

5e generatie SOBEK3 model voor het Volkerak-Zoommeer

Modelopzet en verificatie voor op- en afwaaiing



5e generatie SOBEK3 model voor het Volkerak-Zoommeer

Modelopzet en verificatie voor op- en afwaaiing

Meinard Tiessen

1220073-006

Titel

5e generatie SOBEK3 model voor het Volkerak-Zoommeer

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	1220073-006	1220073-006-ZKS-0004	44

Trefwoorden

Volkerak-Zoommeer, SOBEK3-model, Baseline, verificatie op wind, 5e generatie modellen.

Samenvatting



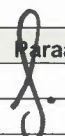
Dit rapport beschrijft de bouw en verificatie van een nieuw SOBEK3 model voor het Volkerak-Zoommeer. Voor een goede reproduceerbaarheid en consistentie met overige RWS-schematisaties, zoals het Rijn-Maasmondingsmodel, is voor de geometrie en inrichting gebruik gemaakt van een Baseline database voor de situatie 2012. Daarnaast is bij het opzetten van het SOBEK3 model gebruik gemaakt van dezelfde aanpak zoals deze is gebruikt voor het Rijn-Maasmondingsmodel. Aanleiding voor het opzetten van het model was de noodzaak om scenario's met de maatregel "Waterberging Volkerak" te kunnen doorrekenen.

Het model is alleen geverifieerd 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. Deze waarde komt overeen met de nauwkeurigheid van een in 2014 ontwikkelde 2D WAQUA schematisatie voor het Volkerak-Zoommeer.

Uit de uitgevoerde verificatieberekeningen wordt verder geconcludeerd dat:

- Het gebruik van verschillende waarden voor de bodemruwheid (Manning formulering met een coëfficiënt gelijk aan de waarde gebruikt in het IJsselmeer of waarden 10 % hoger en lager), heeft nauwelijks invloed heeft op de berekende opwaaiing/afwaaiing in het Volkerak-Zoommeer. Vanwege de vergelijkbaarheid van 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 ($0.022 \text{ s/m}^{1/3}$).
- Op basis van reproductie van maximale op- en afwaaiing heeft forcering van het Volkerak-Zoommeer met wind Tholen de voorkeur boven wind Rotterdam. Resultaten met wind Stavenisse zijn vergelijkbaar met die van wind Tholen. Wanneer vanuit het oogpunt van consistentie met RMM model gekozen wordt voor forcering met wind Rotterdam verslechtert de reproductie van de op- en afwaaiing iets.

Ten behoeve van inzet van de maatregel "Waterberging Volkerak", zal het SOBEK3 model voor het Volkerak-Zoommeer gekoppeld moeten worden aan het Rijn-Maasmondingsmodel. Deze uitbreiding is niet binnen de context van dit project uitgevoerd of getest.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
2	dec. 2015	Meinard Tiessen		Theo van der Kaaij		Frank Hoozemans	

Status

definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Gebiedsbeschrijving	1
1.3	Achtergrond	3
1.4	Doel	3
1.5	Organisatie en bijdragen	3
1.6	Opzet rapport	4
2	Verificatie methodiek	5
3	Model opzet	7
3.1	Gebuurde software	7
3.2	Geometrie en inrichting (Baseline)	7
3.3	Schematisatie in SOBEK	7
3.3.1	Assen en takken	7
3.3.2	Rekenpunten en vakken	9
3.3.3	Dwarsprofielen en gebruik van WAQ2PROF	11
3.3.4	Lateralen	12
3.3.5	Overige parameterwaardes en model settings	14
3.3.6	Aansluiting op andere modellen	15
4	Stormperiodes voor verificatie	17
4.1	Selectie stormperiodes	17
4.2	Beschikbare meetgegevens	17
4.2.1	Waterstanden	17
4.2.2	Wind	18
4.2.3	Debieten	18
4.2.4	Neerslag	18
5	Model verificatie	19
5.1	Gevolgde methodiek	19
5.1.1	Geselecteerde periodes	19
5.1.2	Kentallen beoordeling	19
5.2	Model prestatie	19
5.2.1	Resultaten verificatie storm oktober 2002	19
5.2.2	Resultaten verificatie storm december 2013	21
5.2.3	Model prestatie	23
5.3	Gevoeligheidsanalyse	24
5.3.1	Wind gegevens	24
5.3.2	Ruwheden	28
6	Vervolgtraject	31
6.1	Kunstwerken	31
6.2	Zout	31
6.3	Lateralen	31
6.4	Vak-nummering	32

