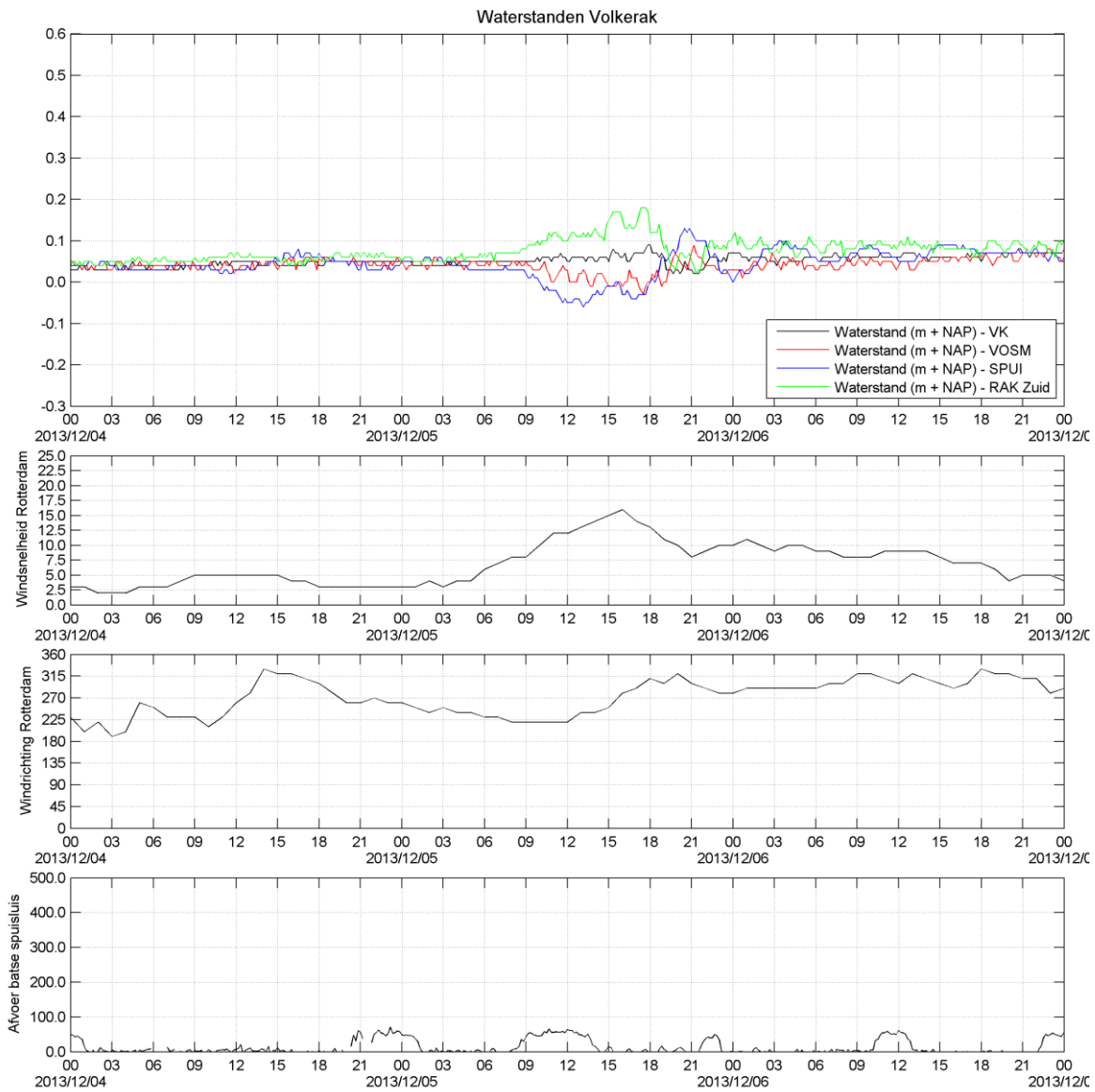
Figuur 4.2 Waterstanden Volkerak-Zoommeer, windsnelheid en –richting te Rotterdam en spuidebiet Bathse spuiseiluis tijdens de oktober 2002 storm.



Figuur 4.3 Waterstanden Volkerak-Zoommeer, windsnelheid en –richting te Rotterdam en spuidebiet Bathse spuisluis tijdens de oktober/november 2006 storm.



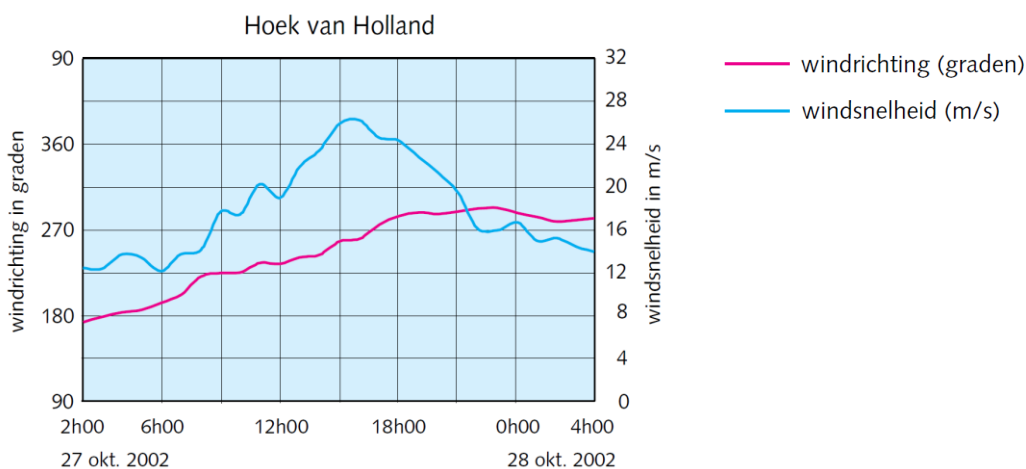
Figuur 4.4 Waterstanden Volkerak-Zoommeer, windsnelheid en –richting te Rotterdam en spuidebiet Bathse spuiseiluis tijdens de november 2007 storm.



Figuur 4.5 Waterstanden Volkerak-Zoommeer, windsnelheid en –richting te Rotterdam en spuidebiet Bathse spuisluis tijdens de december 2013 storm.

4.2 Oktober 2002 Storm

Op 27 oktober 2002 wordt tussen 10 uur 's morgens en 21 uur 's avonds in de westelijke provincies een windkracht van 10-11 Bft. (zeer zware storm) waargenomen. In Zeeland worden zelfs windstoten tot maximaal 41 m/s (148 km/u) waargenomen. De wind ruimt hierbij van Zuidwest naar Westnoordwest, zie Figuur 4.6 voor de windsnelheid en -richting te Hoek van Holland. In de loop van de avond neemt de wind af tot 7 Bft. aan de westkust. De hoogste uurgemiddelde windsnelheid op 27 oktober 2002 ruimtelijk verdeeld over Nederland is weergegeven in Figuur 4.7. De getijfase tijdens deze storm was die van een gemiddeld tij, waardoor de opgetreden waterstanden niet uitzonderlijk hoog waren.

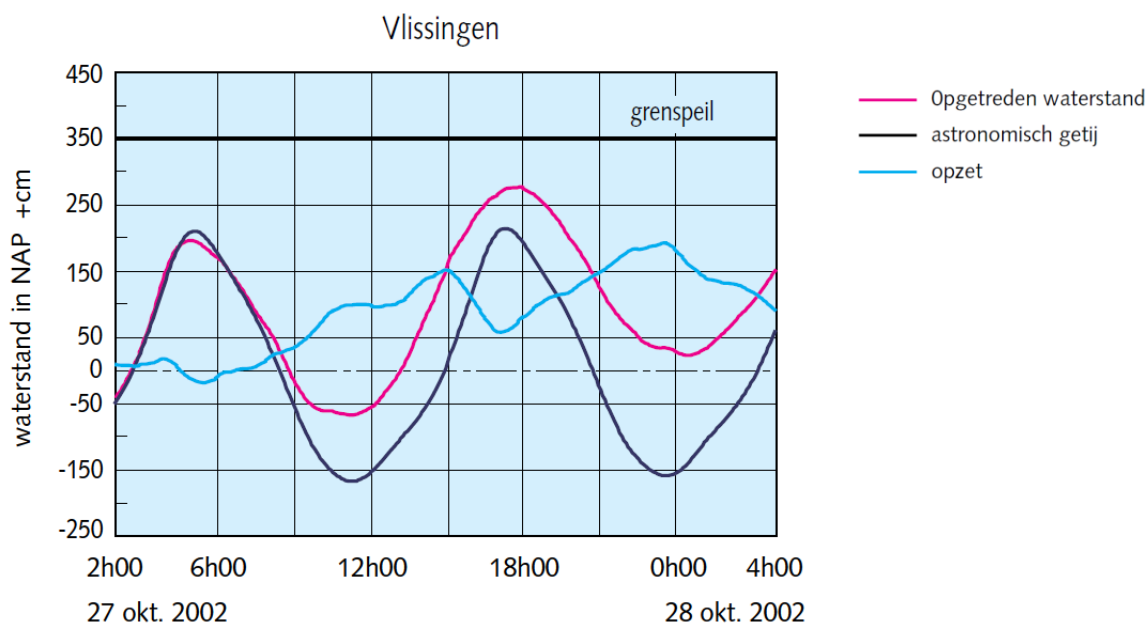


Figuur 4.6 Windverloop bij Hoek van Holland op 27 oktober 2002 (Stormvloedwaarschuwingsdienst/SVSD, 2003).



Figuur 4.7 Hoogste uurgemiddelde windsnelheid op 27 oktober 2002 (Stormvloedwaarschuwingsdienst/SVSD, 2003).

Tijdens de storm is de scheepvaart door de Maeslantkering en de Hartelkering tijdelijk gestremd geweest en zijn de Oosterscheldekering en de Stormvloedkering in de Hollandsche IJssel gesloten. De waterstand bij Vlissingen bereikte om circa 18:00 uur haar hoogste stand met een waarde van NAP+278 cm (Stormvloedwaarschuwingsdienst, 2003). De maximale rechte opzet (d.i. het grootste verschil tussen de opgetreden en astronomische waterstand op hetzelfde tijdstip) bedroeg 193 cm, zie Figuur 4.8. Deze viel praktisch gelijk met laagwater.



Figuur 4.8 Waterstandsverloop bij Vlissingen op 27 oktober 2002 (Stormvloedwaarschuwingsdienst/SVSD, 2003).

4.3 December 2013

Tijdens de 'Sinterklaasstorm' van 5 december 2013 bereikt de wind een kracht van 10 Bft. (zware storm) afnemend tot Bft. 7 aan de westkust tijdens de daaropvolgende middag. Tijdens de storm werden de Oosterscheldekering en de Stormvloedkering in de Hollandsche IJssel gesloten. De grootste scheve waterstandsopzet (het verschil tussen de opgetreden hoogwaterstand en het astronomische hoogwater) te Vlissingen bedroeg 152 cm. Deze opzet komt gemiddeld één keer per 7 jaar voor (Watermanagementcentrum Nederland). Door de combinatie van hoog springtij en stormopzet werden waterstanden met recordhoogten bereikt. De hoogwaterstand die bij Vlissingen optrad was de hoogste sinds 1 februari 1953; deze waterstand komt gemiddeld eens in de 20 jaar voor. Bij Hoek van Holland trad sinds 1 februari 1953 alleen op 9 november 2007 een hogere waterstand op. Volgens de classificatie van stormvloed en valt deze stormvloed in de categorie 'middelbare stormvloed'.

4.4 Beschikbare meetgegevens

Voor de validatie van het model en voor het opstellen van de randvoorwaarden zijn meetgegevens nodig. Er wordt in deze paragraaf een overzicht gegeven van de beschikbare metingen, de meetfrequentie van deze gegevens, de bron van de gegevens en de kwaliteit ervan.

Waterstanden

In het Volkerak-Zoommeer gebied worden waterstandsmetingen uitgevoerd in ondermeer zes verschillende locaties: Rak-zuid, Dintelsas en Galathea in het Volkerak, Vossemeer in de Eendracht en Bathse spuikanaal-inloop en Kreekrak-noord bij de Kreekraksluizen. De meetlocaties Dintelsas en Kreekrak-noord worden hierna niet verder beschouwd, omdat zij in de directe nabijheid van de overige meetlocaties liggen. Tabel 4.2 geeft een overzicht van de gebruikte metingen voor elk van deze stations per stormperiode. De kwaliteit van de gegevens wordt in de tabel met een kleur aangegeven.

Tabel 4.2 Overzicht van meetfrequentie, databronnen en kwaliteit (groen=goed, oranje=ontbrekende gegevens, rood=onbetrouwbaar) van gemeten waterstanden in het Volkerak-Zoommeer gebied.

| | Oktober 2002 | December 2013 |
|-------------------------|--------------|---------------|
| Volkerak Galathea | 10 min * | 10 min * |
| Rak-zuid | 10 min * | 10 min * |
| Vossemeer | 10 min ** | 10 min ** |
| Bathse Spuisluis inloop | 10 min * | 10 min * |

* Meetgegevens verkregen van Waterbase (Rijkswaterstaat, 2013)

** Meetgegevens ontvangen van Rijkswaterstaat Centrale Informatie Voorziening (RWS CIV)

Wind

Voor het opstellen van de randvoorwaarden voor de wind is gekozen voor gemeten windsnelheden en -richtingen in vier verschillende locaties. Tabel 4.3 geeft een overzicht van de windmetingen die in of nabij het Volkerak-Zoommeer worden uitgevoerd door het KNMI.

Tabel 4.3 Overzicht van meetfrequentie, databronnen en kwaliteit (groen=goed, oranje=ontbrekende gegevens, rood=onbetrouwbaar) van gemeten wind in en nabij Volkerak-Zoommeer.

| | Oktober 2002 | December 2013 |
|------------------------------|--------------|---------------|
| Stavenisse (324) | 10 min * | 10 min * |
| Tholen (331) | 10 min * | 10 min * |
| Rotterdam Zestienhoven (343) | 10 min * | 10 min * |
| Rotterdam Zestienhoven (344) | 10 min * | 10 min * |

* Meetgegevens opgevraagd bij KNMI website Climate en Services

Debiten

De validatieberekeningen zijn uitgevoerd zonder toe- en afvoer van water van de rivieren Dintel, Mark en Vliet en via de kunstwerken Krammer-, Kreekrak- en Volkeraksluizen en Bathse spuisluis. De gemiddelde waterstand in het Volkerak-Zoommeer is tijdens de simulaties dus vrijwel constant verondersteld.

Neerslag

De invloed van neerslag is tijdens de validatie-simulaties en testberekeningen niet meegenomen.

5 Resultaten validatie

5.1 Gevolgde methodiek

De twee geselecteerde stormperiodes, oktober 2002 en december 2013, zijn eerst gesimuleerd met als forcering een ruimtelijk uniform windveld gebaseerd op de gemeten windsnelheden en –richtingen in het station Rotterdam Zestienhoven met zowel een alluviale ruwheid als een ruwheid volgens een Manning formulering. Aanvullend zijn voor elk van beide stormperiodes nog simulaties gedaan, waarbij de ruimtelijk uniforme windforcering is ontleend aan windmetingen op de stations Stavenisse en Tholen. Met deze simulaties is de gevoeligheid van de modelresultaten voor de gebruikte windforcering en de gebruikte ruwheidsformulering vastgesteld.

5.2 Beoordeling modelprestatie

De modelprestatie wordt beoordeeld voor verschillende deelperioden binnen de storm en met meerdere kentallen.

5.2.1 Perioden beoordeling

Voor de validatie wordt gekeken naar de volledige stormperiode en naar een periode rondom het optreden van de piekwaterstand. De volledige stormperiode betreft de gehele simulatieduur zoals vermeld in *Tabel 4.1*. Voor de storm in oktober 2002 is dit 5 dagen en voor de storm in december 2013 is dit 3 dagen.

De piekwaterstand is een momentane waarde; dit kan een maximale waarde zijn bij opwaaiing en een minimale waarde bij afwaaiing. De waargenomen en berekende piekwaterstand worden afzonderlijke bepaald; zij kunnen dus op verschillende tijdstippen optreden. Op deze wijze wordt voorkomen dat, door een kleine verschuiving van het moment van optreden van de maximale waterstand, tijdens de modelsimulatie een relatief groot verschil ontstaat met de waargenomen waterstand. De grootte van de tijdsverschuiving wordt ook beschouwd.

5.2.2 Kentallen beoordeling

De modelprestatie kan beoordeeld worden aan de hand van verschillende kentallen. Er wordt hier per kengetal een korte toelichting gegeven. Merk op dat de beoordeling van het model in deze rapportage altijd gebeurt door de uur of 10-minuut gemiddelde gesimuleerde waterstanden te vergelijken met de uur of 10-minuut gemiddelde gemeten waterstanden. Hieronder volgt een overzicht van de gehanteerde definities voor de kentallen:

Root mean square error (RMSE)

De *RMSE* wordt gegeven door:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\zeta_{sim,i} - \zeta_{obs,i})^2}$$

waarbij n het aantal metingen in een bepaalde periode, ζ_{sim} de gesimuleerde waterstand en ζ_{obs} de geobserveerde waterstand. Bij de *RMSE* wordt het kwadraat van het verschil genomen. Hierdoor wordt elke afwijking meegenomen en worden grotere afwijkingen bovendien zwaarder gewogen.

Gemiddeld verschil (GV)

Het gemiddeld verschil GV (of bias) wordt gegeven door:

$$GV = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\zeta_{sim,i} - \zeta_{obs,i})$$

waarbij n het aantal metingen in een bepaalde periode, ζ_{sim} de gesimuleerde waterstand en ζ_{obs} de geobserveerde waterstand. Bij het gemiddeld verschil kan een te hoog berekende waterstand een te laag berekende waterstand compenseren. In sommige gevallen kan dit gewenst zijn; het kan echter ook een vertekend beeld geven van de betrouwbaarheid van een model.

Standaarddeviatie (σ)

De standaarddeviatie σ wordt gegeven door:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n ((\zeta_{sim,i} - \zeta_{obs,i}) - GV)^2}$$

waarbij n het aantal metingen in een bepaald periode, ζ_{sim} de gesimuleerde waterstand, ζ_{obs} de geobserveerde waterstand en GV het gemiddeld verschil zoals hierboven gedefinieerd. De standaarddeviatie is een maat voor de spreiding van het verschil rondom het gemiddeld verschil.

Opmerking: de standaarddeviatie wordt ook vaak bepaald met een $\frac{1}{n}$ factor in plaats van $\frac{1}{n-1}$, zoals hier is gebruikt. De methode die hier gevolgd wordt (met een factor $\frac{1}{n-1}$) is de standaarddeviatie van de steekproef en is in dit geval correcter. De verschillen tussen beide standaarddeviaties zijn echter klein, met name als n groot is.

Verskil in piekwaterstand

Voor de toepassing van het model in extreme WTI omstandigheden gaat de interesse uit naar de extreme waterstanden ofwel maximale opwaaiing en maximale afwaaiing. Daarom wordt ook gekeken naar het verschil $\Delta\zeta_{max}$ (bij afwaaiing $\Delta\zeta_{min}$) tussen de maximale (bij afwaaiing minimale) gesimuleerde waterstand ζ_{sim} en de maximale (bij afwaaiing minimale) gemeten waterstand ζ_{obs} :

$$\Delta\zeta_{max} = \max(\zeta_{sim}) - \max(\zeta_{obs})$$

$$\Delta\zeta_{min} = \min(\zeta_{sim}) - \min(\zeta_{obs})$$

Het gaat hierbij dus om het verschil tussen twee waarden op verschillende tijdstippen. Het voordeel van deze parameter is dat deze niet gevoelig is voor eventuele faseverschuivingen tussen de gesimuleerde en gemeten waterstanden. Het nadeel is dat het verschil in piekwaterstand gevoelig is voor eventuele uitschieters, omdat er gekeken wordt naar momentane waarden.

Een positieve waarde voor $\Delta\zeta_{max}$ betekent een te grote berekende opwaaiing in het model; een negatieve waarde voor $\Delta\zeta_{min}$ betekent een te grote berekende afwaaiing in het model.

5.3 Modelprestatie

Eerst worden in Par. 5.3.1 en Par. 5.3.2 de resultaten per storm gepresenteerd aan de hand van twee figuren. In de figuren wordt de gemeten en berekende tijdreeksen getoond voor de waterstand in

- (i) stations die min of meer in noord-zuid richting liggen (Galathea, Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop) samen met de gemeten windsnelheid in noord-zuidrichting, en,
- (ii) stations die min of meer in west-oost richting liggen (Galathea, Rak-zuid) samen met de windsnelheid in west-oost richting. De windforcering is achtereenvolgens gebaseerd op de gemeten windsnelheid in Rotterdam, Stavenisse en Tholen.

In Par. 5.3.3 wordt de modelprestatie voor elk van de stormen besproken in de afzonderlijke stations aan de hand van de eerder gedefinieerde kentallen (RMSE, GV, σ , $\Delta\zeta_{max}$ en $\Delta\zeta_{min}$). Vervolgens wordt de totale modelprestatie afgeleid als gemiddelde over alle stations en stormen.

5.3.1 Resultaten validatie storm oktober 2002

Forcering met gemeten wind in Rotterdam

Figuur 5.1 toont de gemeten en berekende waterstand in de “noord-zuid” - georiënteerde stations Galathea, Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop en de noord-zuid component van de gemeten windsnelheid te Rotterdam. De gemeten windsnelheid te Rotterdam is bij de simulatie als forcering is gebruikt.

Figuur 5.2 betreft de resultaten in de “west-oost” - georiënteerde stations Galathea en Rak-zuid en de west-oost component van de windsnelheid. Tijdens de stormperiode varieert de windrichting tussen zuidwest (vanaf halverwege 25 oktober 2002) en west.

De figuren laten zien dat de berekende waterstandsfluctuaties niet of nauwelijks worden beïnvloed door de gebruikte ruwheidsformulering.