7 Conclusies	33
8 Referenties	35
Bijlagen	
A Beschrijving van stormperiodes	A-1
A.1 Oktober 2002 Storm	A-1
A.2 December 2013	A-2
B Kengetallen	B-1
C Benaming SOBEK takken	C-1

1 Inleiding

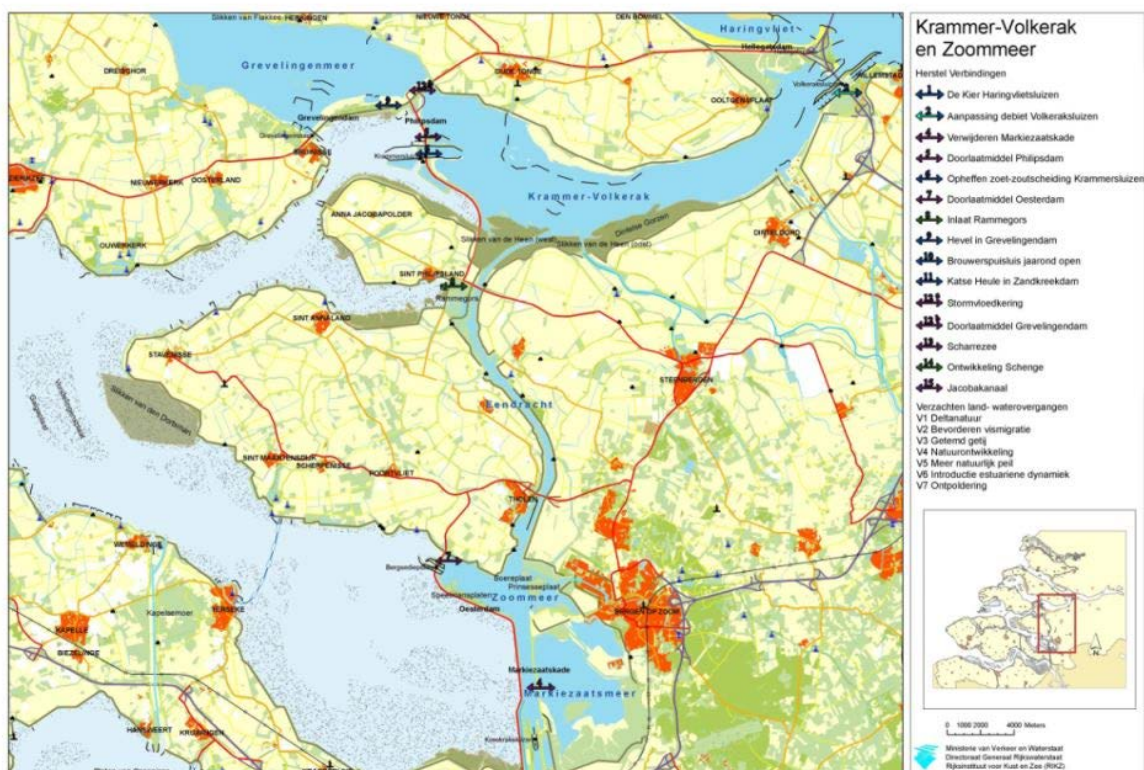
1.1 Algemeen

Dit rapport beschrijft de modelopzet en verificatie van het vijfde generatie één-dimensionaal SOBEK3 model voor het Volkerak-Zoommeer gebied. Dit model zal in de toekomst worden gekoppeld aan het in 2014 opgezette 1D model voor de Rijn-Maasmonding (sobek-rmm-j98_5-v1) maar wordt in dit rapport gescheiden getest en geverifieerd met betrekking tot op- en afwaaiing.

Het SOBEK3 model voor het Volkerak-Zoommeer is ontwikkeld in het kader van het “KPP Hydraulica schematisaties RWS zout”, projectnummer 1220073.006.

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.

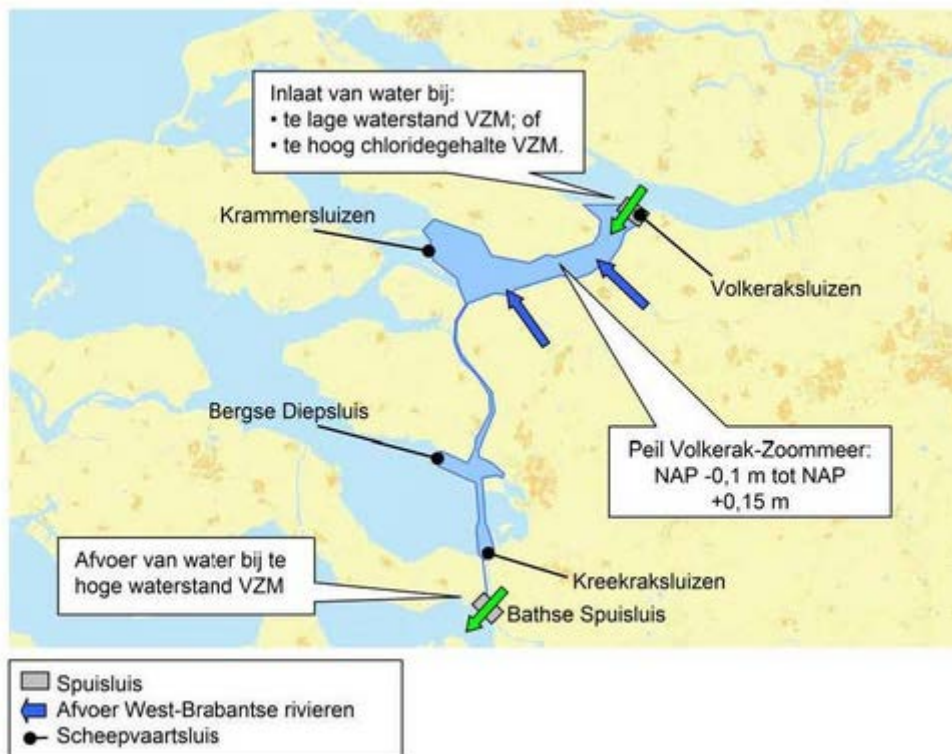


Figuur 1.1 Gebiedsoverzicht (bron: Rijkswaterstaat, spuikanaal Bath ontbreekt in dit figuur).

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 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 (HMC) van Rijkswaterstaat. Een overzicht van het peilbeheer wordt, schematisch, getoond in Figuur 1.2.



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

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 pompemaal zoet water gespuid op het zoute Antwerps Kanaalpand: hiermee wordt een zoet-zoutgradiënt in stand gehouden. Het pompemaal van de Kreekraksluizen kan ook ingezet worden voor het afdalen van overtollig water, die vanwege de hoge energiekosten echter beperkt wordt ingezet. Hierdoor kunnen de Kreekraksluizen in specifieke situaties worden ingezet bij het doorspoelen van het Volkerak-Zoommeer.

1.3 Achtergrond

In het verleden is een aantal modellen voor het Volkerak-Zoommeer ontwikkeld, waaronder WAQUA en SOBEK-RE modellen. Naar aanleiding van het besluit tot het gebruiken van het Volkerak-Zoommeer voor de uitvoer van de maatregel “Waterberging Volkerak”, zal dit gebied worden opgenomen in de RWSOS (Rijkswaterstaat samenhangende Operationele Systemen) omgeving. Rijkswaterstaat maakt binnen RWSOS gebruik van FEWS voor de voorspelling van waterstanden op onder andere de Rijntakken en Maas (FEWS Rivieren), Overijsselse Vecht (FEWS Vecht), de grote meren (FEWS Meren), de verdeling van water (FEWS Waterbeheer) en operationeel peilbeheer van kanalen, meren en gestuwde rivieren (FEWS IWP).