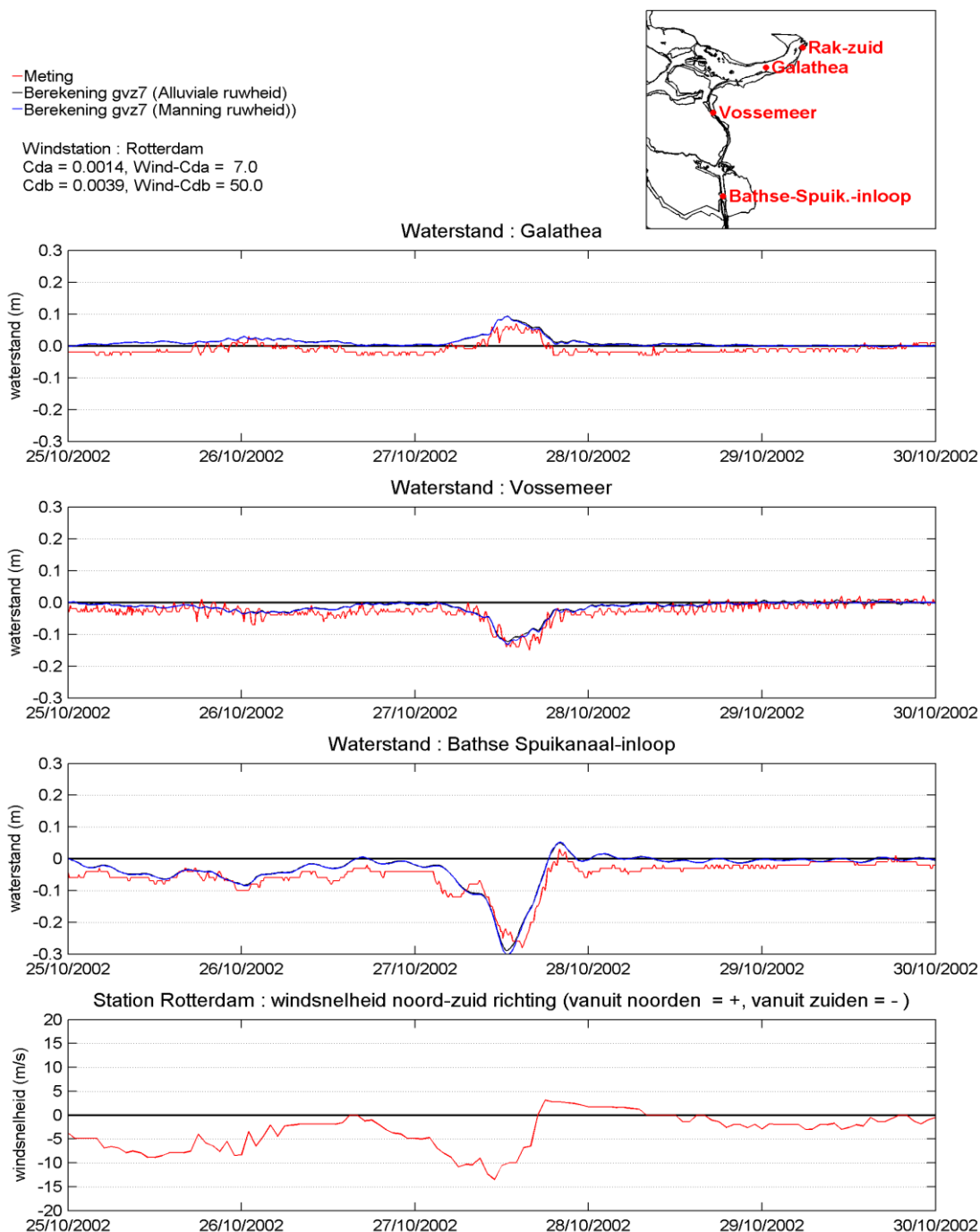
Tot in de nacht en vroege ochtend van 27 oktober 2002 blijven de waterstandsvariaties beperkt (Figuur 5.1). De waterstandsvariaties zijn het grootst in station Bathse spuikanaal-inloop met fluctuaties van orde 5 cm tijdens omstandigheden met windsnelheden kleiner dan 10 m/s (< 5 Bft.). Er is in dit station sprake van een geringe afwaaiing van 10 cm t.o.v. station Galathea in het Volkerak. In Galathea wordt de waterstand dan nauwelijks beïnvloed door de wind en is deze ongeveer gelijk aan de beginwaterstand (NAP). De afwaaiing ter plaatse van het Bathse spuikanaal (en ook in Vossemeer) wordt door het model qua grootte goed gereproduceerd.

Op 27 oktober 2002 trekt de wind aan tot snelheden van ongeveer 20 m/s (Bft. 8) uit zuidwestelijke tot westelijke richting. Dit heeft een afwaaiing tot gevolg van circa 30 cm in Bathse spuikanaal-inloop en ruim 10 cm in Vossemeer. De opwaaiing in Galathea bedraagt ongeveer 5 cm. In alle drie de stations wordt het gemeten waterstandsverloop goed tot zeer goed door het model gereproduceerd.

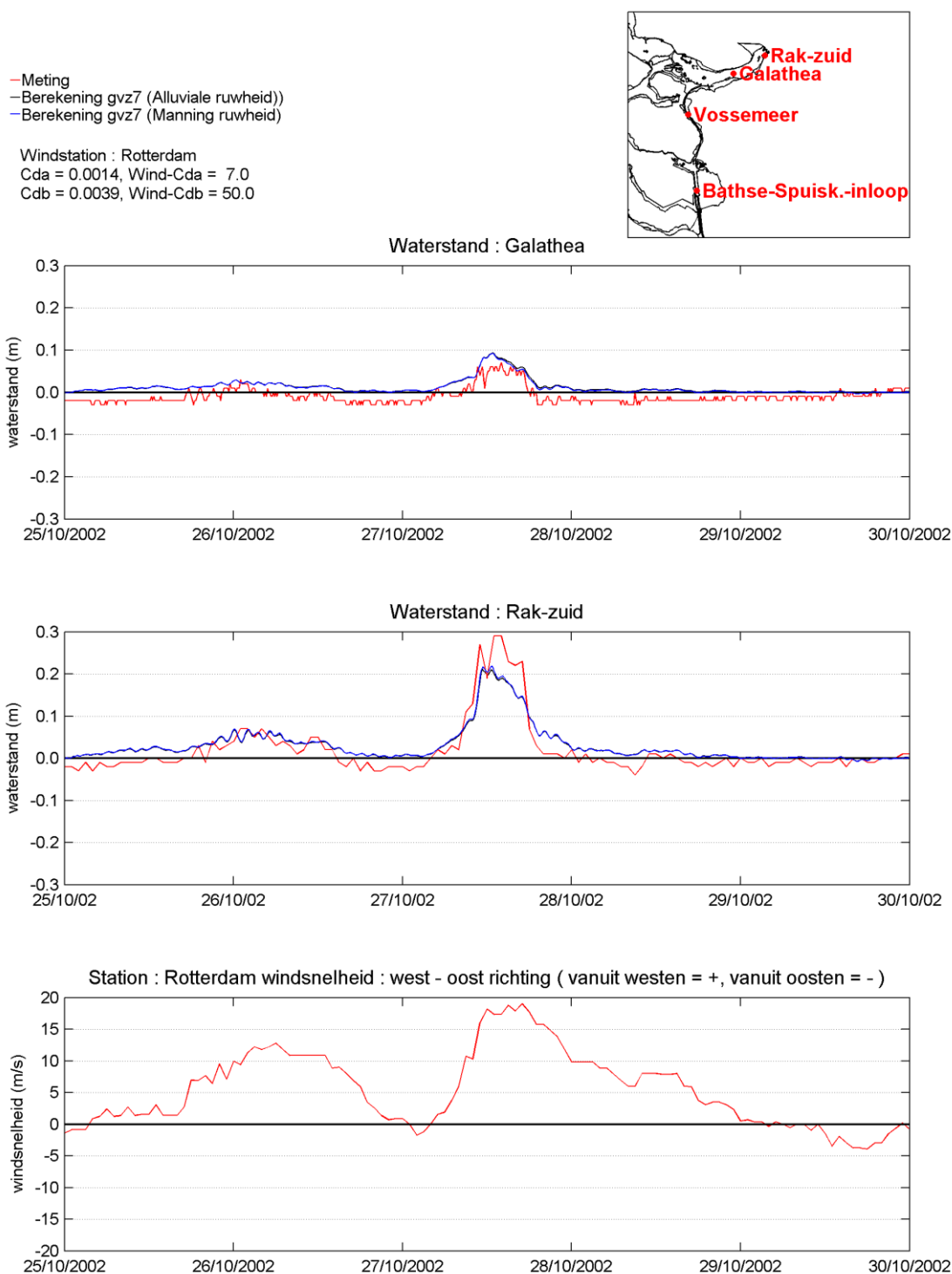
Later in de avond neemt de windsnelheid af tot 10 m/s uit westelijke richting. De waterstandsopzet en -afwaaiing reduceren dan weer tot vrijwel nul.

In station Rak-zuid (Figuur 5.2) wordt de maximale waterstand op 27 oktober 2002 in het model ongeveer 10 cm onderschat (een opzet van 20 cm i.p.v. 30 cm).

De opzet in Galathea wordt in het model slechts enkele cm's overschat, zodat in het model het waterstandsverhang in het noordoostelijke deel van het Volkerak te klein is ten opzicht van hetgeen werkelijk is opgetreden. De overschatting van de waterstand in Galathea door het model is overigens over vrijwel de gehele periode zichtbaar en lijkt daarmee niet specifiek wind gerelateerd.



Figuur 5.1 Waterstandverloop gedurende de oktober 2002 stormperiode in de noord-zuid georiënteerde stations Galathea, Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop en windsnelheid te Rotterdam. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid).



Figuur 5.2 Waterstandverloop gedurende de oktober 2002 stormperiode in de west-oost georiënteerde stations Galathea en Rak-zuid en windsnelheid te Rotterdam. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid).

Forcering op basis van gemeten wind in Stavenisse

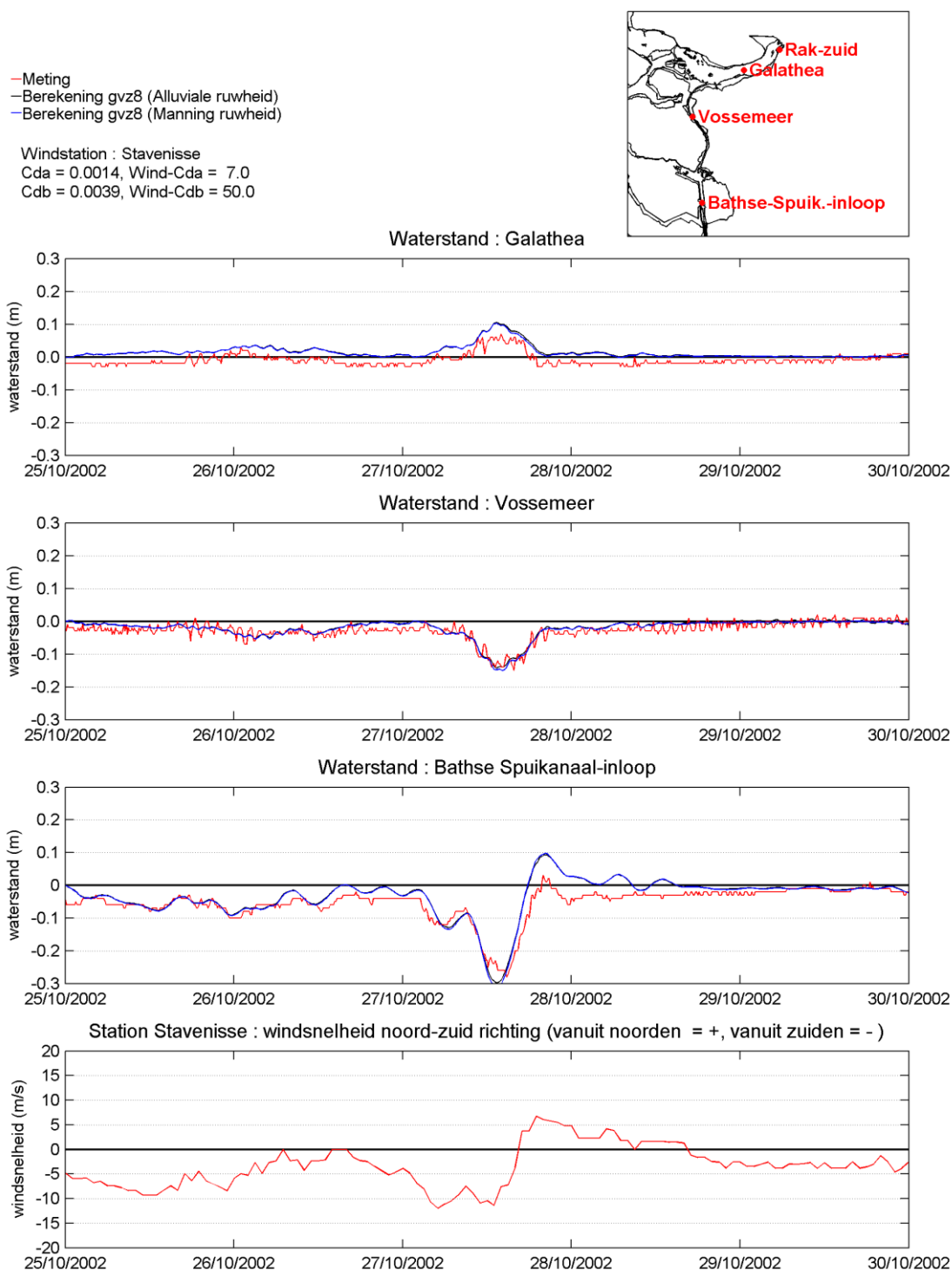
De waterstandsverlopen in de vier meetstations voor de simulatie met een forcering gebaseerd op de windsnelheid in station Stavenisse zijn weergegeven in Figuur 5.3 en Figuur 5.4. De resultaten verschillen weinig van die met een windforcering ontleend aan station Rotterdam. Het grootste verschil treedt op in station Rak-zuid waar de berekende maximale waterstandsopzet op 27 oktober 2002 de gemeten opzet beter benadert dan bij een windforcering ontleend aan de locatie Rotterdam. Op de overige dagen is de reproductie in station Rak-zuid iets slechter geworden doordat de waterstand door het model enkele cm's wordt overschat.

Forcering op basis van gemeten wind in Tholen

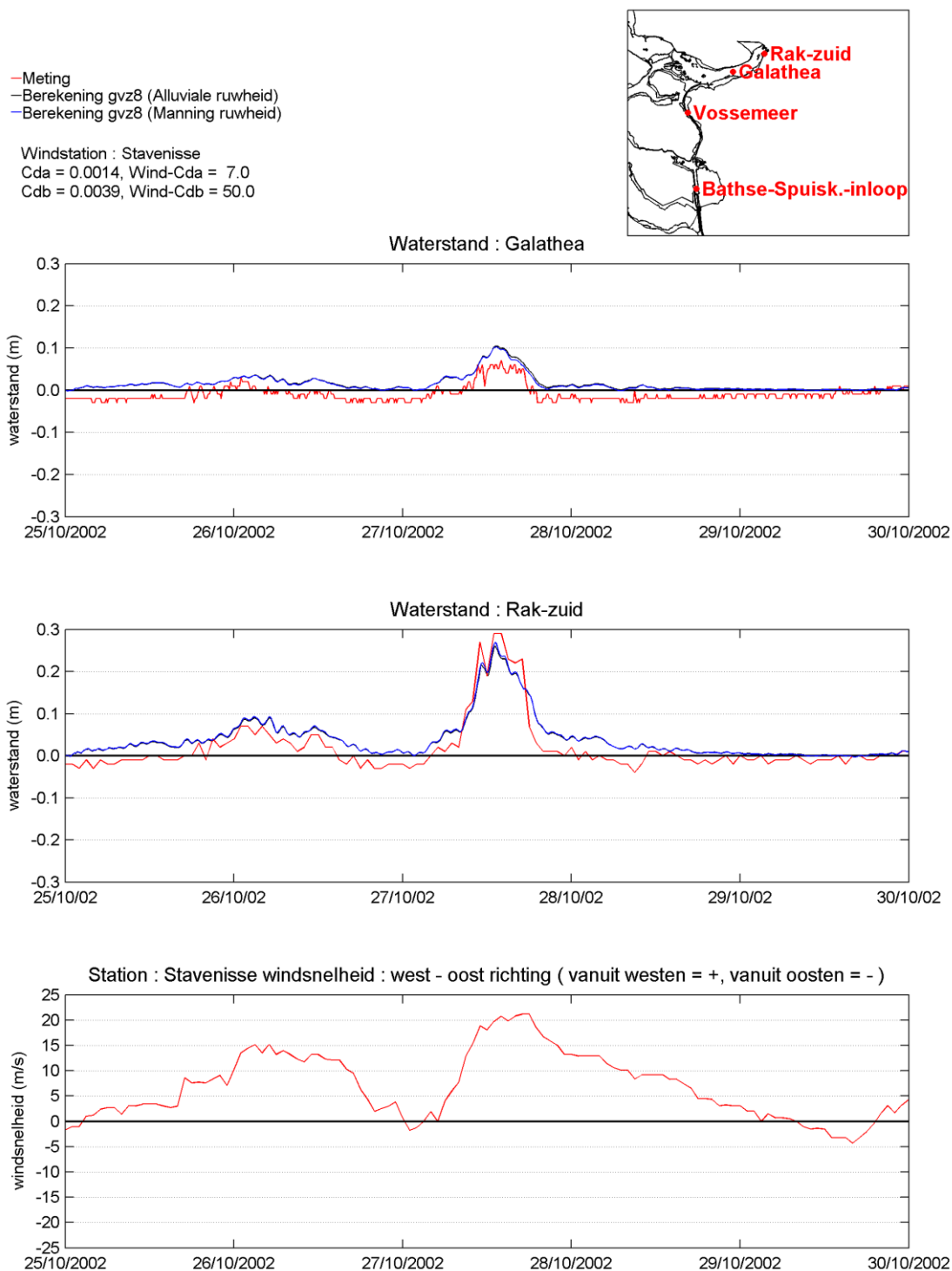
De resultaten van de simulaties, waarbij de windforcering in het model is ontleend aan station Tholen, worden getoond in Figuur 5.5 en Figuur 5.6. De resultaten van het model verschillen weinig van die met de windforcering afkomstig van station Stavenisse. De berekende opzet in Galathea is iets groter geworden en deze wijkt daardoor iets sterker af van de meting. In de overige stations zijn de verschillen tussen beide simulaties klein.

Samenvattend:

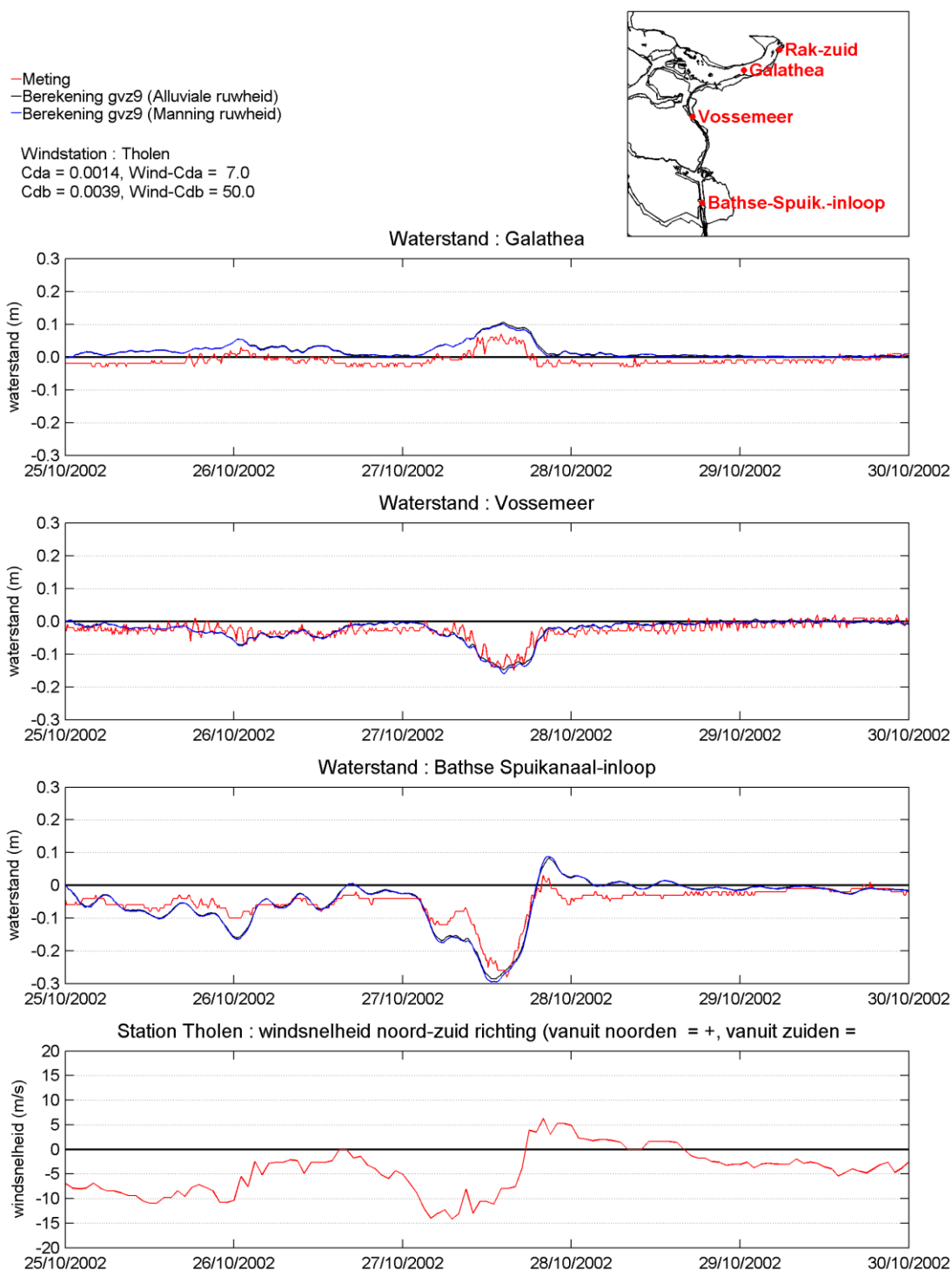
Tijdens het hoogtepunt van de storm (27 oktober 2002) wordt de maximale opwaaiing in het Volkerak het beste gereproduceerd met een windforcering ontleend aan station Stavenisse (in Rak-zuid resulteert dit in 5 cm hogere waterstanden en wordt de vergelijkbaarheid met de metingen daarmee beter). De maximale afwaaiing (in Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop) wordt door de drie simulaties met ongeveer dezelfde kwaliteit gereproduceerd. Geconcludeerd wordt dat de resultaten van de drie simulaties, met windforceringen ontleend aan resp. de stations Rotterdam, Stavenisse en Tholen, weinig van elkaar verschillen behoudens een betere reproductie van de opwaaiing bij westelijke wind in station Rak-zuid indien de forcering gebaseerd is op windmetingen in de stations Stavenisse of Tholen.