Voor de ontwikkeling van het nieuwe SOBEK model in dit project is een volledig nieuwe schematisatie gemaakt. Het rekenrooster is zodanig opgezet dat deze gekoppeld kan worden met het rooster van het Rijn-Maasmonding gebied. Daarnaast is bij de Bathse Spuisluis een koppeling met de Westerschelde mogelijk, en kan bij de Krammersluizen een koppeling richting de Oosterschelde worden gegenereerd. Het model is opgezet gebruikmakend van de richtlijnen zoals deze ook zijn toegepast voor het in 2014 ontwikkelde model voor het Rijn-Maasmondingsgebied (Berends, 2015). Het in dit rapport gepresenteerde vijfde generatie SOBEK3 model voor het Volkerak-Zoommeer is ontwikkeld parallel aan de nieuwe SOBEK schematisaties voor het IJsselmeer (Horváth, 2015) en het Markermeer.

1.4 Doel

De waterbeweging in het gebied wordt bepaald door de waterstand in het domein, debieten vanuit omliggende gebieden, in- en uitlaten vanuit de omliggende rivieren (Hollandsch Diep), estuaria (Ooster- en Westerschelde) en het Antwerpens Kanaalpand. Tot slot dient ook de waterverplaatsing als gevolg van wind (op- en afwaaiing) te worden meegenomen. Vanuit beheersoogpunt is de behoefte de invloed van deze factoren te kunnen berekenen.

Daarnaast bestaat de behoefte aan een model met een korte rekentijd voor het maken van probabilistische berekeningen en scenario-studies. Het doel voor de bouw van het SOBEK 3 model voor het Volkerak-Zoommeer is als volgt geformuleerd:

Het bouwen van een één-dimensionaal SOBEK 3 model van Volkerak-Zoommeer waarmee de waterbeweging met voldoende nauwkeurigheid kan worden weergegeven.

Deze doelstelling is in principe gelijk aan de doelstelling voor de bouw van het SOBEK model voor het Rijn-Maasmondingsgebied (Berends, 2015).

1.5 Organisatie en bijdragen

De werkzaamheden zijn uitgevoerd onder het programma “KPP Hydraulica schematisaties RWS zout”, projectnummer 1220073.006 bij Deltares. De algemene projectleiding van de bouw en verificatie van het SOBEK model van het Volkerak-Zoommeer gebied is uitgevoerd door Deltares in samenwerking met Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving (Jan-Rolf Hendriks en Martin Scholten (projectleider)) en Rijkswaterstaat Zee en Delta (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 verificatie WAQUA-model.

- David Kerkhoven: algemeen projectleider KPP Hydraulica schematisaties RWS zout, inhoudelijk adviseur.
- Remco Plieger: ontwikkeling WAQUA simulaties.
- Koen Berends: adviseur opzetten SOBEK schematisatie.
- Klaudia Horváth: adviseur opzetten SOBEK schematisatie.
- Jurjen de Jong: adviseur opzetten SOBEK schematisatie.

Het rooster is gemaakt door Deltares. De Baseline schematisaties voor de Zeeuwse Delta zijn opgebouwd door CSO (Hoefsloot, 2014).

1.6 Opzet rapport

In het volgende hoofdstuk zal verificatie methodiek worden uitgelegd, vervolgens zal de opzet en de aspecten van het ontwikkelde SOBEK3 model worden gepresenteerd. In hoofdstuk 0 worden de meetgegevens die gebruikt worden voor de modelverificatie beschreven. Vervolgens zullen in hoofdstuk 0 de resultaten van de simulaties worden vergeleken met metingen en met de WAQUA simulatie. Tot slot zal het vervolgtraject worden beschreven en conclusies worden gepresenteerd.

De hier gepresenteerde opzet en inhoud volgt de zelfde methodiek als reeds is gebruikt voor de rapportage van de opzet en verificatie van het WAQUA model voor het Volkerak-Zoommeer (Kuiper, 2014) en het Grevelingenmeer (Minns & Gaytan Aguilar, 2015).

2 Verificatie methodiek

Met het nieuw opgezette model van het Volkerak-Zoommeer, zie hoofdstuk 0 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 verificatie van het Volkerak-Zoommeer model, zijn stormen geselecteerd waarbij het peilbeheer zodanig was dat de hierdoor veroorzaakte waterstandsfluctuaties gering zijn.