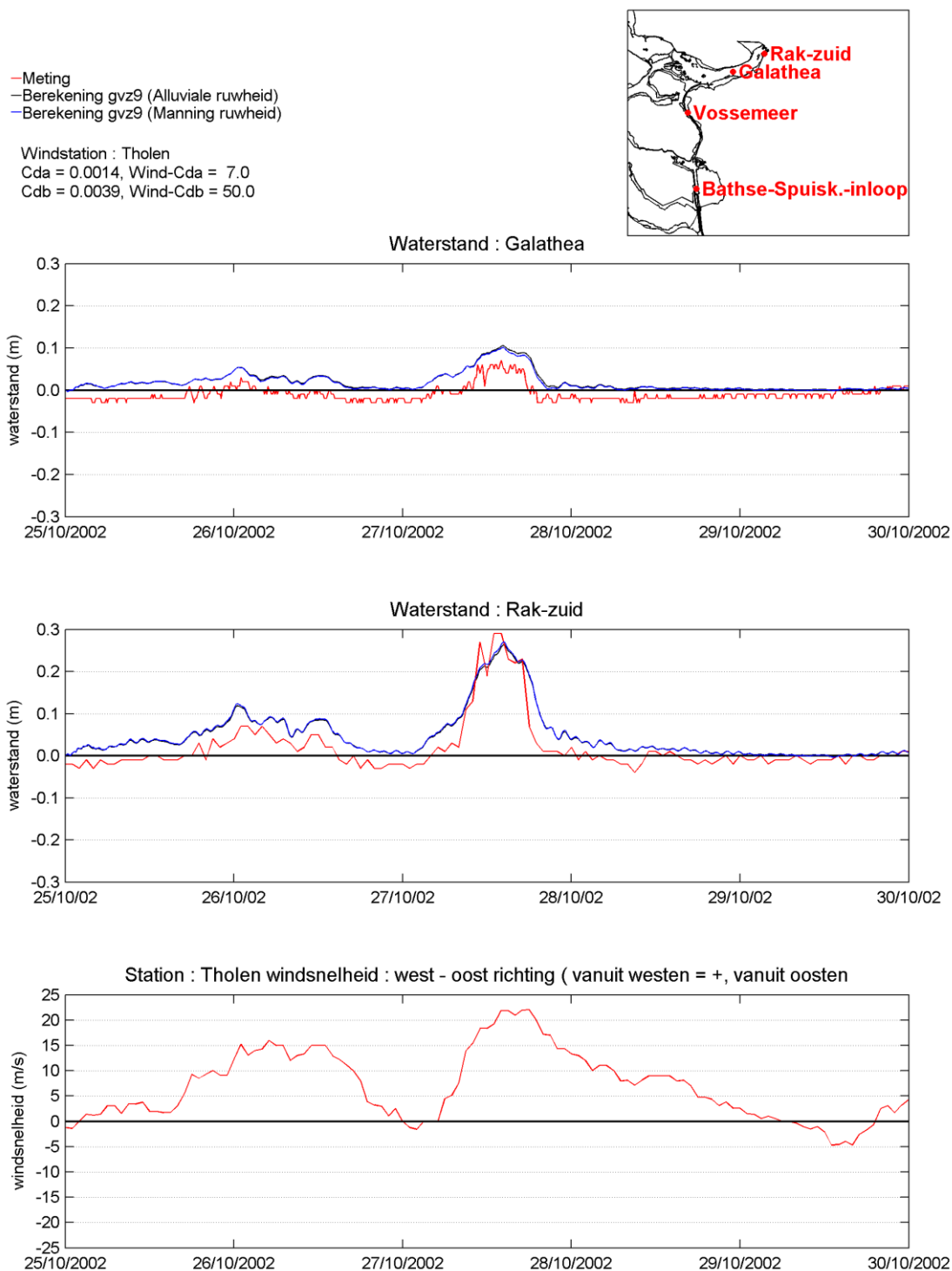
Figuur 5.3 Waterstandverloop gedurende de oktober 2002 stormperiode in de noord-zuid georiënteerde stations Galathea, Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop en windsnelheid te Stavenisse. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid).



Figuur 5.4 Waterstandverloop gedurende de oktober 2002 stormperiode in de west-oost georiënteerde stations Galathea en Rak-zuid en windsnelheid te Stavenisse. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid).



Figuur 5.5 Waterstandverloop gedurende de oktober 2002 stormperiode in de noord-zuid georiënteerde stations Galathea, Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop en windsnelheid te Tholen. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid).



Figuur 5.6 Waterstandverloop gedurende de oktober 2002 stormperiode in de west-oost georiënteerde stations Galathea en Rak-zuid en windsnelheid te Tholen. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid).

5.3.2 Resultaten validatie storm december 2013

Forcering op basis van gemeten wind in Rotterdam

Figuur 5.7 geeft de gemeten en berekende waterstand in de “noord-zuid”- georiënteerde stations Galathea, Vossemeer en Bathse spuisluis-inloop en de noord-zuid component van de gemeten windsnelheid te Rotterdam die bij de simulatie als forcering is gebruikt.

Figuur 5.8 toont de resultaten in de “west-oost”- georiënteerde stations Galathea en Rak-zuid samen met de west-oost component van de windsnelheid.

Ook voor de decemberstorm 2013 geldt dat berekende waterstanden niet of nauwelijks worden beïnvloed door de gebruikte ruwheidsformulering.

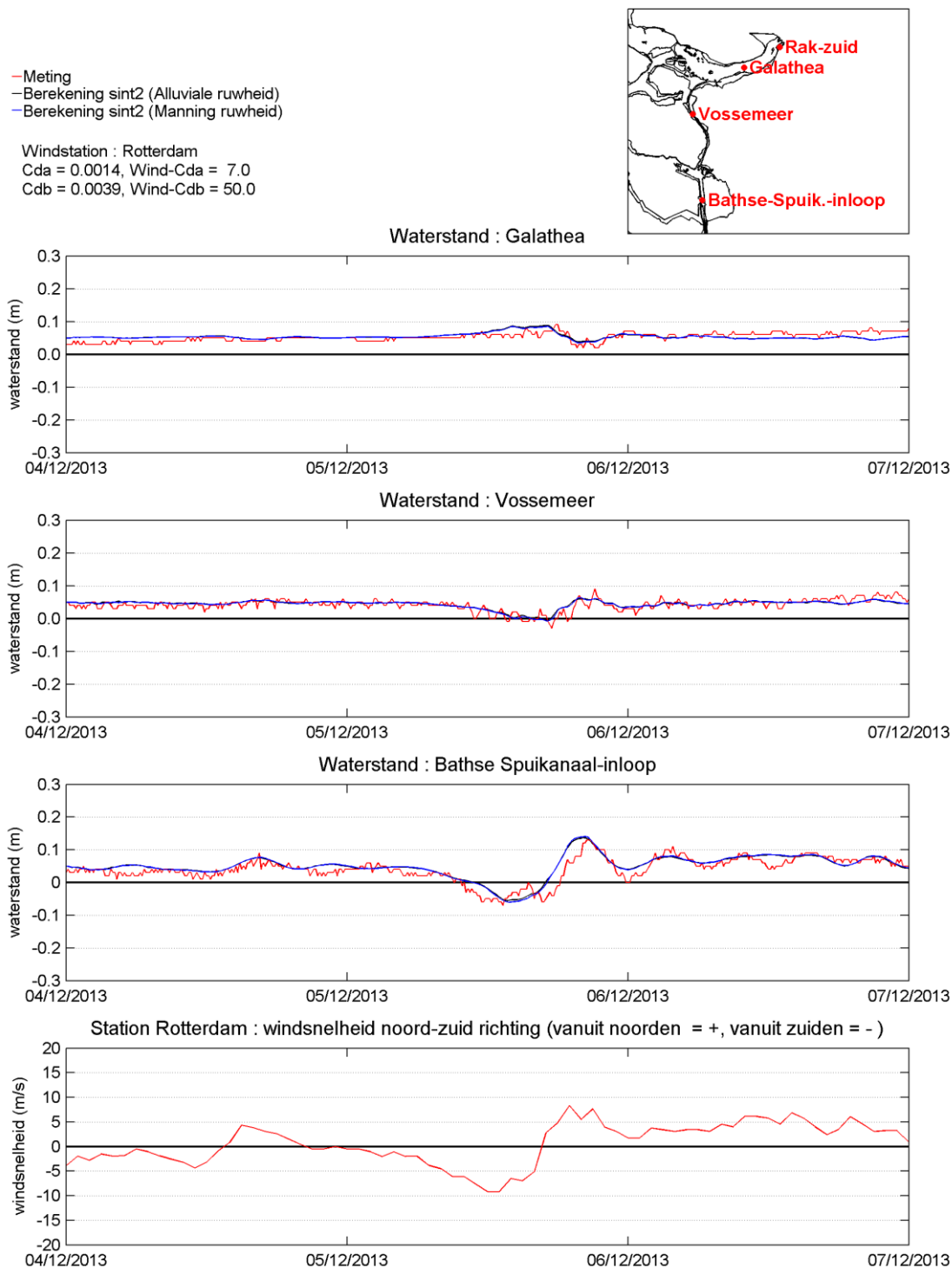
Tijdens de stormperiode varieert de windrichting tussen zuidwest en west/noordwest, toenemend vanaf de vroege ochtend van 5 december 2013, totdat halverwege de middag een maximale windsnelheid van 15-20 m/s (8 Bft.) wordt bereikt. Tijdens de volgende dag blijft de wind krachtig waaien met 10 m/s uit vooral westelijke richting (6 Bft.). De waterstandsop- en afzet tijdens deze storm zijn kleiner dan die tijdens de oktober 2002 storm. De opzet van orde 5 cm in Galathea op 5 december 2013 wordt door het model goed gereproduceerd. Ook de hiermee samenhangende berekende waterstandsval in Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop van resp. 5 cm en 10 cm komt overeen met de metingen. Als de wind vervolgens draait naar het noorden, is er sprake van een opwaaiing in Bathse spuikanaal-inloop (20 cm t.o.v. de voorafgaande afwaaiing) en een geringe opwaaiing in Vossemeer. In Galathea treedt dan een geringe afwaaiing op. Deze variaties worden door het model goed gereproduceerd. In het station Rak-zuid wordt de maximale opzet enkele cm's onderschat. Ook tijdens deze storm is het waterstandsverhang tussen Galathea en Rak-zuid in het model enigszins te klein.

Forcering met gemeten wind in Stavenisse

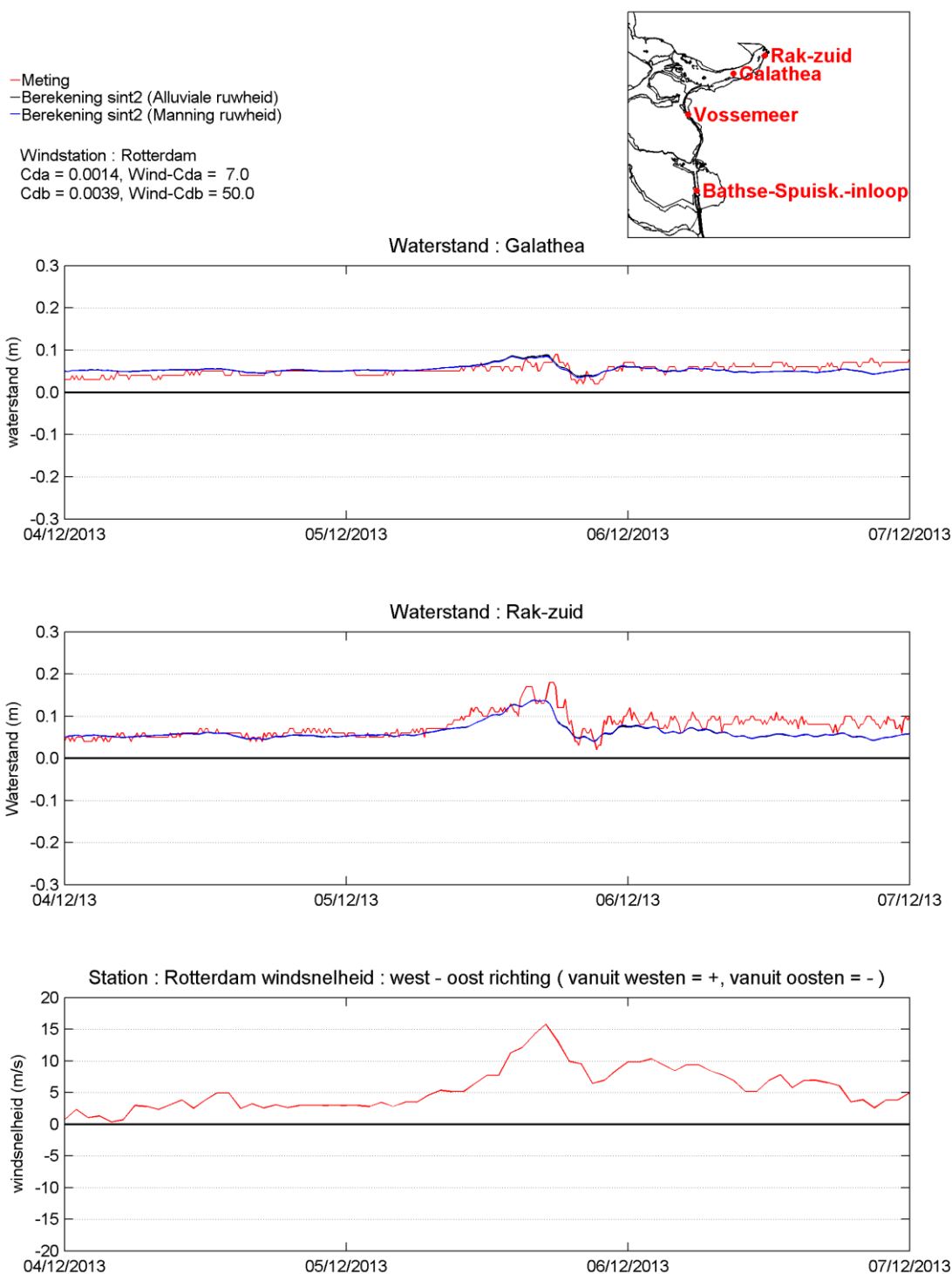
De waterstandsverlopen in de vier meetstations voor de simulatie met een forcering gebaseerd op de windsnelheidsmetingen in station Stavenisse zijn weergegeven in Figuur 5.9 en Figuur 5.10. De berekende maximale opzet in Galathea is voor deze simulaties iets groter dan voor de simulaties met een windforcering ontleend aan station Rotterdam. De waargenomen opzet wordt hierdoor iets meer overschat maar dat blijft beperkt tot enkele cm's. De afwaaiing in het station Bathse spuikanaal-inloop wordt eveneens enkele cm's overschat waardoor het model in dit geval wat minder goed presteert dan bij de simulaties met een forcering gebaseerd op de windsnelheid in Rotterdam. In Vossemeer is de reproductiekwaliteit gelijk aan die van de eerdere simulaties. Het verhang in zuid-noord richting is, bij een windforcering gebaseerd op Stavenisse, dus iets groter dan bij een forcering gebaseerd op Rotterdam en daarmee iets te groot. Het waterstandsverloop in Rak-zuid wordt daarentegen goed gereproduceerd en is daarmee wat beter dan wanneer de windsnelheid wordt ontleend aan Rotterdam.

Forcering met gemeten wind in Tholen

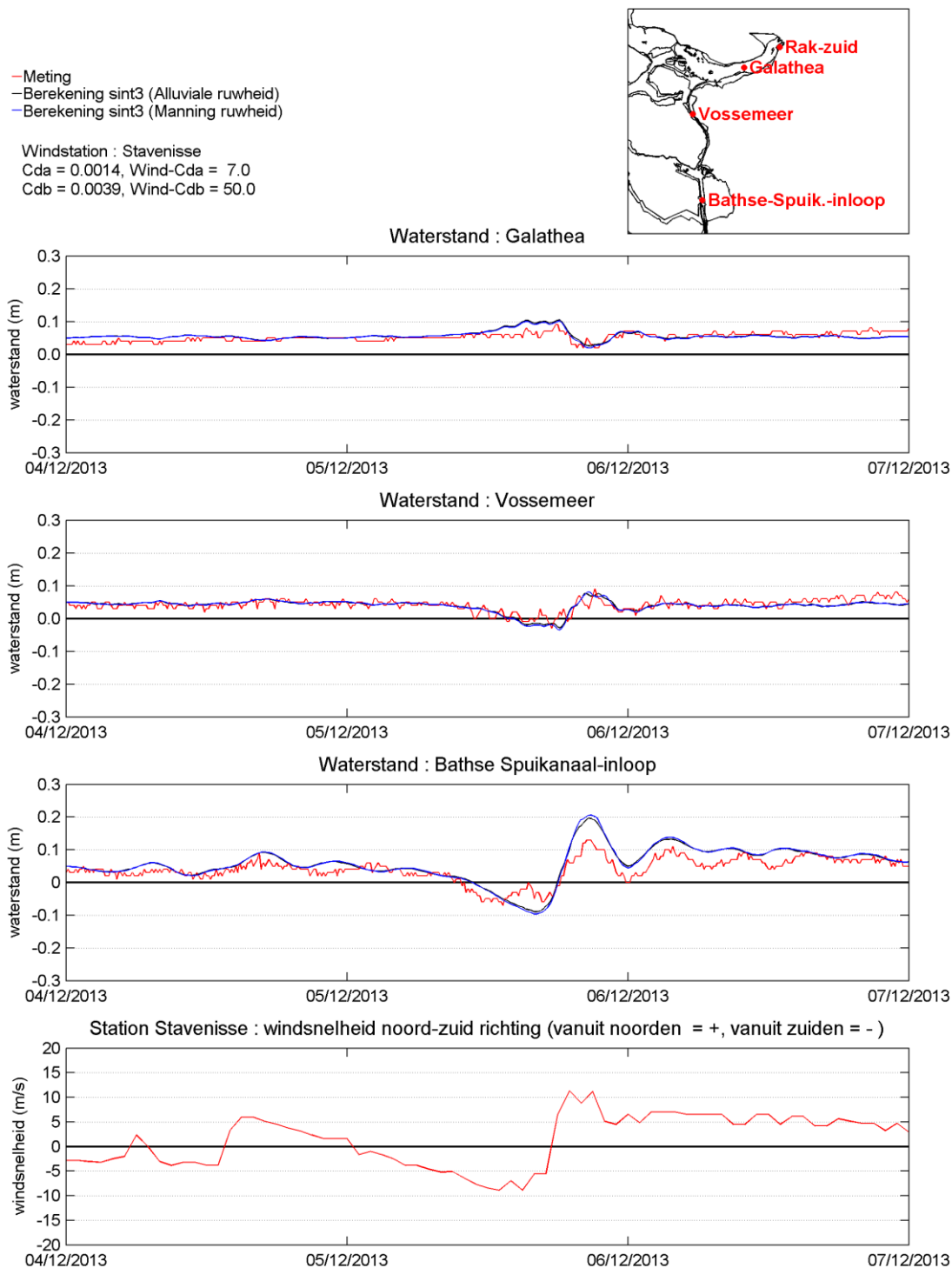
De resultaten van de simulaties met een windforcering gebaseerd op de windsnelheidsmetingen in Tholen verschillen nauwelijks van of zijn iets minder goed dan de resultaten zoals hiervoor besproken voor een windforcering gebaseerd op metingen in station Stavenisse, zie Figuur 5.11 en Figuur 5.12.



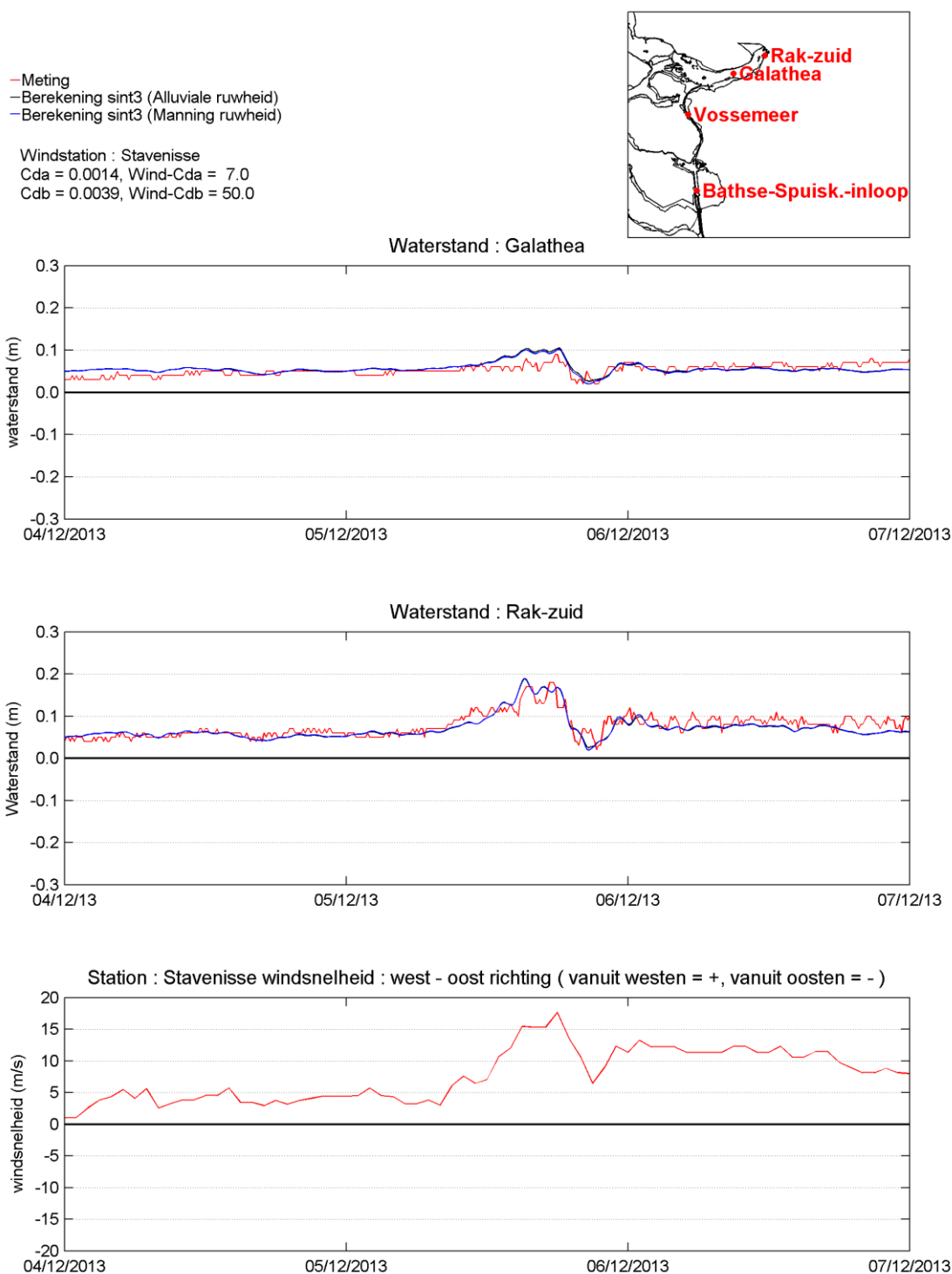
Figuur 5.7 Waterstandverloop gedurende de december 2013 stormperiode in de noord-zuid georiënteerde stations Galathea, Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop en windsnelheid te Rotterdam. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid).



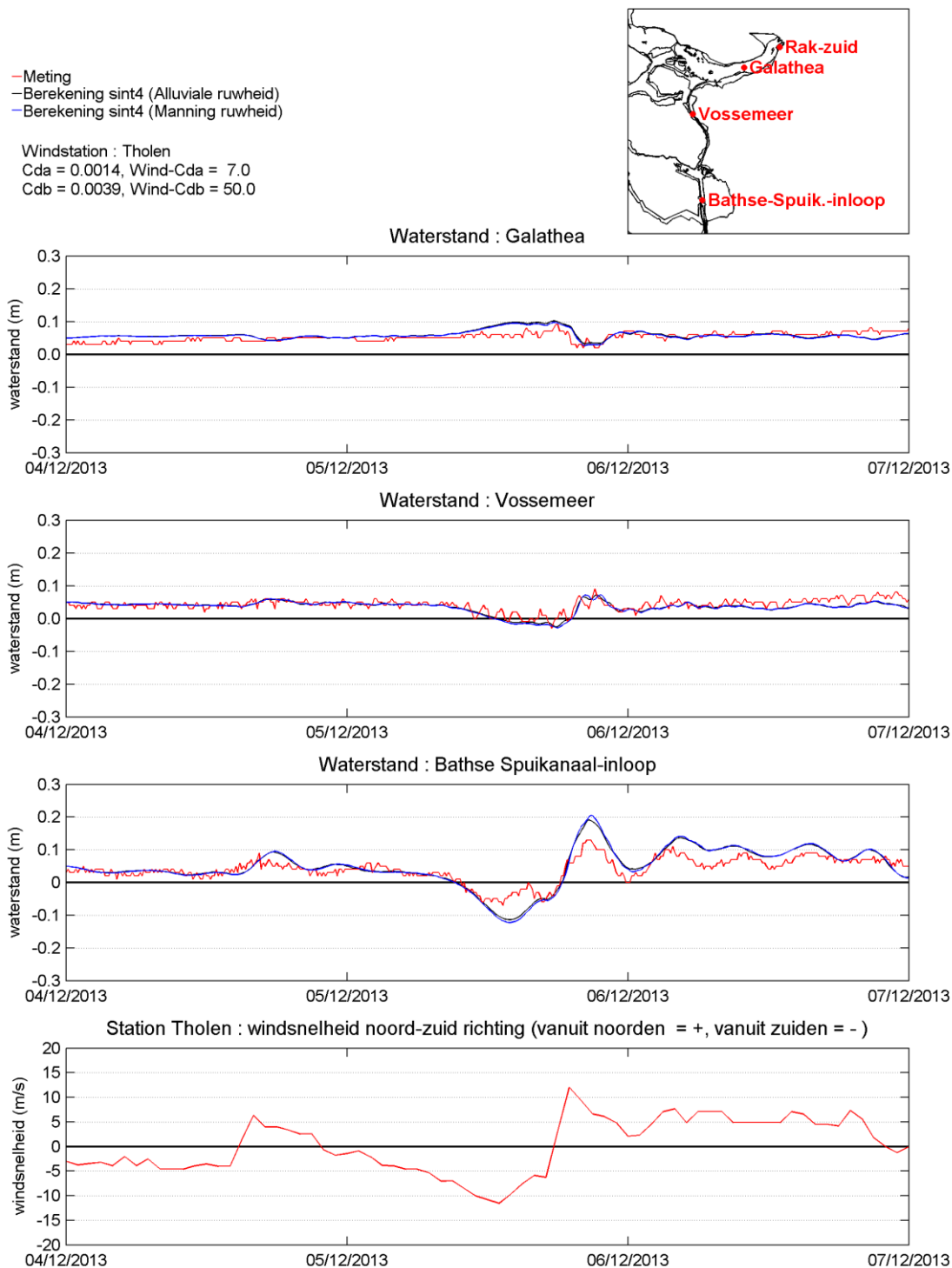
Figuur 5.8 Waterstandverloop gedurende de december 2013 stormperiode in de west-oost georiënteerde stations Galathea en Rak-zuid en windsnelheid te Rotterdam. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid).



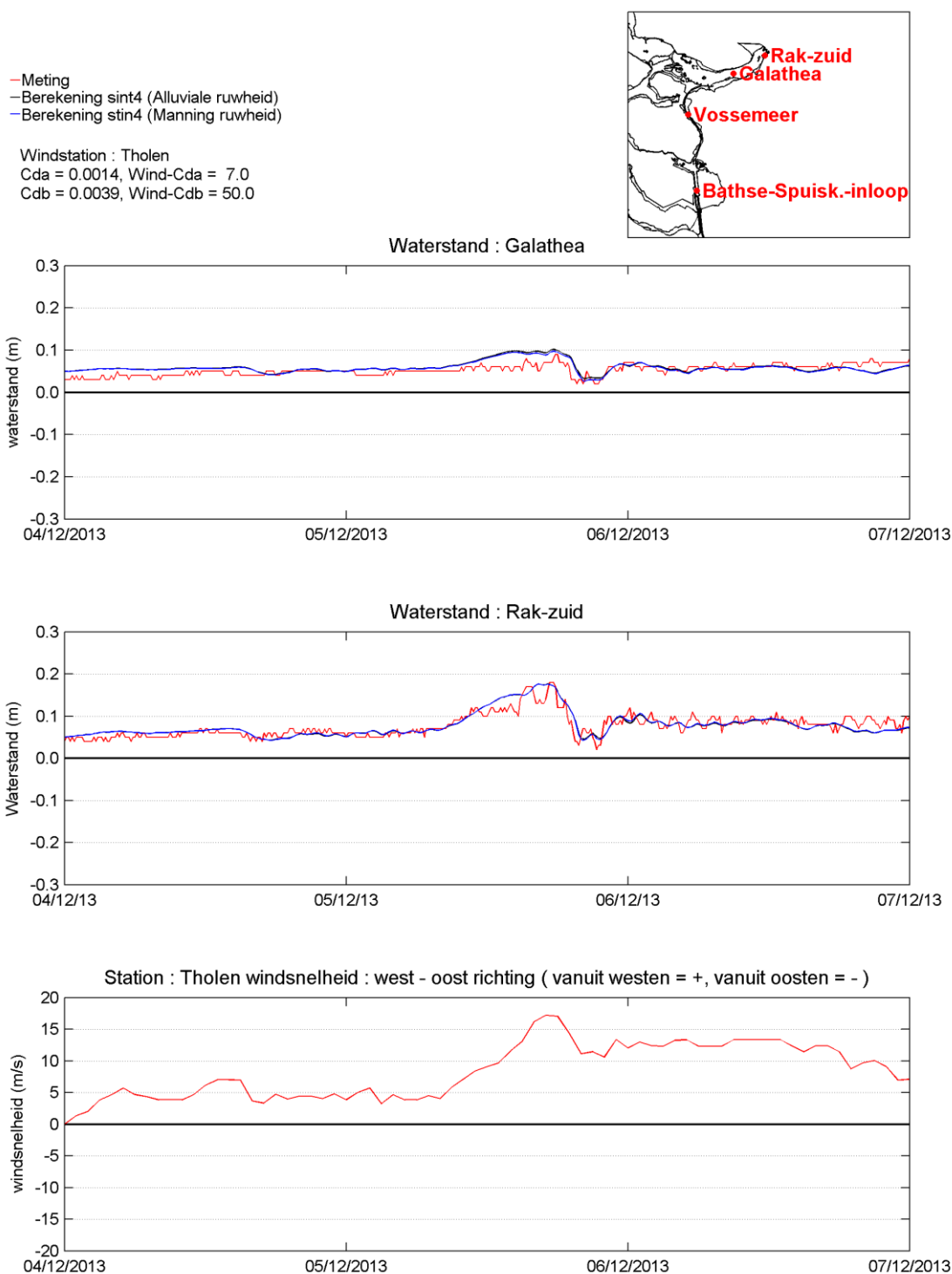
Figuur 5.9 Waterstandverloop gedurende de december 2013 stormperiode in de noord-zuid georiënteerde stations Galathea, Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop en windsnelheid te Stavenisse. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid).



Figuur 5.10 Waterstandverloop gedurende de december 2013 stormperiode in de west-oost georiënteerde stations Galathea en Rak-zuid en windsnelheid te Stavenisse. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid).



Figuur 5.11 Waterstandverloop gedurende de december 2013 stormperiode in de noord-zuid georiënteerde stations Galathea, Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop en windsnelheid te Tholen. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid).



Figuur 5.12 Waterstandverloop gedurende de december 2013 stormperiode in de west-oost georiënteerde stations Galathea en Rak-zuid en windsnelheid te Tholen. Meting: rood, berekening: zwart (alluviale ruwheid) en blauw (Manning ruwheid).

Samenvattend:

Voor alle simulaties geldt dat de door het model berekende op- en afwaaiing goed overeenkomen met de metingen. De simulaties met de windforcering ontleend aan windmetingen in station Rotterdam geeft, in vergelijking met de beide andere simulaties, voor de stations Galathea en Bathse spuikanaal-inloop iets betere resultaten en voor station Rak-zuid iets minder goede resultaten. De reproductiekwaliteit in station Vossemeer is voor alle drie simulaties ongeveer gelijk.

5.3.3 Modelprestatie

In Tabel 5.1 t/m Tabel 5.3 geven de statistische kentallen gedefinieerd in paragraaf 5.2.2 voor de Oktober 2002 storm. Dezelfde kentallen worden gepresenteerd in Tabel 5.4 t/m Tabel 5.6 voor de december 2012 storm.

De resultaten worden gegeven voor elk van de vier waterstandsmeetstations afzonderlijk én als gemiddelde van alle vier de stations. Bij de bepaling van dit gemiddelde is de absolute waarde van het resultaat bij elk station gebruikt. Het station Rak-zuid heeft betrekking op uurs-waarnemingen; in de overige stations betreft dit 10 minuten waarnemingen.

Oktober 2002 storm

Volgens het *RSME*-kental is het gemiddelde verschil van de momentane waterstanden in de vier stations tijdens de oktober 2002 stormperiode van 5 dagen 2-3 cm voor de situatie dat het station Rotterdam wordt gebruikt voor de windforcering (Tabel 5.1). Hierbij is de gemiddelde waterstand volgens de modelsimulatie 1-2 cm hoger dan volgens de metingen. Het verschil tussen model en metingen van de afwijking t.o.v. het gemiddelde bedraagt 1-3 cm. Tijdens het hoogtepunt van de storm wordt de opwaaiing in Rak-zuid met 8 cm onderschat door het model. In de overige stations zijn de verschillen tussen maximale opwaaiing en afwaaiing 1-3 cm. Deze verschillen moeten worden beschouwd ten opzichte van een maximale opwaaiing van 30 cm in Rak-zuid en een maximale afwaaiing van 30 cm in Bathse spuikanaal-inloop. Het verschil tussen de meting en de berekening wordt nauwelijks beïnvloed door de gebruikte ruwheidsformulering.

Voor wat betreft het toekomstige gebruik van het model moet dus vooral rekening worden gehouden met een onderschatting van orde 10 cm van de maximale waterstand in het noordoostelijke deel van het Volkerak, waarbij de maximale waterstand in het model ongeveer 1,5 uur eerder optreedt dan in werkelijkheid. Voor zwaardere stormen is deze onderschatting mogelijk groter.

Tabel 5.1 Beoordeling modelprestatie tijdens de storm van oktober 2002 (5 dg.): simulatie minus observatie.
Windstation: Rotterdam, zwart alluviale ruwheid, blauw Manning ruwheid.

| Station | RMSE [cm] | GV [cm] | σ [cm] | $\Delta\zeta_{\max}$ [cm] | $\Delta\zeta_{\min}$ [cm] | Δt_{piek} [min] |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Rak-zuid | 2,9/2,9 | +1,2/+1,2 | 2,7/2,6 | -7,8/-7,1 | | -100 /-20 |
| Galathea | 2,4/2,3 | +2,1/+2,1 | 1,1/1,1 | +2,3/+2,2 | | -70 /-70 |
| Vossemeer | 1,8/1,8 | +1,2/+1,1 | 1,4/1,4 | | +2,7/+1,7 | -180 /-180 |
| Bathse spuikanaal inloop | 2,9/2,9 | +2,1/+2,0 | 2,0/2,1 | | -1,0/-2,4 | -130 /-120 |
| | | | | | | |
| Gemiddeld (abs) | 2,5/2,5 | 1,7/1,6 | 1,8/1,8 | 3,5/3,4 | | 120 /98 |

Indien voor de windforcering van het model de windsnelheid en –richting in Stavenisse of Tholen wordt gebruikt, zijn de genoemde kentallen niet veel anders dan die hiervoor zijn besproken voor de situatie waarbij de windforcering van het model is gebaseerd op metingen in Rotterdam (Tabel 5.2 en Tabel 5.3). Uitzondering vormt het station Rak-zuid waar de maximale waterstand met deze forceringen beter wordt gereproduceerd, zowel wat betreft de grootte van de opwaaiing als het moment waarop deze optreedt. De gemeten wind in Stavenisse en Tholen lijkt hiermee representatiever te zijn voor de condities in het Volkerak-Zoommeer.

Tabel 5.2 Beoordeling modelprestatie tijdens de storm van oktober 2002 (5 dg.): simulatie minus observatie.
Windstation: Stavenisse, zwart alluviale ruwheid, blauw Manning ruwheid.

| Station | RMSE [cm] | GV [cm] | σ [cm] | $\Delta\zeta_{\max}$ [cm] | $\Delta\zeta_{\min}$ [cm] | Δt_{piek} [min] |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Rak-zuid | 3,1/3,1 | +2,1/+2,2 | 2,2/2,2 | -3,0/-2,0 | | +10 /+10 |
| Galathea | 2,7/2,6 | +2,4/+2,3 | 1,1/1,1 | +3,5/+3,3 | | -40 /-40 |
| Vossemeer | 1,6/1,5 | +0,7/+0,6 | 1,4/1,4 | | +0,8/-0,1 | -150 /-100 |
| Bathse spuikanaal inloop | 3,2/3,3 | +1,9/+1,8 | 2,6/2,7 | | -1,8/-3,3 | -90 /-80 |
| | | | | | | |
| Gemiddeld (abs) | 2,7/2,6 | 1,8/1,7 | 1,8/1,9 | 2,3/2,2 | | 72 / 58 |

Tabel 5.3 Beoordeling modelprestatie tijdens de storm van oktober 2002 (5 dg.): simulatie minus observatie.
Windstation: Tholen, zwart alluviale ruwheid, blauw Manning ruwheid.

| Station | RMSE [cm] | GV [cm] | σ [cm] | $\Delta\zeta_{\max}$ [cm] | $\Delta\zeta_{\min}$ [cm] | Δt_{piek} [min] |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Rak-zuid | 3,7/3,8 | +2,8/+3,0 | 2,4/2,4 | -2,6 -1,9 | | +20 /+20 |
| Galathea | 3,1/3,0 | +2,8/+2,7 | 1,4/1,3 | +3,6 +3,1 | | +20 /+10 |
| Vossemeer | 1,7/1,8 | +0,3/+0,1 | 1,7/1,8 | | +0,3/-0,1 | -90 /-90 |
| Bathse spuikanaal inloop | 3,2/3,4 | +0,3/+0,1 | 3,2/3,4 | | -0,6/-1,0 | -100 /-90 |
| | | | | | | |
| Gemiddeld (abs) | 2,9/3,0 | 1,6/1,5 | 2,2/2,2 | 1,8/1,5 | | 58/53 |

December 2013 storm

De kentallen zijn voor de storm in december 2013 qua absolute grootte wat kleiner dan die voor de storm van oktober 2002, namelijk 1-2 cm in december 2013 versus 2-3 cm voor oktober 2002; de overeenstemming tussen model en werkelijkheid lijkt voor deze periode dus iets beter te zijn. Dit kan onder andere samenhangen met de iets geringere windsnelheden tijdens de december 2013 storm ten opzichte van de storm in oktober 2002. Tijdens december 2013 is in station Bathse spuikanaal-inloop sprake van opwaaiing als gevolg van wind uit vooral noordelijke richting. Dit geldt ook voor Vossemeer, al is de opwaaiing in dit station dan kleiner. In beide gevallen wordt de waargenomen opzet goed door het model gereproduceerd.

In de stations Galathea en vooral Rak-zuid is de opwaaiing maximaal als de wind sterk uit het westen waait. Het waterstandsverhang tussen beide stations wordt door het model enigszins onderschat.

Tabel 5.4 Beoordeling modelprestatie tijdens de storm van december 2013 (3 dg.): simulatie minus observatie.
Windstation: Rotterdam, zwart alluviale ruwheid, blauw Manning ruwheid.

| Station | RMSE [cm] | GV [cm] | σ [cm] | $\Delta\zeta_{\max}$ [cm] | $\Delta\zeta_{\min}$ [cm] | Δt_{piek} [min] |
|--------------------------|----------------|----------------|------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Rak-zuid | 2,3/2,2 | -1,4/-1,4 | 1,7/1,7 | -4,3/-4,2 | | -80/-80 |
| Galathea | 1,3/1,3 | +0,2/+0,2 | 1,3/1,3 | -0,2/-0,5 | | -40 /-40 |
| Vossemeer | 1,2/1,2 | +0,2/+0,2 | 1,2/1,2 | -3,0/-2,6 | | -70 /-80 |
| Bathse spuikanaal inloop | 1,9/1,9 | +0,6/+0,6 | 1,8/1,5 | +0,7/+1,1 | | -20/-10 |
| | | | | | | |
| Gemiddeld (abs) | 1,7/1,6 | 0,6/0,6 | 1,4/1,4 | 2,1/2,1 | | 52/52 |

Als de wind in Stavenisse en Tholen als forcering van het model wordt gebruikt, wordt in het algemeen een wat betere reproductie verkregen dan bij gebruik van de wind Rotterdam als forcering, zie hiervoor de resultaten in Tabel 5.5 en Tabel 5.6. Vooral in Rak-zuid verbetert de reproductie, zoals dat ook het geval is voor de oktober 2002 storm. Met betrekking tot de maximale opwaaiing in Rak-zuid worden de beste resultaten verkregen met een windforcering gebaseerd op Stavenisse of Tholen. In Bathse spuikanaal-inloop worden daarentegen de beste resultaten verkregen (op- en afwaaiing) met een windforcering gebaseerd op metingen te Rotterdam. In Bathse spuikanaal-inloop verslechtert echter de reproductie van de maximale opwaaiing met een windforcering gebaseerd op Stavenisse of Tholen.

Tabel 5.5 Beoordeling modelprestatie tijdens de storm van december 2013 (3 dg.): simulatie minus observatie.
Windstation: Stavenisse, zwart alluviale ruwheid, blauw Manning ruwheid.

| Station | RMSE [cm] | GV [cm] | σ [cm] | $\Delta\zeta_{\max}$ [cm] | $\Delta\zeta_{\min}$ [cm] | Δt_{piek} [min] |
|--------------------------|----------------|----------------|------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Rak-zuid | 1,7/1,7 | -0,6/-0,5 | 1,6/1,6 | +0,8/+0,1 | | -130/-130 |
| Galathea | 1,4/1,4 | +0,4/+0,4 | 1,3/1,3 | +1,5/+1,2 | | +10/+10 |
| Vossemeer | 1,4/1,4 | -0,2/-0,2 | 1,4/1,4 | -1,3/-0,9 | | -50/-30 |
| Bathse spuikanaal inloop | 3,0/3,2 | +1,3/+1,4 | 2,7/2,9 | +6,7/+7,6 | | +10/0 |
| | | | | | | |
| Gemiddeld (abs) | 1,9/1,9 | 0,6/0,6 | 1,8/1,8 | 2,6/2,5 | | 50/43 |

Tabel 5.6 Beoordeling modelprestatie tijdens de storm van december 2013 (3 dg.): simulatie minus observatie.
Windstation: Tholen, zwart alluviale ruwheid, blauw Manning ruwheid.

| Station | RMSE [cm] | GV [cm] | σ [cm] | $\Delta\zeta_{\max}$ [cm] | $\Delta\zeta_{\min}$ [cm] | Δt_{piek} [min] |
|--------------------------|----------------|----------------|------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Rak-zuid | 1,6/1,5 | +0,1/+0,1 | 1,6/1,5 | -0,4/-0,4 | | -10/-10 |
| Galathea | 1,6/1,5 | +0,7/+0,6 | 1,4/1,4 | +1,2/+1,2 | | -10/-10 |
| Vossemeer | 1,4/1,5 | -0,6/-0,6 | 1,3/1,4 | -1,8/-1,8 | | +10/+10 |
| Bathse spuikanaal inloop | 3,0/3,2 | +0,4/+0,4 | 2,9/3,2 | +6,2/+6,2 | | +10/+10 |
| | | | | | | |
| Gemiddeld (abs) | 1,9/1,9 | 0,5/0,4 | 1,8/1,9 | 2,4/2,4 | | 10/10 |

Vergelijkbaar met de oktober 2002 storm geldt dat de ruwheid slechts een uiterst geringe invloed op de berekeningsresultaten heeft.

Synthese berekeningsresultaten

In Tabel 5.7 wordt de $RMSE$, GV , σ , $\Delta\zeta_{max}$, $\Delta\zeta_{min}$ en Δt_{piek} gegeven gemiddeld over alle vier de meetstations en de twee stormperiodes. Deze getallen worden bepaald voor de windforceringen op basis van alle drie de meetstations.

Tabel 5.7 Gemiddelde modelprestatie over alle vier de meetstations, twee stormperiodes en voor de forcering op basis van 3 meetstations. Zwart alluviale ruwheid, blauw Manning ruwheid.

| Parameter | Rotterdam | Stavenisse | Tholen |
|---|-----------|------------|---------|
| $RMSE$ [cm] | 2,1/2,1 | 2,3/2,3 | 2,4/2,5 |
| GV [cm] | 1,1/1,1 | 1,2/1,2 | 1,0/1,0 |
| σ [cm] | 1,7/1,7 | 1,8/1,9 | 2,0/2,1 |
| $\Delta\zeta_{max}$ en $\Delta\zeta_{min}$ [cm] | 2,8/2,8 | 2,5/2,4 | 2,1/2,0 |
| Δt_{piek} [cm] | 86/75 | 61/51 | 34/32 |

Tabel 5.7 laat zien dat de gemiddelde resultaten van de simulaties met de windforceringen op basis van drie verschillende meetlocaties onderling weinig verschillen. Het grootste verschil kan worden waargenomen in de maximale op- en afwaaiing en het tijdsverschil van de piekwaterstand Δt_{piek} . Op basis van reproductie van maximale op- en afwaaiing en het tijdstip van maximale op- en afwaaiing lijkt forcering met de wind zoals gemeten te Tholen het beste resultaat te geven.