Daarnaast zijn de geselecteerde stormen gesimuleerd met verschillende windinstellingen. Naar aanleiding van bevindingen van Kuiper et al. 2014 zijn in eerste instantie windgegevens vanuit Tholen gebruikt. Onder instellingen wordt hier verstaan de gebruikte windtijdreeksen. Vervolgens is een gevoeligheidsonderzoek uitgevoerd waarbij windgegevens zijn gebruikt, welke zijn ontleend aan gemeten windtijdreeksen van de stations Stavenisse en Rotterdam. Het Rijn-Maasmonding model gebruikt windgegevens van station Rotterdam.

Er is gebruikt gemaakt van een Manning formulering voor de bodemruwheid omdat eerdere verificatieberekeningen van het WAQUA model van het Volkerak-Zoommeer (Kuiper et al, 2014) lieten zien dit het meest geschikt is voor dit soort meren. Daarnaast zijn de berekeningen herhaald waarbij de ruwheden in het gebied zijn aangepast. Het effect van ruwheidswaardes rondom de waarde zoals die wordt gebruikt voor het IJsselmeer zijn getest.

3 Model opzet

3.1 Gebruikte software

Voor het opzetten van het SOBEK (SOBEK-3.3.1) model voor het Volkerak-Zoommeer is gebruik gemaakt van de volgende software:

Bij de verwerking en de conversie van de geometrie en inrichting gegevens van het gebied is gebruik gemaakt van Baseline versie 5.2.4 (2015). De software waarbinnen vak- en as-verdelingen zijn opgezet is ArcGIS 10.1 en de omzetting van WAQUA simulatie naar dwarsprofielen is geschiedt aan de hand van WAQ2PROF versie 4.15. De WAQUA berekeningen die nodig waren voor WAQ2PROF en die nodig waren voor de vergelijking van modelresultaten zijn uitgevoerd met Simona 2013 (64 bits, MPICH2, double precision).

3.2 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-v3*). Om van de 2007 schematisatie naar de 2012 schematisatie te komen, zijn met behulp van Baseline-maatregelen wijzigingen doorgevoerd.