6 Implementatie maatregel “Waterberging Volkerak-Zoommeer”

6.1 Inleiding

In september 2012 heeft de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu het besluit genomen om in het kader van de Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier, het Volkerak-Zoommeer in te richten voor waterberging. Het Volkerak-Zoommeer wordt hierdoor bij extreem hoogwater op het Hollandsch Diep ingezet om tijdelijk water te bergen en daarmee de waterveiligheid in Noord-Brabant en Zuid-Holland, tijdens gesloten stormvloedkeringen en hoge afvoer, te kunnen blijven garanderen. De inlaatsluis van de Volkeraksluizen speelt hierbij een belangrijke rol.

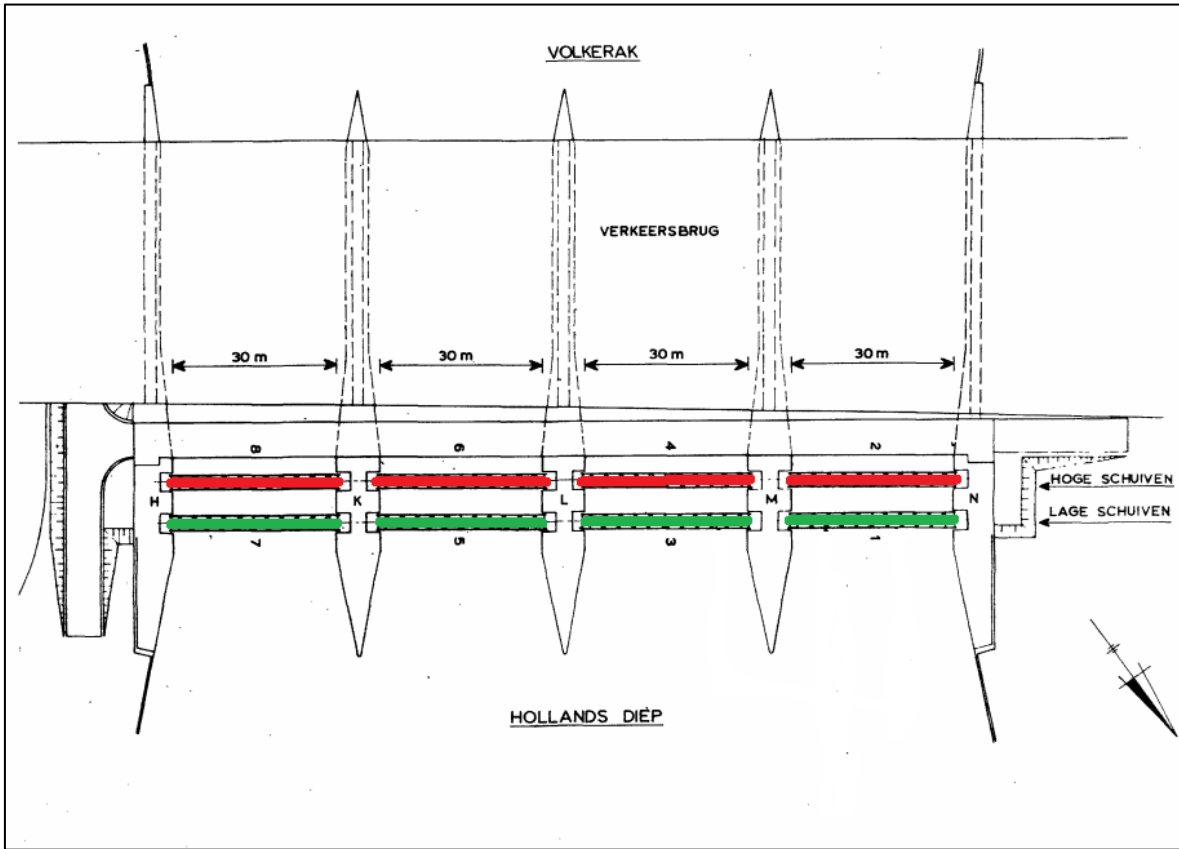
Het complete sluisencomplex in de Volkerakdam bestaat uit drie schutsluizen, vier spuisluizen en een jachtensluis. Het sluisencomplex vormt de verbinding tussen het Hollandsch Diep en het Volkerak. De spuisluis is destijds aangelegd om de zoutindringing op het Hollandsch Diep tegen te gaan. Deze functie is vervallen na de aanleg van de Oester- en Philipsdam in 1987.

Om in het WAQUA-model van het Volkerak-Zoommeer te kunnen bepalen wat de invloed is van de maatregel “Waterberging Volkerak-Zoommeer” op de waterstanden in de Rijn-Maasmonding, is besloten om de aansturing van het kunstwerk inlaatsluis Volkeraksluizen te implementeren en deze te laten aansturen via het Keringenscript. Par. 6.2 geeft een algemene beschrijving van het kunstwerk Volkeraksluizen. In Par. 6.3 wordt een beschrijving gegeven van het Keringenscript waarmee de inlaatsluis wordt aangestuurd op basis van een algoritme. In Par. 6.4 en Par. 6.5 wordt het algoritme beschreven waarmee de waterberging in het WAQUA-model wordt aangestuurd en de wijze waarop het is geïmplementeerd.

6.2 Beschrijving Volkeraksluizen

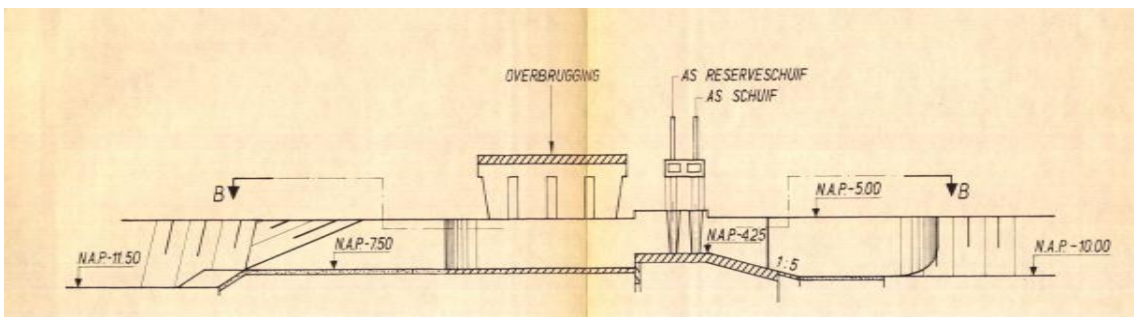
De spuisluizen van de inlaatsluis bestaan uit vier parallelle kokers met een kleinste breedte van 30 meter per koker. In elke koker was van oorsprong een dubbele set van hefschuiven opgenomen, een lage en een hoge hefschuif. De hoge hefschuiven bevonden zich aan de zijde van het Volkerak en zijn momenteel niet meer aanwezig. De lage hefschuiven bevinden zich aan de zijde van Hollandsch-Diep (zie Figuur 6.1). De hefschuiven worden gescheiden door pijlers, welke ter plaatse van de drempel 8 meter breed zijn. De horizontale overspanning van de schuiven is 30,8 meter. De drempelhoogte van de schuiven ligt op -4,25 meter NAP. Het doorlaatoppervlak is circa 300 m².

Vanwege de functieverandering sinds de bouw van de Volkeraksluizen (minder spuien naar Volkerak omdat het water niet meer zout is), zijn eind jaren tachtig, o.a. vanwege onderhoudsredenen, aanvankelijk twee van de vier spuikokers van de inlaatsluis permanent dichtgezet. Hierbij zijn de hydraulische bewegingswerken verwijderd. Sinds de grootschalige renovatie van de sluisen in 2010-2011, zijn alle vier de lage hefschuiven weer operationeel gemaakt en geconserveerd. Hiermee zijn alle vier de spuikokers weer beschikbaar voor het inlaten van water uit het Hollandsch Diep.



Figuur 6.1 Overzicht status schuiven inlaatsluis Volkerak in 2014 (rood=verwijderd, groen = in bedrijf).

Bij de instroom van de Volkerak Spuisluizen ligt de drempel op NAP -4,25 meter, de bodem loopt geleidelijk op (1:5) van NAP -10,0 m naar de drempel toe. Bij het terugspuien ligt de drempel op NAP -4,25 meter, de bodem op NAP -8,0 meter (Jörissen, 2004). De drempelhoogte van de schuiven ligt op -4,25 meter NAP. Op de vloer aan de benedenstroomse zijde zijn, op 23 meter afstand van de drempel drie tetraëders met ribben van 2,50 meter geplaatst om, bij verschillende stromingstoestanden, aantasting van het op de betonnen vloer aansluitende stortebed te beperken. De doorstroomhoogte is beperkt door de slaglengte van de regelschuiven. Deze slaglengte is beperkt tot 5,75 meter. Hierdoor kan de onderkant van de schuif tot maximaal +1,5 meter NAP worden geheven. De schuihoogte is 7,75 meter, waarmee de kerende hoogte 3,5 meter NAP bedraagt.

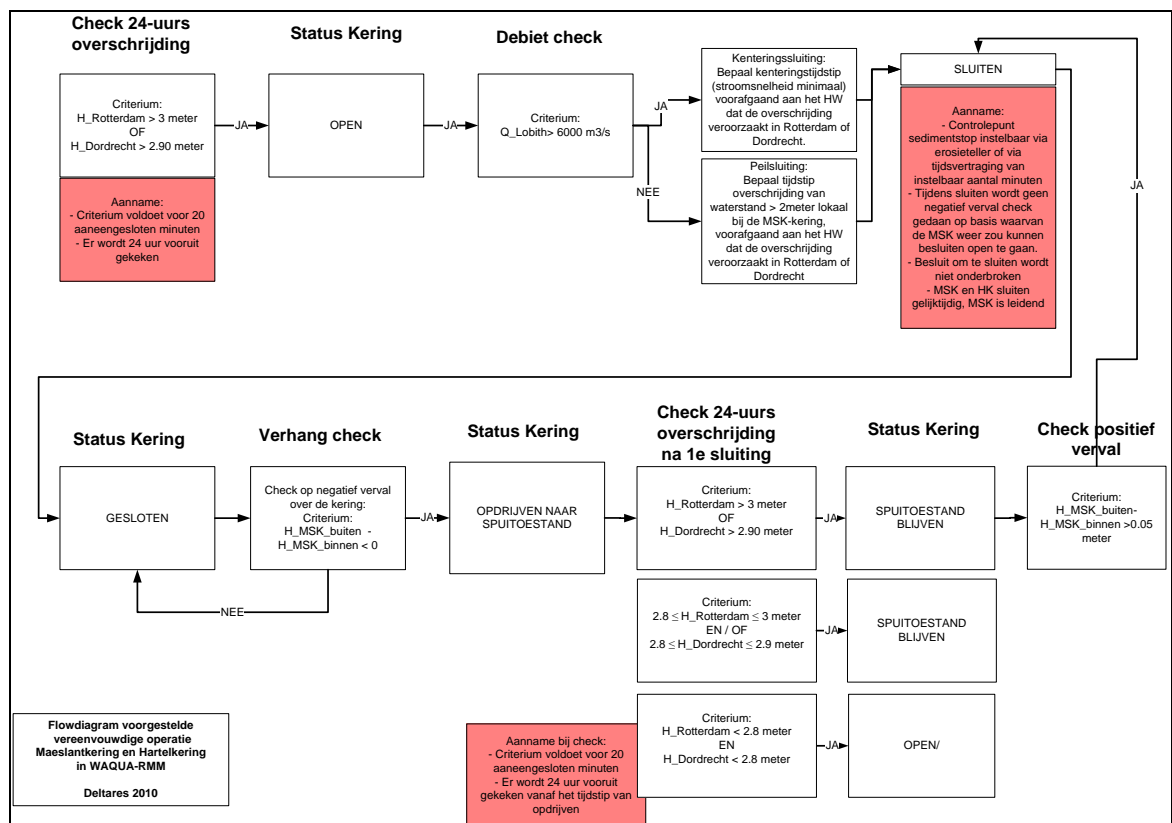


Figuur 6.2 Dwarsdoorsnede met bodem Volkerak inlaatsluizen (bron: (WL-Delft, 1973) ontwerptekening).

6.3 Beschrijving keringenscript

Het Keringen-script ten behoeve van het WAQUA-Rijn Maasmondning model bepaalt, op basis van de berekende waterstanden te Dordrecht en Rotterdam en de verhangen over de beide keringen of en wanneer de Maeslantkering en de Hartelkering sluiten en weer openen. Het keringenscript is uitvoerig beschreven in (Zijl, Kerkhoven, Visser, & Kaaij, 2011).

Het algoritme wat in het keringenscript is geïmplementeerd wordt in *Figuur 6.3* schematisch weergegeven. Het script stuurt niet de Haringvlietsluizen, stormstuw Hollandsche IJssel en kering Heusdensch Kanaal aan.



Figuur 6.3 Algoritme keringenscript.

Het algoritme is geïmplementeerd door een 5-tal “toestanden” (states) te definiëren. Voor een bepaalde toestand wordt een berekening uitgevoerd en geëvalueerd. Uit deze evaluatie volgt de toestand voor een volgende berekening tot geen berekeningen meer nodig of mogelijk zijn (toestand “finished”). Door dit algoritme te koppelen aan de SIMONA software en de RMM schematisatie wordt via een serie berekeningen de verschillende toestanden van de keringen in het WAQUA model doorlopen.

Het keringenscript is een versimpeling van de daadwerkelijke aansturing van beide keringen om het aantal noodzakelijke berekeningen te beperken.

Tabel 6.1 Toestanden Maeslant en Hartelkering in het keringenscript.

| Toestand | Maeslantkering | Hartelkering |
|----------|--|--|
| open | geheel geopend | geheel geopend |
| closed | Gesloten - lekopening van 0.28 m, geen overstort >+5 m NAP | Gesloten - geen lekopening, wel overstort > +3 m NAP |
| float | drijvend (spleethoogte 10 m) | Open |
| sediment | drijvend op de hoogte van de sedimentstop (spleethoogte 5 m) | Gesloten |
| Finished | open drijvend of gesloten | Open of gesloten |

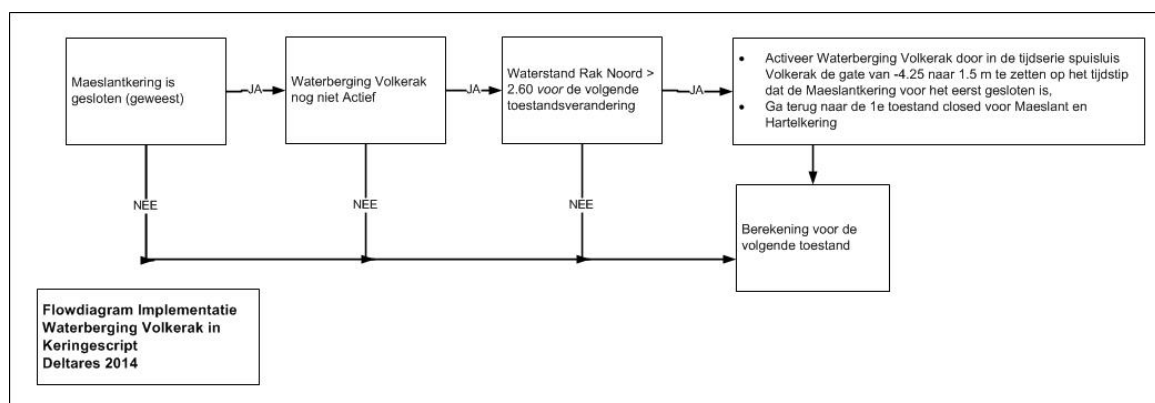
6.4 Algoritme Waterberging Volkerak

Waterberging Volkerak wordt actief indien de verwachte waterstand te Rak Noord, een meetlocatie in het Haringvliet net ten noorden van de Volkeraksluizen, hoger is dan 2.60 m +NAP. De 4 aanwezige spuisluizen worden dan geopend op het moment dat de Maeslantkering voor de 1^e keer in het geheel gesloten is. Verwachting betekent hier de waterstand te Rak Noord zoals die optreedt bij normaal functionerende Maeslant- en Hartelkering.

6.5 Implementatie

Het WAQUA-model van het Volkerak-Zoommeer is middels domeindecompositie gekoppeld aan het WAQUA-model van de Rijn Maasmonding. De vier aanwezige spuisluizen zijn opgenomen als vier enkele barriers. Voor de barriers is een verliescoëfficiënt (μ) van 0.9 aangenomen. Voor de 1^e berekening (toestand "open") met het gekoppelde model zijn de spuisluizen in het Volkerakcomplex gesloten. Het keringenscript is zodanig uitgebreid dat, naast tijdseries voor de aansturing van Maeslant- en Hartelkering, ook een tijdserie voor de aansturing van de vier spuisluizen worden gegenereerd.

De implementatie in het keringenscript van het algoritme waterberging Volkerak zoals beschreven in paragraaf 6.4 wordt schematisch weergegeven in Figuur 6.4.



Figuur 6.4 Implementatie algoritme "Waterberging Volkerak" in het keringenscript.

Na evaluatie van een berekening volgt een 2^e evaluatie waarin wordt bepaald, volgens bovenstaande implementatie van het algoritme, of waterberging Volkerak actief moet worden. Indien waterberging Volkerak actief wordt, dan wordt de serie berekeningen vervolgd met een berekening voor de 1^e gesloten toestand waarbij de spuisluizen geopend worden het moment dat de Maeslantkering voor de 1^e keer geheel gesloten is. Vanaf dat moment beïnvloedt waterberging Volkerak alle volgende toestandsveranderingen van Maeslant- en Hartelkering.

De naam van het keringscript is *Keringscript_waqua-rmm-hr2017_5-v1*.

7 Test implementatie Waterberging Volkerak voor extreme (WTI) condities

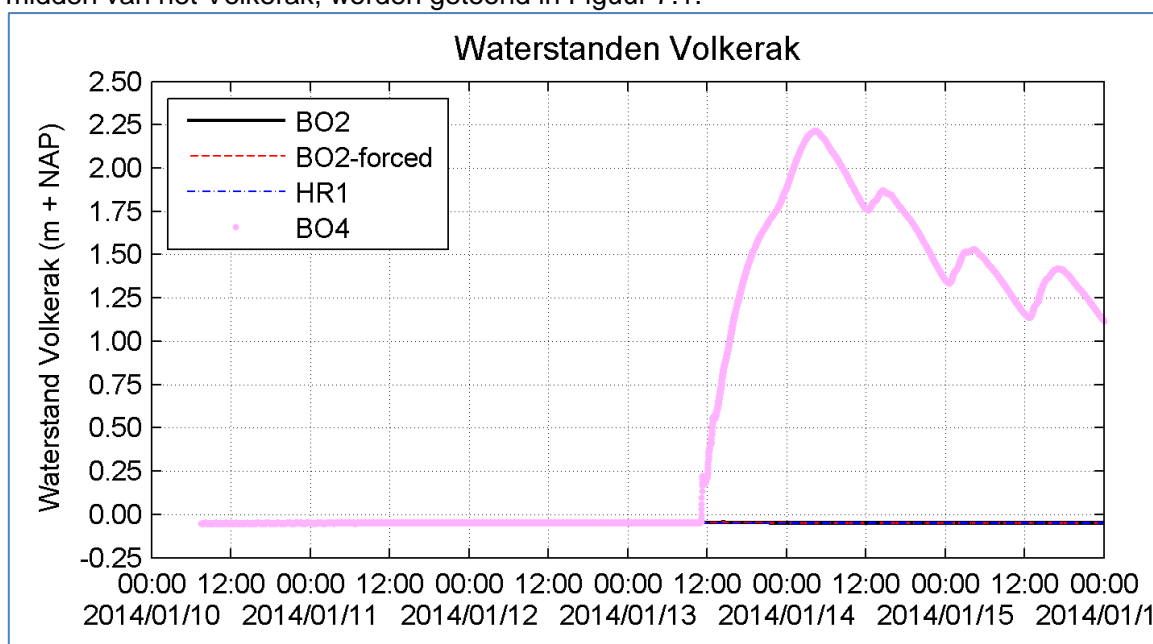
Het aangepaste keringenscript zoals beschreven in Hoofdstuk 7 is getest voor een 4-tal extreme WTI condities, zie Tabel 7.1. Het betreft de 4 mogelijke combinaties van het al dan niet sluiten van de Maeslantkering in combinatie met het al dan niet overschrijden van het waterstandscriterium te Rak Noord. Deze testberekeningen zijn overeenkomstig met 4 van de 8 combinaties die met het RMM model zijn doorgerekend.

Tabel 7.1 Testcondities keringenscript met waterberging Volkerak.

| Codering | Situatie | Waterberging Volkerak | WTI Conditie (Q Debiet Lobith; W Windsnelheid WNW) |
|------------|---|-----------------------|---|
| BO2 | Maeslantkering niet dicht, Rak Noord < 2.60 | <i>Inactief</i> | Q16000, W11 |
| BO2_forced | Maeslantkering niet dicht, Rak Noord > 2.0 Openen waterberging geforceerd door criterium te verlagen | <i>Inactief</i> | Q16000, W11 |
| HR1 | Maeslantkering wel dicht, Rak Noord < 2.60 | <i>Inactief</i> | Q600 , W27 |
| BO4 | Maeslantkering wel dicht, Rak Noord > 2.60 | <i>Actief</i> | Q16000, W19 |

Voor de initiële waterstand in het Volkerak Zoommeer is -0.05 m NAP aangehouden. Deze waarde is in overleg met RWS-WVL tot stand gekomen en sluit aan bij de waarde zoals deze gehanteerd wordt bij de hydraulische Toetsing van de maatregel “Waterberging Volkerak” in het kader van de pakkettoets 2011 (Verschelling, 2010).

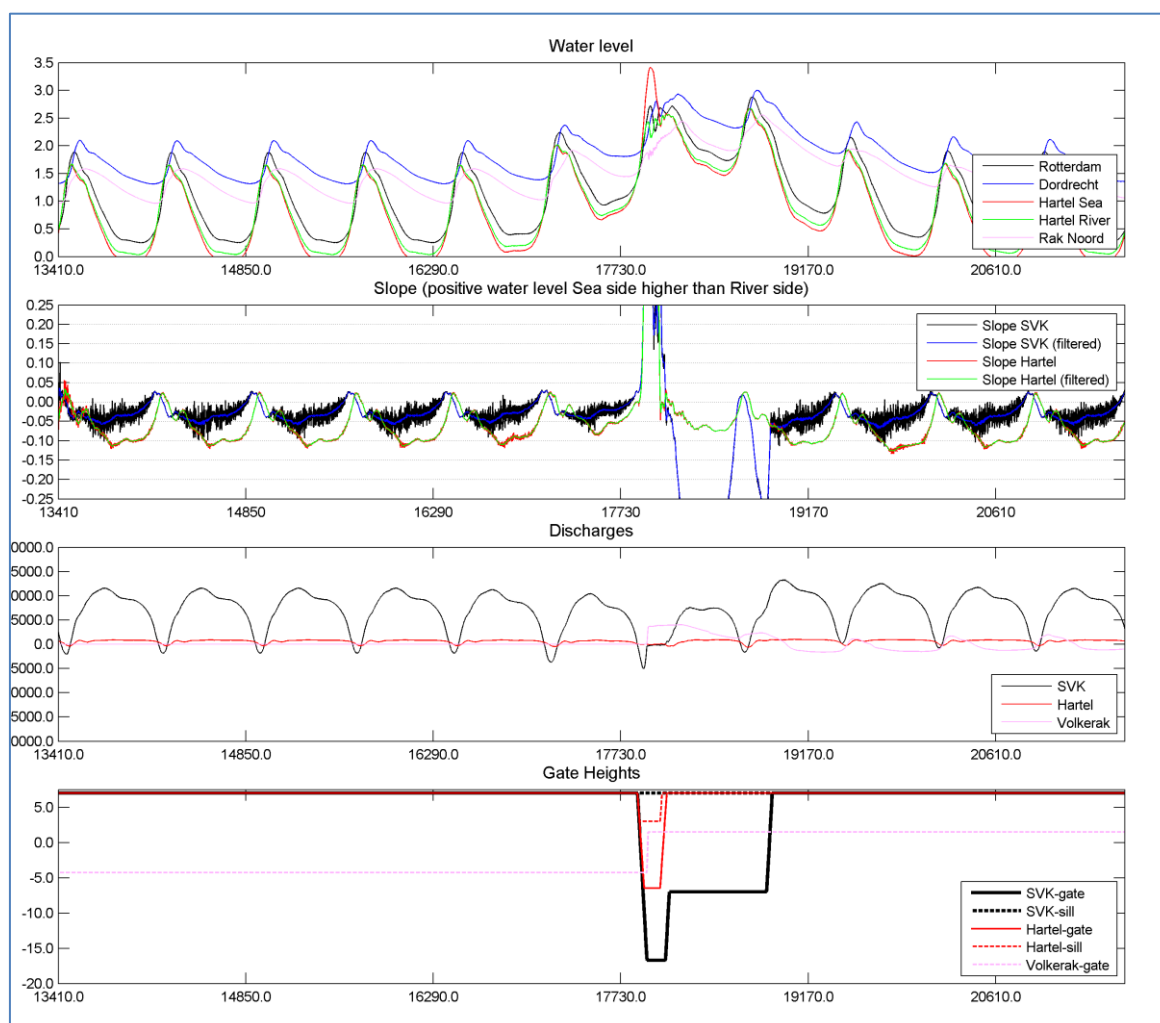
De berekende waterstanden in het Volkerak, locatie meetstation Galathea ongeveer in het midden van het Volkerak, worden getoond in Figuur 7.1.



Figuur 7.1 Waterstanden Volkerak, locatie Galathea, op basis van gekoppelde berekening.

Figuur 7.1 toont dat Waterberging Volkerak alleen actief wordt in berekening BO4. Dit is de enige berekening waarin zowel het waterstandscriterium te Rak Noord wordt overschreden en de Maeslantkering sluit.

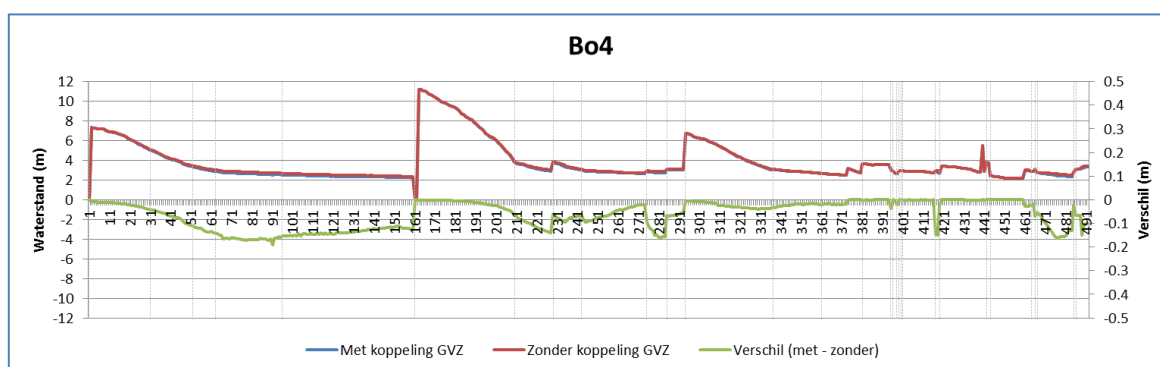
Het volledige gedrag van zowel Maeslantkering, Hartelkering en de Volkerakspuisluizen voor testconditie BO4 wordt getoond in Figuur 7.2. Uit deze figuur volgt dat waterberging Volkerak correct wordt geactiveerd wanneer deze maatregel daadwerkelijk geactiveerd moet worden, i.e. als de Maeslantkering voor de 1^e maal in het geheel gesloten is.



Figuur 7.2 Gedrag Maeslantkering, Hartelkering en Volkerakspuisluizen in gekoppelde berekening met actieve waterberging (BO4).

Het effect van Waterberging Volkerak op maximale waterstanden in de Rijn-Maasmonding voor conditie BO4, de enige conditie waarin waterberging Volkerak actief is, wordt getoond in Figuur 7.3.

Voor Haringvliet/ Hollandsch Diep resulteert waterberging Volkerak in een waterstandsverlaging van ongeveer 15 cm.



| Start bij | Taknaam | RKM |
|-----------|-----------------|-------------|
| 1 | Maas | 201 - 230 |
| 31 | Bergsche Maas | 231 - 251 |
| 52 | Amer | 252 - 262 |
| 63 | Hollands Diep | 980 - 1000 |
| 96 | Haringvliet | 1001 - 1029 |
| 161 | Waal | 912 - 960 |
| 210 | Nieuwe Merwede | 962 - 980 |
| 229 | Beneden Merwede | 962 - 975 |
| 243 | Oude Maas | 976 - 1013 |
| 275 | Dordtsche Kil | 980 - 988 |
| 285 | Noord | 976 - 984 |
| 294 | Lek | 947 - 989 |
| 337 | Nieuwe Maas | 990 - 1013 |
| 361 | Nieuwe Waterweg | 1014 - 1033 |

| Start bij | Taknaam | RKM |
|-----------|-------------------|-------------|
| 381 | Afgedamde Maas | 229 - 242 |
| 395 | Bakkerskil | 989 |
| 396 | Benelux Haven | 1029 |
| 398 | BotLek | 1032 |
| 399 | Breeddiep | 1030 |
| 400 | Brittanniehaven | 1018 |
| 401 | Calandkanaal | 1018 - 1033 |
| 417 | Dordtsche Biesbos | 982 - 983 |
| 419 | Hartelkanaal | 1 - 23 |
| 442 | Heusdensch Kanaal | 231 - 232 |
| 444 | Hollandse IJssel | 1 - 19, 994 |
| 464 | Koningshaven | 999, 1001 |
| 466 | Rietbaan | 977 |
| 467 | Spui | 996 - 1018 |
| 485 | Waalhaven | 1005 |
| 486 | Wantij | 1 - 7 |

Figuur 7.3 Effect Waterberging Volkerak op maximale waterstanden in de Rijn Maas monding (berekening BO4).

8 Conclusies

Bij dit project is met een nieuw rooster en een recentere Baseline schematisatie een nieuw WAQUA model voor het Volkerak-Zoommeer gebied ontwikkeld. Het nieuwe model is gevalideerd aan de hand van twee historische stormperiodes in 2002 en 2013. De met dit model berekende opzet en afwaaiing in het Volkerak-Zoommeer stemt goed overeen met metingen. Het gemiddelde verschil tussen meting en berekening in maximale op- en afwaaiing bedraagt ongeveer 2 cm.

Uit de berekeningen wordt verder geconcludeerd dat:

- De gebruikte ruwheid, een alluviale ruwheidsvoorspeller of een Manning formulering met een coëfficiënt met een grootte gelijk aan de waarde gebruikt in het IJsselmeer, nauwelijks invloed heeft op de berekende opzet/afwaaiing in het Volkerak-Zoommeer. Vanwege overeenstemming in waterbewegingskarakteristieken tussen het IJsselmeer en het Volkerak-Zoommeer, beiden momenteel een stagnant binnenmeer, wordt voorgesteld voor het Volkerak-Zoommeer een Manning formulering te hanteren met een waarde van de coëfficiënt die overeenstemt met de waarde die voor het IJsselmeer gebruikt is ($0.022 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$).
- Op basis van reproductie van maximale op- en afwaaiing heeft forcering van het Volkerak-Zoommeer met wind Tholen de voorkeur boven forcering met wind Stavenisse of wind Rotterdam.
Wanneer uit het oogpunt van consistentie met het WAQUA-RMM model gekozen wordt voor forcering met wind Rotterdam verslechtert de reproductie van de maximale op- en afwaaiing iets (een gemiddelde fout in maximale op- en afwaaiing van ongeveer 3 cm bij forcering met wind Rotterdam tegen 2 cm bij forcering met wind Tholen).

De validatie van het Volkerak-Zoommeer model is vooral gericht op de 1^e toepassing van het model, i.e. gekoppeld aan het RMM model ten behoeve van de inzet van de maatregel "Waterberging Volkerak" in het kader van de productieberekeningen voor WTI2017. Het keringenscript, waarmee de Maeslant- en Hartelkering worden aangestuurd in het RMM model, is zodanig uitgebreid dat ook de spuisluizen van het Sluizencomplex Volkerak worden aangestuurd. Dit is uitgebreid getest en de werking ervan is correct bevonden. De waterbalans en de zoutverdeling in het systeem zijn in het kader van dit project niet gevalideerd, omdat bij de eerste toepassing van de inzet van de maatregel waterberging Volkerak-Zoommeer onder extreme condities van hoge afvoer in het Rijn Maasmonding-gebied en storm, deze niet van belang zijn. Voor de Grevelingen, welke overigens wel onderdeel uitmaakt van het rekenrooster, is geen validatie uitgevoerd.

9 Referenties

- DHV. (2010, maart). *Waterberging Volkerak-Zoommeer: Hydraulische analyses en modelberekeningen*. DHV B.V. i.o.v. Rijkswaterstaat PDR; Projectbureau Waterberging Volkerak-Zoommeer, WA-RK20090670.
- Hoefsloot, F. (2014). *Actualisatie en bouw Baseline Zeeuwse Delta - Rapportage 13M2062, 24 januari 2014, (Concept)*. Bunnik: Lievense CSO.
- Jörissen, I. J. (2004). *Inzetbaarheid kunstwerken in Verdiepingslag VZM*. RWS, Rijkswaterstaat Bouwdienst.
- Lievense, P. (2002). *Waqua model Volkerak-Zoommeer, presentatie 2dh waterbewegingsmodel voor het Volkerak-Zoommeer*. Rijkswaterstaat directie Zeeland.
- Plieger, R. (2014). *Roosterschematisatie Zeeuwse Delta*. Delft: Deltares.
- Rijkswaterstaat. (2013). *Waterbase*. Retrieved from <http://live.waterbase.nl>
- Verschelling, E. (2010). *SNIP2A toetsing Volkerak-Zoommeer - Hydraulische Toetsing; Memo in opdracht van Programmadirectie Ruimte voor de Rivier, Deltares, 1002047-015*. Deltares.
- WL-Delft. (1973). *Inlaatsluis Volkerak - Onderzoek naar de krachten op het definitief schuifontwerp m.b.v. gelijkvormig elastisch model, M1129*. Waterloopkundig Laboratorium Delft.
- Zijl, F., Kerkhoven, D., Visser, T., & Kaaij, T. v. (2011). *WAQUA-model Rijn-Maasmonding, Modelopzet, Calibratie en verificatie*. Delft: Deltares.

A Maatregellijst Baseline-zwd-j12_5_v8hwvl met korte omschrijving

```
# Maatregellijst Baseline zwd-j12_5_v1
#
# De lijst is samengesteld op 31 januari 2013
#
#
# De naam voor deze variant is : zwd-j12_5_v8hwvl
# De basis voor deze variant is : zwd-j07_5_v8hwvl
#
#
# Versie 0.1 : Opzet van de lijst (Frans Hoefsloot)
#             Voor de Zeeuwse Delta is input gebruikt van de
#             maatregelenlijst welke door CSO is opgesteld.
#
# j12_5 beschrijft het gebied in 2012 voor zover de
# informatie beschikbaar is.
#
#
# *****
#                               Maatregellijst voor de ZWDELTA
# *****
#
# Toevoeging ecotopen 2012
#
# ../ZWD-mtr-12/vo_eco10_a1
# ../ZWD-mtr-12/ws_eco11_a1
#
# -----
# Toevoeging geometrie zomerbed Zeeuwse Delta 2012
# -----
# Noordzee
# lodingen Dienst Noordzee
# ../ZWD-mtr-12/nz_lodnz12_a1
# lodingen Marine
# ../ZWD-mtr-12/nz_lodef12_a1
#
# Voordelta (b1 = geen VIP)
# ../ZWD-mtr-12/nz_lovdn10_b1
# ../ZWD-mtr-12/nz_lovdz11_b1
#
# Binnenwateren (b1 = geen VIP)
# ../ZWD-mtr-12/vr_lod08_b1
# ../ZWD-mtr-12/vo_lod10_b1
# ../ZWD-mtr-12/os_lod10_b1
# ../ZWD-mtr-12/sk_lod10n_a1
# ../ZWD-mtr-12/ws_lod11_b1
#
```

```
# -----  
# Toevoeging peilingen havens Vlaanderen 2012  
# -----  
#  
../13M2062_lod/blan_lod12_a1  
../13M2062_lod/hazb_lod12_a1  
../13M2062_lod/oost_lod12_a1  
../13M2062_lod/nieu_lod12_a1  
#  
# -----  
# Toevoeging lodingen Vlaanderen 2012  
# -----  
#  
../13M2062_lod/ant_lod12_w1  
../13M2062_lod/boz_lod12_a1  
../13M2062_lod/rup_lod13_a1  
../13M2062_lod/bez_lod12_a1  
#  
# -----  
# Reparatie NI- Vlaanderen  
# -----  
#  
#../ZWD-mtr-12/zs_rep12_a1  
#  
# -----  
# Einde maatregellijst  
# -----
```

B Memo: Aanpassingen in WAQUA en Baseline t.b.v. WTI2017 schematisatie

Memo

Aan
Martin Scholten, WTI2017 (Alfons Smale)

| | | |
|-------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Datum | Kenmerk | Aantal pagina's |
| 11 september 2014 | 1209448-005-ZKS-0007 | 15 |
| Van | Doorkiesnummer | E-mail |
| David Kerkhoven | +31(0)88335 8145 | david.kerkhoven@deltares.nl |

Onderwerp
Aanpassingen in WAQUA t.b.v. WTI2017 schematisatie

1.1 Inleiding

Om op een consistente en reproduceerbare manier WAQUA schematisaties te verkrijgen, wordt er gebruikt gemaakt van een Baseline schematisatie/database. Hierin wordt de geometrie en inrichting van het Volkerak-Zoommeer gebied beschreven. Deze geometrie en inrichting wordt binnen Baseline vertaald naar bestanden en onderdelen die direct als invoer in een WAQUA model kunnen worden gebruikt.

Wanneer het rekenrooster relatief grof is ten opzichte van de in Baseline beschikbare geometrische data, dan kan het geautomatiseerd aanmaken van een WAQUA schematisatie in ongewenste diepten/overlaten/etc. resulteren.

Voor het Volkerak-Zoommeer geldt dit vooral in de directe nabijheid van kunstwerken, maar ook in de gebieden die geprojecteerd worden naar wateren van bijvoorbeeld slechts twee roostercellen breed (zoals ondermeer het Schelde Rijnkanaal en het Bathse Spuikanaal).

Voor de validatie van het Volkerak-Zoommeer model is, gezien de urgentie voor inzet binnen WTI2017, besloten om deze onvolkomenheden direct handmatig in de WAQUA-invoer, te herstellen. Deze memo bevat een overzicht van de geconstateerde onvolkomenheden en de uitgevoerde herstelacties in WAQUA. Deze herstelacties zijn zodanig uitgevoerd en beschreven, zodat deze in een later stadium alsnog als Baseline maatregel in de Baseline-schematisatie kunnen worden geïmplementeerd/opgenomen.

Op 24 januari 2014 heeft CSO aan Deltares Baseline-schematisatie *Baseline-zwd-j12_5_v8hwvl-v1* opgeleverd. Nadat een aantal zaken aan deze Baseline schematisatie zijn toegevoegd/aangepast (ruwheidscode, rivierkilometercodering en WTI-uitvoerlocaties in Volkerak-Zoommeer), is er een nieuwe Baseline-schematisatie gemaakt *Baseline-zwd-j12_5-v2* (=identiek aan *Baseline-zwd-hr2017_5-v1*). Deze schematisatie is het uitgangspunt geweest voor de bouw van het Grevelingen-Volkerak-Zoommeer WAQUA-model. Wijzigingen die voorlopig alleen in WAQUA zijn doorgevoerd, dienen op een later moment nog aan deze Baseline-schematisatie, zijnde *Baseline-zwd-j12_5-v2*, te worden toegevoegd.

1.2 Ruwheidscode

In de door CSO-aangeleverde Baseline-schematisatie *Baseline-zwd-j12_5_v8hwvl-v1*, was als ruwheidscode voor de gehele Zuidwestelijke Delta een ruwheidscode gehanteerd van 799. Deze code is in de Baseline-schematisatie *Baseline-zwd-j12_5_v8hwvl-v1*, in het Volkerak-Zoommeer domein, aangepast in ruwheidscode 421.

Hiervoor is tevens in het WAQUA-bestand *roughcombination.karak_5_vast* de definitie van ruwheidscode 421 toegevoegd (# Versie 0.85: Datum 28-08-2014 Toevoegen code 421 (Grevelingen-Volkerak-Zoommeer) # T.b.v. Zeeuwse Delta). Hieraan is een waarde van 0.022 s/m^{1/3} toegekend (zoals gebruikt is in het WAQUA-IJsselmeemodel) en wordt uitgegaan van een ruwheid gebaseerd op Manning formulering.

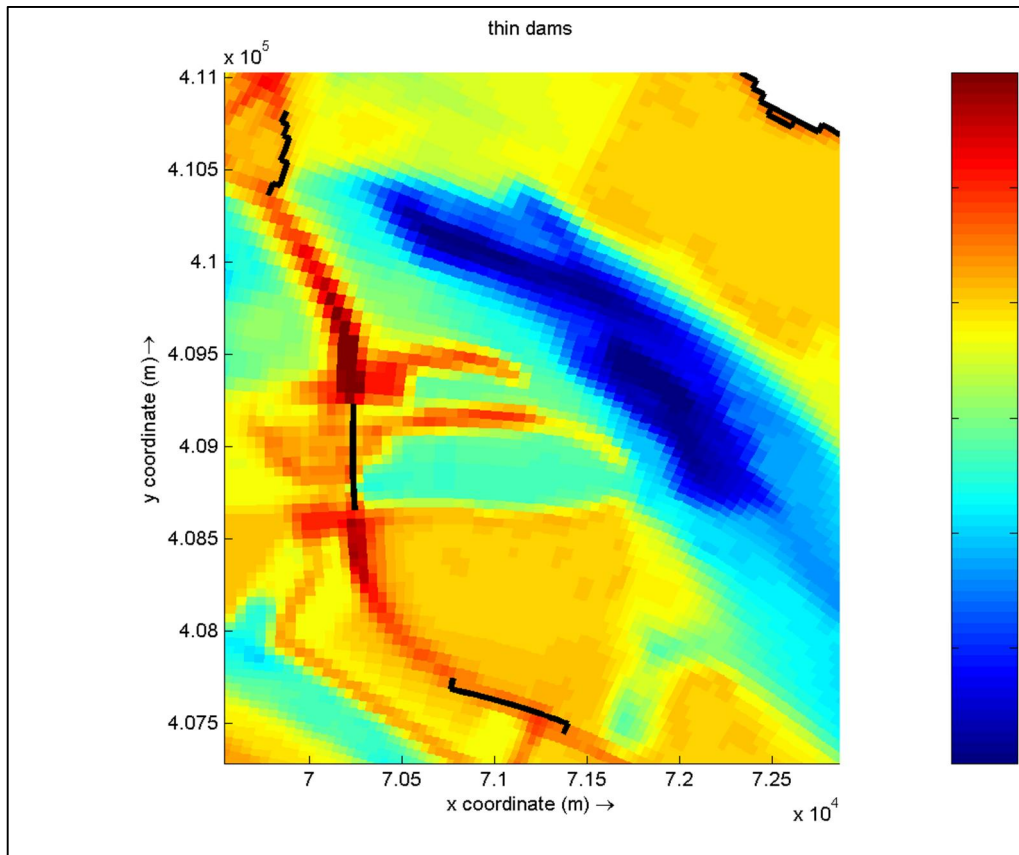
1.3 Schotjes

Na generatie van de WAQUA-schematisatie uit Baseline zijn berekeningen gedaan waarbij de waterstanden in het Volkerak-Zoommeer opliep naar +5 m NAP. Hiervoor werd achterin het Volkerak een waterstands-randvoorwaarde opgedrukt, welke oploopt van 0 naar 5 meter over een simulatieperiode van enkele dagen. Bij deze berekeningen werd geconstateerd dat in een aantal gebieden langs het Volkerak-Zoommeer lekkage optreden naar gebieden/domeinen buiten het Volkerak-Zoommeer. Lekkages werden waargenomen ter hoogte van de overgang Volkerak-Grevelingen ten noorden van de Krammersluizen, ter hoogte van de Krammersluizen, bij de overgang Volkerak-Oosterschelde ten zuiden van de Krammersluizen en bij het gebied ten zuiden en ten zuidwesten van de Kreekraksluizen.

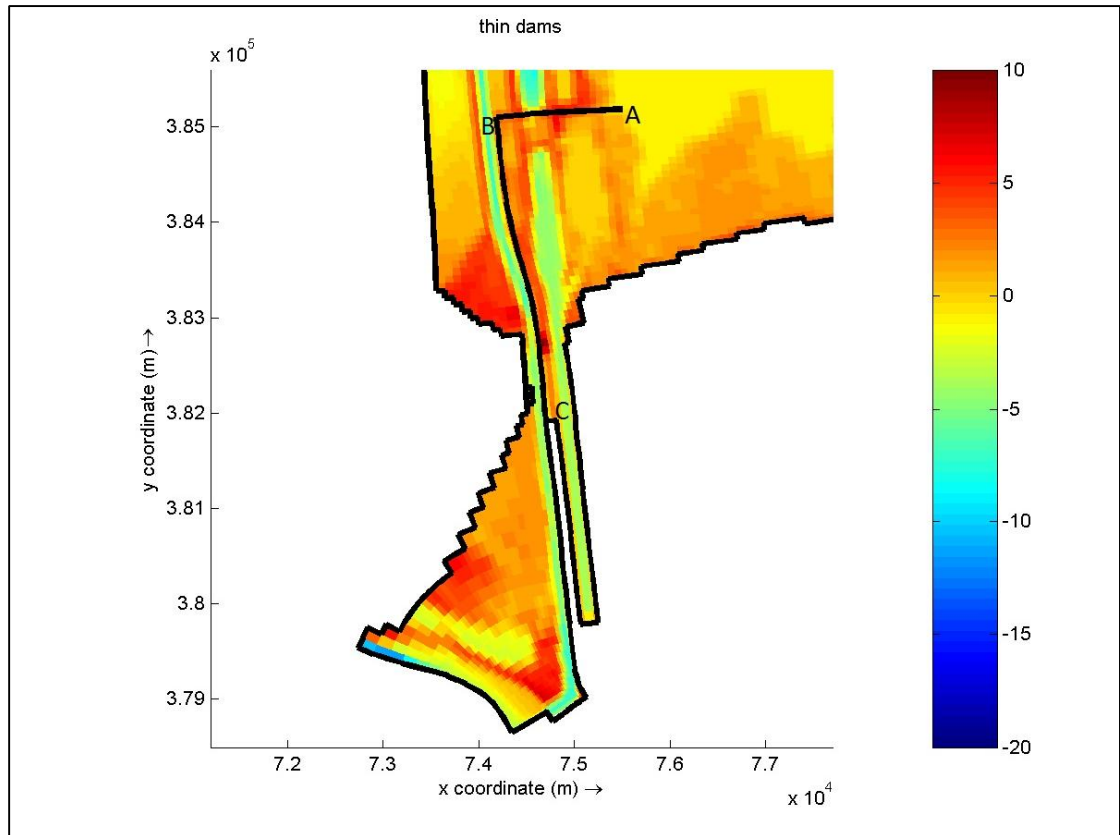
Er wordt opgemerkt dat 5 meter mogelijk te extreem is, maar de eerste lekkages in het domein werden reeds zichtbaar bij waterstanden van +3m NAP.

Om te voorkomen dat dit soort ongewenste effecten tijdens de extreme omstandigheden zouden optreden (en deze de waterstanden zouden kunnen beïnvloeden), is besloten om lokaal schotjes (thin dams) te plaatsen. Dit is in overleg gedaan met WTI2017 (Alfons Smale, Deltares).

Er zijn nu handmatig in WAQUA op de volgende locaties extra schotjes geplaatst, zie figuur 1 en figuur 2.



Figuur 1. Schotjes op 3 locaties nabij de Krammersluizen, zie dikke zwarte lijnen.



Figuur 2. Schotjes over en nabij de Kreekraksluizen: Sectie A-> B loopt over de Kreekraksluizen, Sectie B->C loopt van de Kreekraksluizen via de rechterzijde van het Bathse-Spuikanaal omlaag tot aan positie C.

Voordat tot reparatie in Baseline wordt overgegaan, dient lokaal nabij de Krammersluizen nogmaals goed naar de beschikbare hoogtemodel/data gekeken te worden, aangezien de de hoogte van de Philipsdam tussen Krammer en Laagbekken/Oosterschelde niet overal correct in Baseline lijkt te zitten. Mogelijk moet hier data uit een ander hoogte bestand (bv: AHN2) worden toegevoegd.

1.4 Bodemhoogtes

Na generatie van de WAQUA-schematisatie uit Baseline werd zichtbaar dat, met name in de nabijheid van kunstwerken en bij smalle riviertakken, de bodem niet geheel correct in WAQUA werd weergegeven. Dit was enerzijds het gevolg van het gebruik van een relatief grof rooster in deze gebieden, anderzijds is dit het gevolg van beperkte of afwezigheid van bodem-informatie in de nabijheid van kunstwerken (Volkerak inlaatsluis, Krammersluizen) en de kwaliteit ervan.

Tevens is geconstateerd dat in het Zuidelijke deel van het Bathse Spuikanaal en het Schelde Rijnkanaal een lodingsbestand is gehanteerd, waarin positieve bodemwaarden staan in plaats van negatieve waarden. Het gaat hier om waarden uit het bronbestand: **ws_lod11_b1**. Bij projectie naar WAQUA zijn de zuidelijke delen van deze twee kanalen daardoor dichtgezet met

positieve bodem waarden, waardoor het water niet tot aan de Bathse Spuisluizen kon doorstromen.

Op 2 locaties in WAQUA is de bodem daarom nu aangepast met behulp van boxen:

1. Zie figuur 2. Bodem Bathse Spuikanaal en Schelde Rijnkanaal zijn aangepast door lokaal bodemboxen te definiëren.

Box achterin Schelde-Rijn-kanaal

BOX MNMN=(14, 510; 22, 512), CONST_values= -3.85

BOX MNMN=(10, 513; 22, 513), CONST_values= 3.40

Boxen achterin Baths Spuikanaal

BOX MNMN=(16, 516; 25, 516), CONST_values= -7.00

BOX MNMN=(16, 517; 22, 517), CONST_values= -2.50

BOX MNMN=(13, 516; 15, 517), CONST_values= -7.00

BOX MNMN=(13, 518; 15, 518), CONST_values= -2.50

BOX MNMN=(9, 516; 12, 518), CONST_values= -7.00

BOX MNMN=(9, 519; 12, 520), CONST_values= -2.50

BOX MNMN=(8, 516; 8, 520), CONST_values= -7.00

BOX MNMN=(8, 521; 8, 522), CONST_values= -2.50

BOX MNMN=(7, 517; 7, 520), CONST_values= -7.00

BOX MNMN=(7, 521; 7, 522), CONST_values= -2.50

BOX MNMN=(6, 518; 6, 522), CONST_values= -7.00

BOX MNMN=(6, 523; 6, 524), CONST_values= -2.50

BOX MNMN=(5, 519; 5, 525), CONST_values= -7.00

BOX MNMN=(5, 526; 5, 535), CONST_values= -2.50

BOX MNMN=(3, 519; 4, 535), CONST_values= -7.00

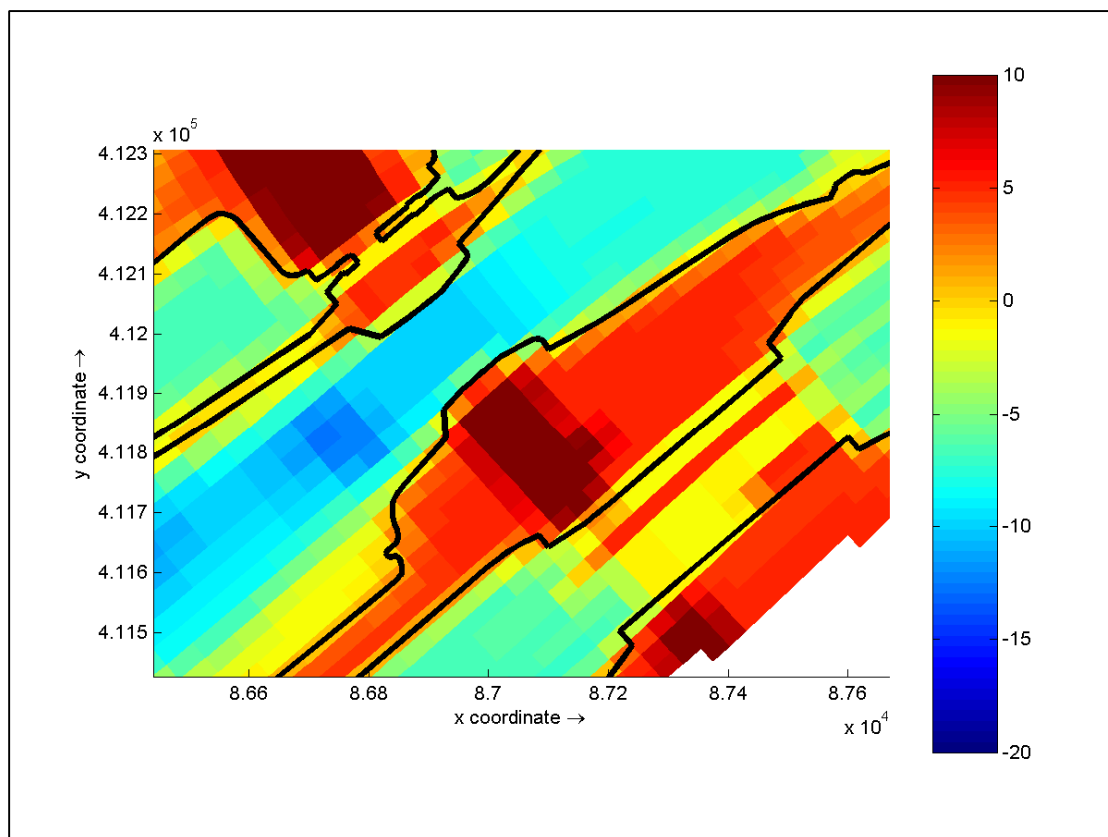
BOX MNMN=(2, 523; 2, 535), CONST_values= -2.50

2. Zie figuur 3. Bodem ter hoogte van de Volkerak-inlaatsluis. Bodem is naar -10 meter gezet.

BOX MNMN= (87, 2138; 91, 2143) const = -10.0

De bodemboxen in WAQUA overschrijven lokaal de door Baseline gegenereerde WAQUA-bodem.

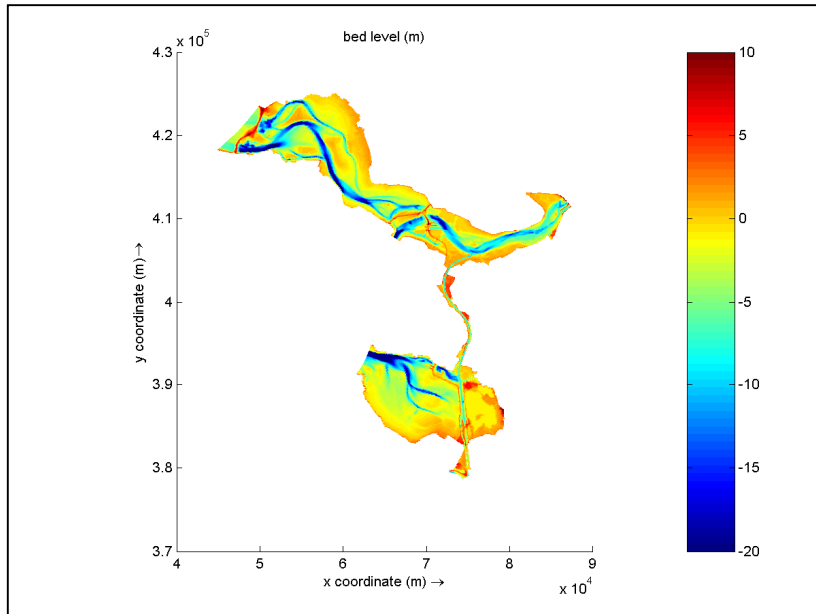
Voordat tot reparatie in Baseline wordt overgegaan, dient te worden uitgezocht waarom de waarden in het bronbestand **ws_lod11_b1** verkeerd zijn en of dit enkel en alleen gekoppeld is aan het teken, of dat de mogelijke oorzaak gezocht moet worden in gebruik van een ander referentievlak binnen deze dataset.



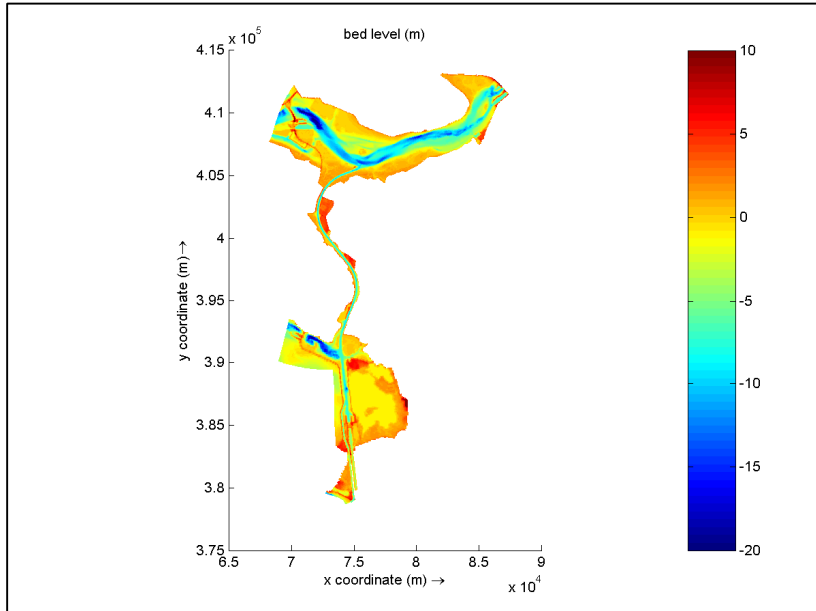
Figuur 3. Bodembox nabij de inlaatsluis Volkerak.

1.5 Aanpassing computational grid t.b.v. WTI2017

Tijdens de testberekeningen met WAQUA werd geconstateerd dat tijdens de berekening ook waarden in de Grevelingen en de Oosterschelde werden berekend. Omdat in het kader van WTI2017 gekoppeld met het WAQUA-RMM model gerekend gaat worden, is gekeken of het computational grid niet verkleint kon worden teneinde de rekestijd te optimaliseren. Onderstaande aanpassing aan het computational grid is doorgevoerd.



Figuur 4. Gehele computational grid voor aanpassing t.b.v. WTI2017



Figuur 5. Gehele computational grid na aanpassing t.b.v. WTI2017 (zonder Grevelingen en Oosterschelde)

1.6 Partitionering middels VISIPART

Nadat het computational grid is verkleind en de WAQUA-schematisatie van Volkerak-Zoommeer aan de WAQUA-schematisatie van het RMM is gekoppeld, zijn er aanvullende berekeningen in combinatie met VISIPART gedaan om de partitieverdeling verder te optimaliseren.

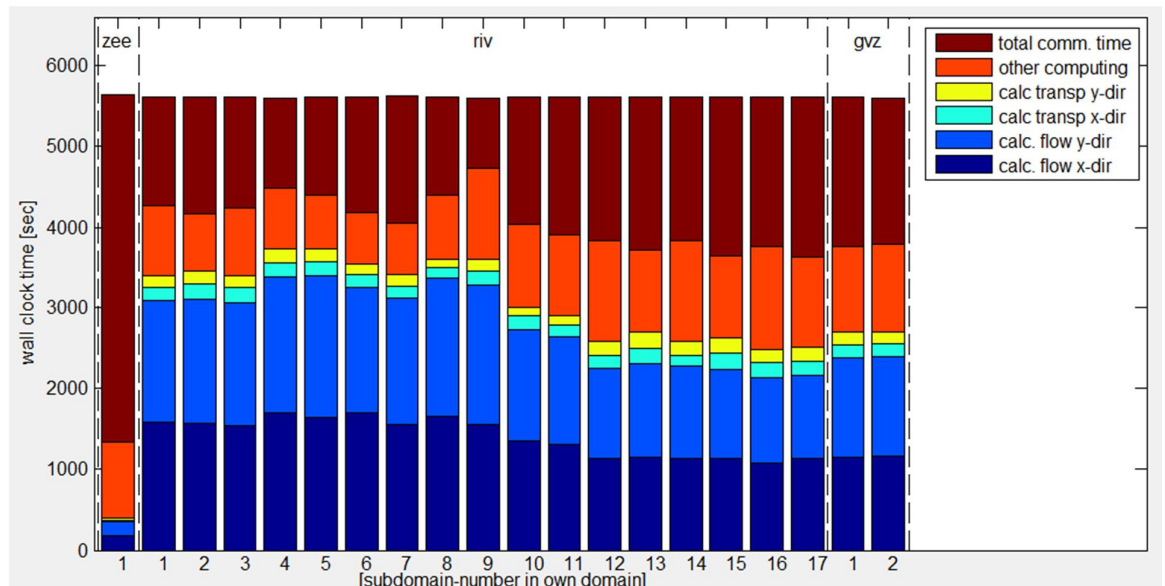
Een dergelijke exercitie is nodig om te bepalen of de automatisch gekozen partitieverdeling door WAQUA ook wel de meest optimale partitieverdeling is. Uiteindelijk is een voorlopige partitieverdeling. Deze partitieverdeling heeft de bestandnamen:

- Area-gvz-decomp.riv-gvz-hr2017 voor het Volkerak-Zoommeer domein
- Area-riv-decomp.riv-gvz-hr2017 voor het RMM-domein.

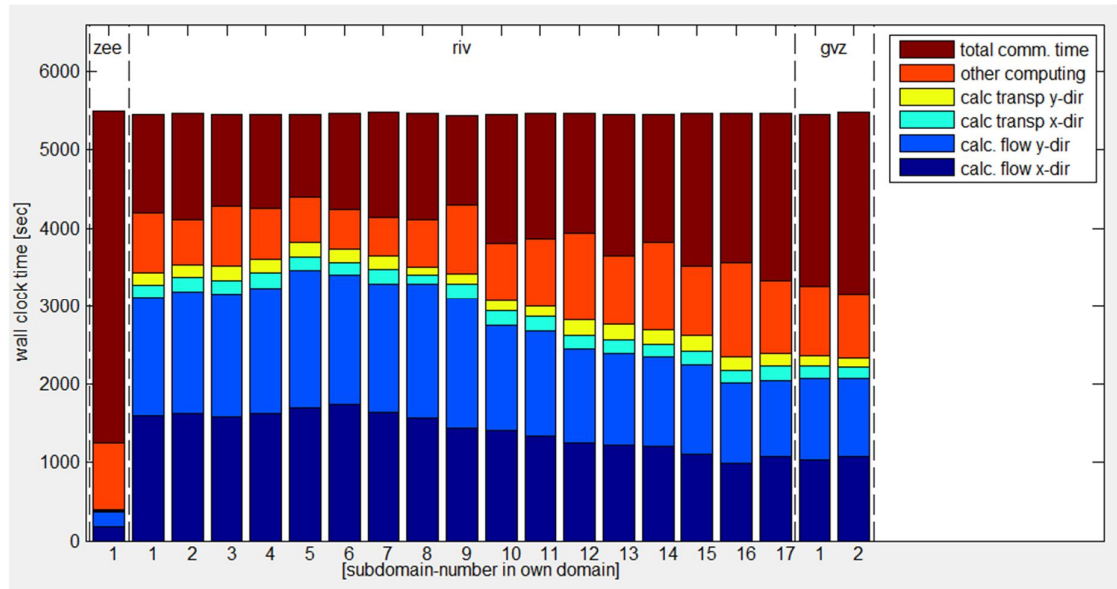
De partitieverdeling is tot stand gekomen op basis van 5 quad-core nodes bij Deltares en een optimalisatie van 1 (zee), 17 (rivier), 2 (gvz) domeinen (20 processoren/partities). Deze partitieverdeling zou nog verder geoptimaliseerd kunnen worden ondermeer door aanpassing/reductie van koppelranden, grotere riviertakken in een partitie onder te brengen, verschillende forceringen door te rekenen, etc.. Aangezien een dergelijke optimalisatie hardware afhankelijk is, is een dergelijke optimalisatie nu niet compleet uitgevoerd. Indien deze schematisatie vaker op het h5-cluster zal worden ingezet, dan wordt dit wel geadviseerd.

Let op:

Deze partitieverdeling is gedeeltelijk geoptimaliseerd voor de h5-hardware bij Deltares. Aangezien de partitieverdeling op andere hardware kan verschillen met die van het h5-cluster, wordt toekomstige gebruikers geadviseerd om een dergelijke exercitie ter herhalen voorafgaand aan grootschalige rekenpartijen.



Figuur 6 Load balance zonder VISIPART-optimalisatie van de totale DDHOR bo2-testberekening (Q16000, W11) op 20 partities, SIMONA 2014, aangepast computational grid Volkerak-Zoommeer (referentie).



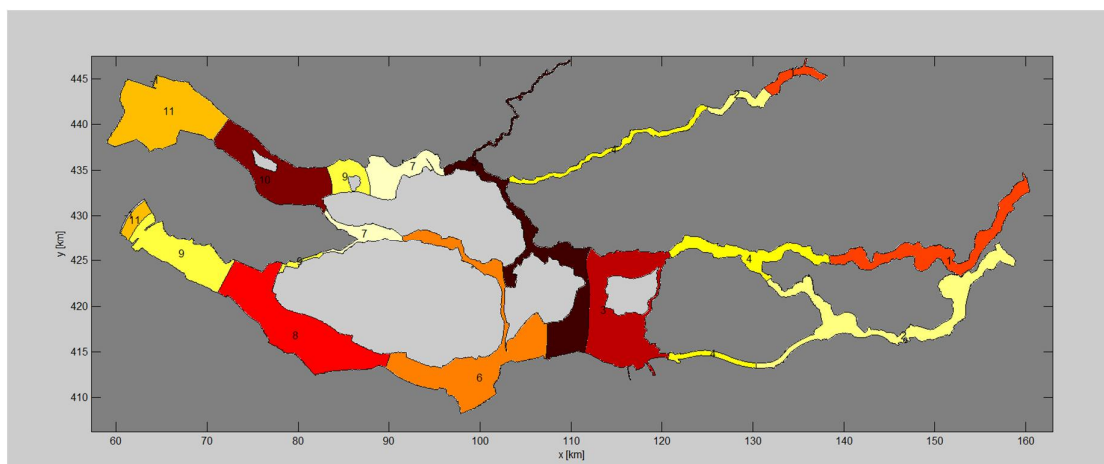
Figuur 7 Load balance na enkele VISIPART-optimalisaties van de totale DDHOR bo2-testberekening (Q16000, W11) op 20 partities, SIMONA 2014, aangepast computational grid Volkerak-Zoommeer.

De totale winst die is bereikt na enkele VISIPART-optimalisaties is circa 2.6 procent.

Belangrijke opmerking i.r.t. optimalisatie van partitieverdeling:

De optimalisatie van de partitieverdeling is sterk afhankelijk van de samenstelling van de beschikbare hardware. De door Deltares gekozen partitieverdeling voor zee-, riv- en gvz-domein is slechts ter indicatie en is gebaseerd op berekeningen op het h5-rekencluster (quad-core i7), SIMONA 2014 en een partitieverdeling over 20 partities.

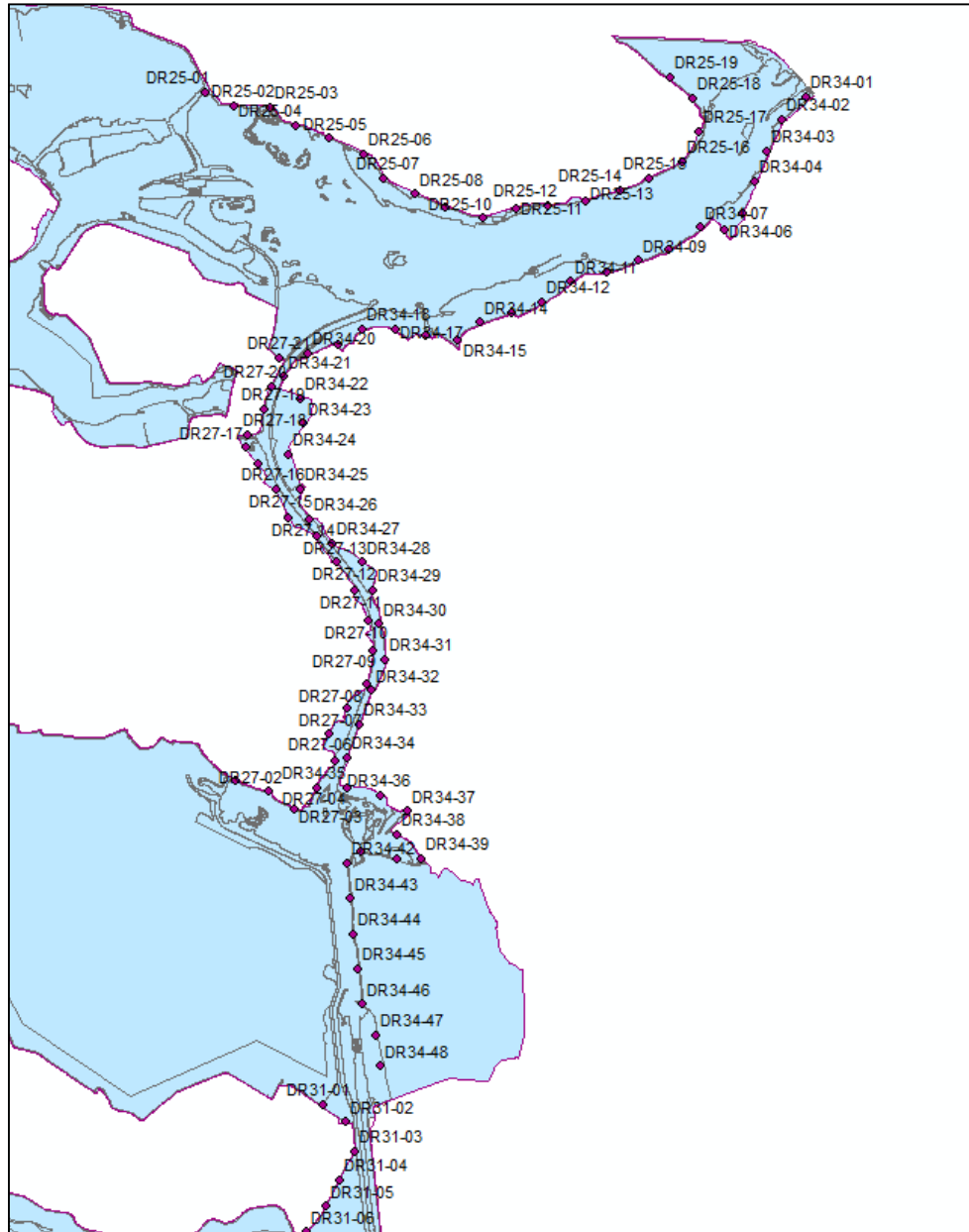
Bij toepassing van alleen het RMM-model in het kader van de bepaling van de Concept Randvoorwaarden 2011 is door Svasek Hydraulics gerekend op 12 partities. Bij Svasek Hydraulics rekende men met dual socket 6 core machines (12 processoren). Uit testen voorafgaand aan de productieberekeningen was gebleken dat qua doorlooptijd onderstaande partitie voor het riv-domein voor hun de meest optimale situatie zou zijn.



Figuur 8 Voorbeeld van de gehanteerde partitieverdeling over 12 partities door Svasek Hydraulics voor de productiesommen Concept Randvoorwaarden 2011.

1.7 WTI-uitvoerpunten Volkerak-Zoommeer

In overleg met WTI2017 (Alfons Smale) zijn voor de dijkringen 25, 27, 31 en 34 lange het Volkerak-Zoommeer in totaal 94 uitvoerlocaties toegevoegd in *Baseline-zwd-j12_5_v8hwwl-v1*.



Figuur 9. Toevoegde 94 uitvoerlocatie in het Volkerak-Zoommeer t.b.v. WTI2017.

Aangeleverde Tabel met 94 uitvoerlocaties:

| Locatie | | | Locatie | | |
|---------|--------|--------------|---------|--------|--------------|
| x | y | omschrijving | x | y | omschrijving |
| 70362 | 411546 | DR25-01 | 87157 | 411428 | DR34-01 |
| 71190 | 411179 | DR25-02 | 86448 | 410782 | DR34-02 |
| 72204 | 411142 | DR25-03 | 86056 | 409918 | DR34-03 |
| 72900 | 410636 | DR25-04 | 85704 | 409063 | DR34-04 |
| 73813 | 410267 | DR25-05 | 85350 | 408191 | DR34-05 |
| 74786 | 409838 | DR25-06 | 84883 | 407712 | DR34-06 |
| 75351 | 409154 | DR25-07 | 84190 | 407779 | DR34-07 |
| 76241 | 408704 | DR25-08 | 83324 | 407180 | DR34-08 |
| 77087 | 408341 | DR25-09 | 82475 | 406852 | DR34-09 |
| 78143 | 408037 | DR25-10 | 81578 | 406521 | DR34-10 |
| 79066 | 408294 | DR25-11 | 80581 | 406269 | DR34-11 |
| 79929 | 408387 | DR25-12 | 79756 | 405700 | DR34-12 |
| 80982 | 408521 | DR25-13 | 78937 | 405390 | DR34-13 |
| 81972 | 408806 | DR25-14 | 78050 | 405122 | DR34-14 |
| 82777 | 409154 | DR25-15 | 77433 | 404639 | DR34-15 |
| 83695 | 409607 | DR25-16 | 76523 | 404769 | DR34-16 |
| 84170 | 410455 | DR25-17 | 75688 | 404931 | DR34-17 |
| 83971 | 411385 | DR25-18 | 74746 | 404936 | DR34-18 |
| 83351 | 411973 | DR25-19 | 74068 | 404517 | DR34-19 |
| 71224 | 392354 | DR27-01 | 73240 | 404253 | DR34-20 |
| 72153 | 392028 | DR27-02 | 72557 | 403618 | DR34-21 |
| 72875 | 391535 | DR27-03 | 73045 | 403002 | DR34-22 |
| 73492 | 392149 | DR27-04 | 73121 | 402311 | DR34-23 |
| 73989 | 392910 | DR27-05 | 72711 | 401449 | DR34-24 |
| 73833 | 393658 | DR27-06 | 73053 | 400480 | DR34-25 |
| 74338 | 394352 | DR27-07 | 73292 | 399627 | DR34-26 |
| 74871 | 395029 | DR27-08 | 73918 | 398958 | DR34-27 |
| 75053 | 395975 | DR27-09 | 74768 | 398427 | DR34-28 |
| 74935 | 396798 | DR27-10 | 75035 | 397646 | DR34-29 |
| 74546 | 397630 | DR27-11 | 75227 | 396712 | DR34-30 |
| 74050 | 398448 | DR27-12 | 75388 | 395727 | DR34-31 |
| 73475 | 399143 | DR27-13 | 75023 | 394860 | DR34-32 |
| 72681 | 399666 | DR27-14 | 74655 | 393920 | DR34-33 |
| 72350 | 400452 | DR27-15 | 74358 | 392970 | DR34-34 |

| | | | | | |
|-------|--------|---------|-------|--------|---------|
| 71856 | 401201 | DR27-16 | 74319 | 392148 | DR34-35 |
| 71524 | 401630 | DR27-17 | 75256 | 391921 | DR34-36 |
| 71554 | 401978 | DR27-18 | 76013 | 391488 | DR34-37 |
| 72002 | 402705 | DR27-19 | 75722 | 390822 | DR34-38 |
| 72223 | 403343 | DR27-20 | 76393 | 390147 | DR34-39 |
| 72445 | 404150 | DR27-21 | 75717 | 390162 | DR34-40 |
| 73679 | 383285 | DR31-01 | 74725 | 390363 | DR34-41 |
| 74309 | 382815 | DR31-02 | 74342 | 390034 | DR34-42 |
| 74532 | 381997 | DR31-03 | 74442 | 389040 | DR34-43 |
| 74143 | 381199 | DR31-04 | 74504 | 388063 | DR34-44 |
| 73732 | 380447 | DR31-05 | 74629 | 387074 | DR34-45 |
| 73208 | 379740 | DR31-06 | 74758 | 386093 | DR34-46 |
| | | | 75145 | 385229 | DR34-47 |
| | | | 75275 | 384369 | DR34-48 |

Door het toevoegen van schotjes (zie paragraaf 1.3) ligt uitvoerlocatie DR34-48 op een locatie die altijd droog blijft omdat deze achter een schotje ligt.

Op een later moment wordt bovenstaande set uitvoerlocaties uitgebreid met uitvoerlocaties met een grotere resolutie. Deze uitvoerlocaties worden aan Baseline toegevoegd op basis van drie samengestelde sets: HRbasis, HRExtra en HR50. Deze punten zullen op consistente wijze met WAQUA-RMM worden bepaald en worden opgenomen.

1.8 Aanpassing naamgeving rivierkilometerpunten

De Attributes *Modelkilometer* en *Kilometer* waren in het object *rivierkilometer_punten* aanvankelijk gevuld met waarde *Null*. Tevens was in de Attribute *Name*, op vele plekken de naamgeving leeg. De informatie van deze bestanden was gebaseerd op gegevens uit het LSM (Landelijk Sobek Model).

| OBJECTID | Shape | MODELKILOMETER | KENMERK | KILOMETER | ID | NAME | TYPE | PARENTID | USERID | X | Y |
|----------|-------|----------------|--------------|-----------|-------------------|--------------------------|--|-------------------------|------------|-------------|---|
| 1 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | 405 | ZIV_KatsheHeuleAfsluiter | Flow - Weir | SBK_WEIR | 49548.5099 | 395914.2483 | |
| 2 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | VMDummyKST | | Flow - Weir | SBK_WEIR | 49442.497 | 395804.2216 | |
| 3 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | 371 | ZIV_KatsheHeule | Flow - General Structure | SBK_GENERALSTRUC | 49397.0399 | 395833.9533 | |
| 4 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_S_5670723 | Sputius Bath | Flow - General Structure | SBK_GENERALSTRUC | 74459.0516 | 381409.3774 | |
| 5 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | DUMMY201 | DUMMY201 | Flow - Connection Node with Storage and Lateral Flow | SBK_CHANNEL_STORCONNSLA | 54310.7288 | 398999.1925 | |
| 6 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | On_098918 | De Eendracht | Flow - Connection Node with Storage and Lateral Flow | SBK_CHANNEL_STORCONNSLA | 73713.2989 | 398964.5939 | |
| 7 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_IL_P_Vok_1 | | Flow - Connection Node with Storage and Lateral Flow | SBK_CHANNEL_STORCONNSLA | 75973.6584 | 406500.8839 | |
| 8 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_IL_P_Vok_3 | district508_watervoer | Flow - Connection Node with Storage and Lateral Flow | SBK_CHANNEL_STORCONNSLA | 73894.162 | 390486.6196 | |
| 9 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_R_P_Vok_001_4 | | Flow - Connection Node with Storage and Lateral Flow | SBK_CHANNEL_STORCONNSLA | 63842.8699 | 408757.8343 | |
| 10 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_R_P_Vok_080_2 | district508_watervoer | Flow - Connection Node with Storage and Lateral Flow | SBK_CHANNEL_STORCONNSLA | 71947.3778 | 391030.0328 | |
| 11 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | 135 | ZZS_KrammerSluizen | Flow - Pump Station | SBK_PUMP | 69289.2031 | 409594.6123 | |
| 12 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | 137 | ZZS_VoerkraksSluis | Flow - Pump Station | SBK_PUMP | 7764.2071 | 384238.3623 | |
| 13 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | 141 | ZZS_BergseDiepSluis | Flow - Pump Station | SBK_PUMP | 70545.3512 | 392416.4231 | |
| 14 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_43 | Veersdam | Flow - Pump Station | SBK_PUMP | 33840.4549 | 401381.3756 | |
| 15 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_56 | | Flow - Pump Station | SBK_PUMP | 61707.5122 | 395933.0537 | |
| 16 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_57 | | Flow - Pump Station | SBK_PUMP | 73897.185 | 381524.6912 | |
| 17 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_59 | | Flow - Pump Station | SBK_PUMP | 69711.5834 | 408936.8757 | |
| 18 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_59 | | Flow - Pump Station | SBK_PUMP | 69669.7955 | 409235.0444 | |
| 19 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_HevePomp | | Flow - Pump Station | SBK_PUMP | 68860.9131 | 410810.7428 | |
| 20 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_S_564553 | Volkeraksluizen | Flow - Pump Station | SBK_PUMP | 86786.5411 | 412400.252 | |
| 21 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_S_5684187 | Kroekeraksluis | Flow - Pump Station | SBK_PUMP | 77655.715 | 384193.0482 | |
| 22 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_VokDebiet | | Flow - Pump Station | SBK_PUMP | 87369.6631 | 412541.3219 | |
| 23 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_S_P_5630939 | Deppsluis | Flow - Pump Station | SBK_PUMP | 70320.8437 | 391879.739 | |
| 24 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_S_P_5670458 | Krammeraksluis | Flow - Pump Station | SBK_PUMP | 69796.6508 | 408377.2458 | |
| 25 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_S_P_5675127 | Philippadam | Flow - Pump Station | SBK_PUMP | 69814.7204 | 411153.1847 | |
| 26 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | ZIV_S_P_5678406 | Brouweradam Noord | Flow - Pump Station | SBK_PUMP | 48996.1801 | 422004.9626 | |
| 27 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | 136 | | Flow - Cross Section | SBK_PROFILE | 70053.6137 | 409705.7297 | |
| 28 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | 138 | | Flow - Cross Section | SBK_PROFILE | 77965.292 | 384272.6187 | |
| 29 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | 139 | | Flow - Cross Section | SBK_PROFILE | 77781.7205 | 384168.4297 | |
| 30 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | 140 | | Flow - Cross Section | SBK_PROFILE | 79321.3267 | 384060.8411 | |
| 31 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | 142 | | Flow - Cross Section | SBK_PROFILE | 70923.3277 | 392197.5225 | |
| 32 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | 390 | node390 | Flow - Cross Section | SBK_PROFILE | 53691.2068 | 400393.0196 | |
| 33 | Point | <null> | LSM10objects | <null> | 416 | | Flow - Cross Section | SBK_PROFILE | 24876.7098 | 390648.0741 | |

In het object *rivierkilometer_punten* in *Baseline-zwd-j12_5_v8hwvl-v1* is nu de Attribute *Modelkilometer* gevuld met een samenstelling van de Attributes *Name* of *ID*. Zie hieronder

| FID | Shape * | OBJECTID | MODELKILOM | KENMERK | KILOMETER | ID | NAME | |
|-----|---------|----------|----------------------|--------------|-----------|-------------------|--------------------------|--------------------------|
| 0 | Point | 1 | ZW_KatseHeuleAfslui* | LSM10objects | 0 | 405 | ZW_KatseHeuleAfsluiter | Flow - Weir |
| 1 | Point | 2 | VMDummyKST | LSM10objects | 0 | VMDummyKST | | Flow - Weir |
| 2 | Point | 3 | ZW_KatseHeule | LSM10objects | 0 | 371 | ZW_KatseHeule | Flow - General Structure |
| 3 | Point | 4 | ZW_S_5670723 | LSM10objects | 0 | ZW_S_5670723 | Spuisluis Bath | Flow - General Structure |
| 4 | Point | 5 | DUMMY201 | LSM10objects | 0 | DUMMY201 | DUMMY201 | Flow - Connection Node |
| 5 | Point | 6 | Onl_DM6018 | LSM10objects | 0 | Onl_DM6018 | De Eendracht | Flow - Connection Node |
| 6 | Point | 7 | ZW_N_P_Volk_1 | LSM10objects | 0 | ZW_N_P_Volk_1 | | Flow - Connection Node |
| 7 | Point | 8 | ZW_N_P_Volk_3 | LSM10objects | 0 | ZW_N_P_Volk_3 | district509_waterafvoer | Flow - Connection Node |
| 8 | Point | 9 | ZW_R_P_Volk_001_4 | LSM10objects | 0 | ZW_R_P_Volk_001_4 | | Flow - Connection Node |
| 9 | Point | 10 | ZW_R_P_Volk_080_2 | LSM10objects | 0 | ZW_R_P_Volk_080_2 | district509_wateraanvoer | Flow - Connection Node |
| 10 | Point | 11 | ZZS_KrammerSluizen | LSM10objects | 0 | 135 | ZZS_KrammerSluizen | Flow - Pump Station |
| 11 | Point | 12 | ZZS_KreekrakSluis | LSM10objects | 0 | 137 | ZZS_KreekrakSluis | Flow - Pump Station |
| 12 | Point | 13 | ZZS_BergseDiepSluis | LSM10objects | 0 | 141 | ZZS_BergseDiepSluis | Flow - Pump Station |
| 13 | Point | 14 | Veersedam | LSM10objects | 0 | 305 | Veersedam | Flow - Pump Station |
| 14 | Point | 15 | ZW_43 | LSM10objects | 0 | ZW_43 | | Flow - Pump Station |
| 15 | Point | 16 | ZW_56 | LSM10objects | 0 | ZW_56 | | Flow - Pump Station |
| 16 | Point | 17 | ZW_57 | LSM10objects | 0 | ZW_57 | | Flow - Pump Station |
| 17 | Point | 18 | ZW_59 | LSM10objects | 0 | ZW_59 | | Flow - Pump Station |
| 18 | Point | 19 | ZW_HevelPomp | LSM10objects | 0 | ZW_HevelPomp | | Flow - Pump Station |
| 19 | Point | 20 | ZW_S_5604553 | LSM10objects | 0 | ZW_S_5604553 | Volkeraksluizen | Flow - Pump Station |
| 20 | Point | 21 | ZW_S_5684187 | LSM10objects | 0 | ZW_S_5684187 | Kreekraksluis | Flow - Pump Station |
| 21 | Point | 22 | ZW_VolkDebiet | LSM10objects | 0 | ZW_VolkDebiet | | Flow - Pump Station |
| 22 | Point | 23 | ZW_S_P_5630939 | LSM10objects | 0 | ZW_S_P_5630939 | Diepsluis | Flow - Pump Station |
| 23 | Point | 24 | ZW_S_P_5670458 | LSM10objects | 0 | ZW_S_P_5670458 | Krammersluizen | Flow - Pump Station |
| 24 | Point | 25 | ZW_S_P_5675127 | LSM10objects | 0 | ZW_S_P_5675127 | Philipsdam | Flow - Pump Station |
| 25 | Point | 26 | ZW_S_P_5678406 | LSM10objects | 0 | ZW_S_P_5678406 | Brouwersdam Noord | Flow - Pump Station |
| 26 | Point | 27 | 136 | LSM10objects | 0 | 136 | | Flow - Cross Section |
| 27 | Point | 28 | 138 | LSM10objects | 0 | 138 | | Flow - Cross Section |
| 28 | Point | 29 | 139 | LSM10objects | 0 | 139 | | Flow - Cross Section |
| 29 | Point | 30 | 140 | LSM10objects | 0 | 140 | | Flow - Cross Section |
| 30 | Point | 31 | 142 | LSM10objects | 0 | 142 | | Flow - Cross Section |

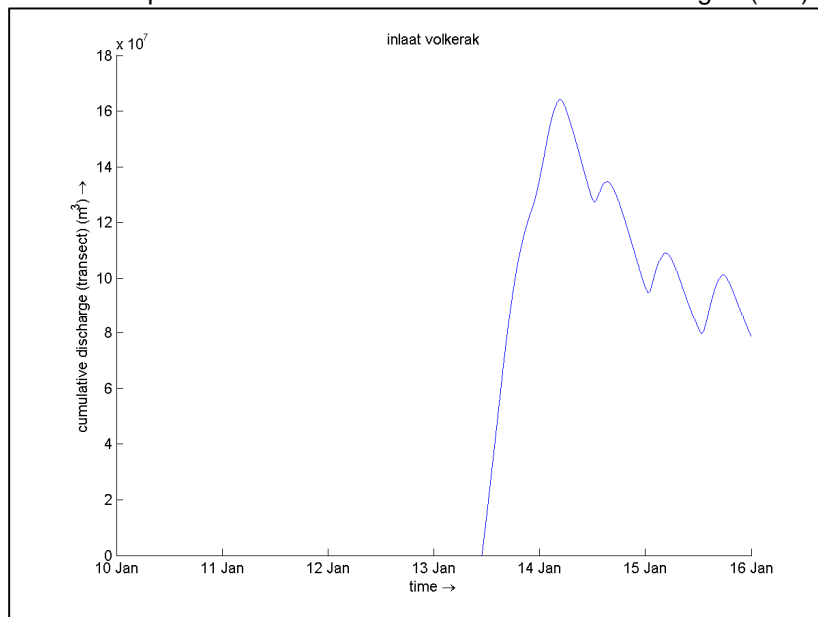
1.9 Toevoegen van cross-sectie voor uitvoer Volkerak Inlaatsluis

Om een inschatting te kunnen maken van het instromend cumulatief debiet tijdens het inzetten van maatregel "Waterberging Volkerak-Zoommeer" is een cross-sectie aan de schematisatie toegevoegd. Deze cross-sectie is toegevoegd als:

Stroming door de Volkeraksluizen

c 2600= line (p 659, p 662, name='inlaat volkerak')

De uitvoer op deze locatie is voor een van de testberekeningen (bo4) in figuur 8 weergegeven.



Figuur 10. Cumulatieve debiet nabij de inlaatsluis Volkerak voor testberekening bo4.

1.10 Overige kleinere aanpassingen

Behalve bovenstaande aanpassingen, zijn er nog een aantal kleine aanpassingen gedaan, die voor de volledigheid hier kort genoemd worden:

- 1 Definitie van volkerak-inlaatsluizen-bar-coef is in overleg met RWS-WVL in RMM gezet op : REStRicting = 0.900 (i.p.v 1.000)
- 2 Nieuwe Area-files zijn aangemaakt voor RMM-riv domein en gvz-domein
- 3 Saliniteit toegevoegd aan het model , globale waarde 0.542 (WATDENsity = 1000.0)
- 4 DIFFUSION GLOBAL CONST_VALUES = 50.00 is toegevoegd