3.3 Schematisatie in SOBEK

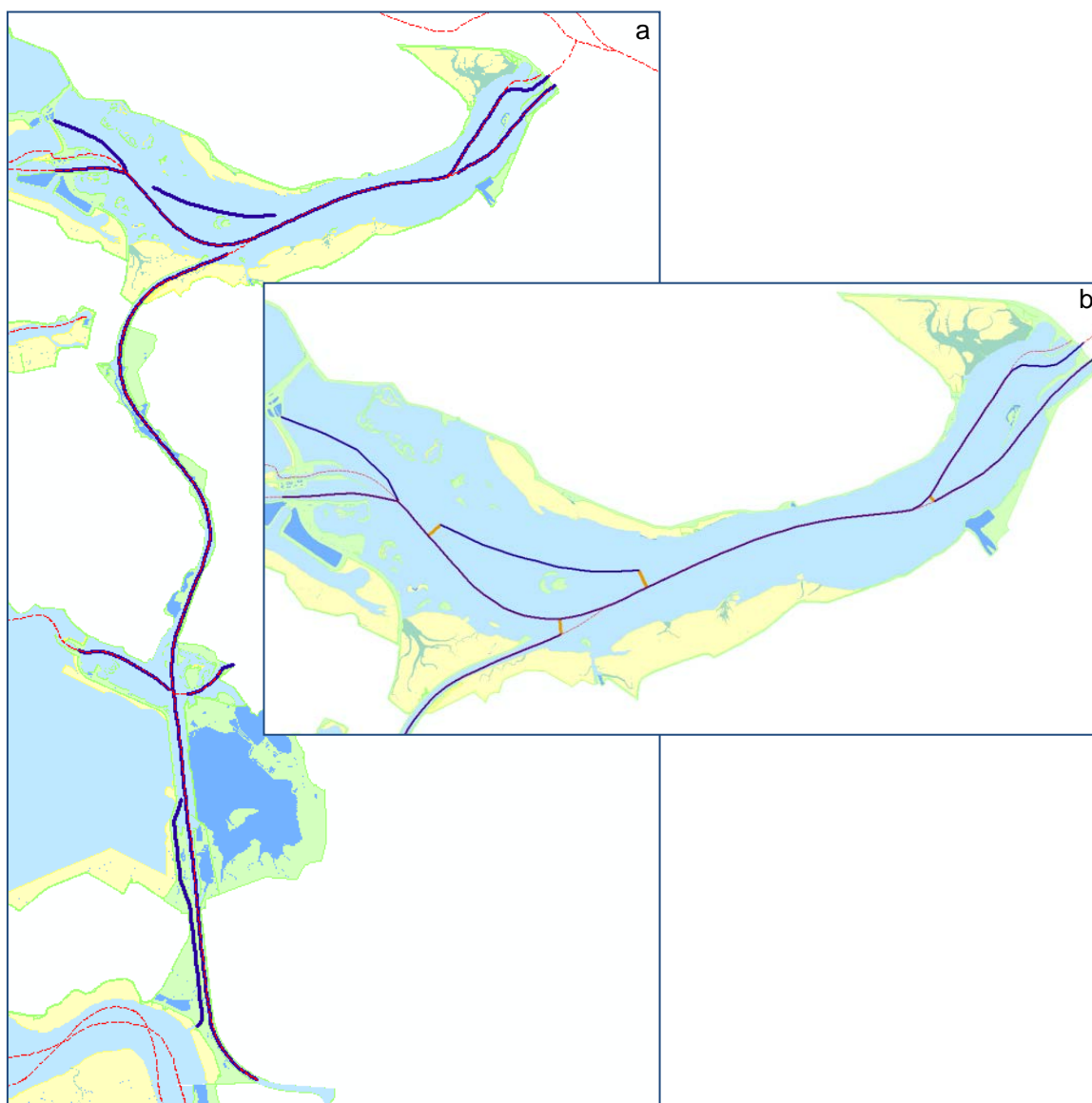
De basisonderdelen van elk SOBEK-model zijn knopen en takken. Er zijn verschillende redenen om ergens een knoop te plaatsen. Knopen liggen altijd bij splitsing van takken, begin- en eindpunten, maar kunnen ook op een enkele tak aangebracht worden met het oog op toekomstige uitbreiding. Rivierprofielen en het rekenrooster zijn nauw met elkaar verwant. Het rekenrooster bestaat uit een verzameling rekenpunten op de SOBEK-tak. In het Volkerak-Zoommeer model worden de rekenpunten gedefinieerd aan het begin en eind van elke tak, op elk dwarsprofiel en 10 meter van een kunstwerk. De afstand tussen dwarsprofielen is over het algemeen ongeveer 500m. Op knopen komen twee of meer takken samen en wordt voor iedere tak een dwarsprofiel gedefinieerd. Dwarsprofielen worden bepaald met behulp van vakken. Deze vakken beschrijven een gebied, waarbinnen de bodemgegevens worden samengevoegd om tot één dwarsprofiel te komen.

3.3.1 Assen en takken

In eerste instantie worden voor de positionering van de SOBEK-takken de rivier-assen zoals deze gebruikt worden door Rijkswaterstaat aangehouden (zie Figuur 3.1). Van de rivier-as wordt echter afgeweken nabij de Volkeraksluis (zie Figuur 3.1(b), in de noordoost hoek van het gebied) omdat hier de rivier-as de scheepvaartsluizen volgt, terwijl voor de hydrodynamica de spuisluisen van groter belang zijn. Daarnaast zijn op verschillende locaties extra SOBEK-takken toegevoegd: Nabij de Krammersluizen (noordwest hoek van het gebied) en Volkeraksluizen gaat het hier om het nauwkeuriger beschrijven van de lokale situatie, waar verschillende delen van het meer van elkaar zijn gescheiden door kades. In het midden van het Volkerak is daarnaast een parallel-geul in SOBEK gecreëerd om de positie van een eiland in het model op te nemen. Tot slot is er aan de zuidkant van het model een SOBEK-tak toegevoegd om de afvoer van water via de Bathse Spuisluis naar de Westerschelde in het model te kunnen simuleren.

In meren worden voor 1D modelschematisaties vaak gebruik gemaakt van zogenoemde wagenwielen, waarbij een meer wordt geschematiseerd als kleine takken die als spaken van

een wiel rondom een centraal punt liggen. Deze aanpak wordt onder andere gebruikt voor het IJsselmeer (Horváth, 2015) en heeft als voordeel dat de effecten van een grote verscheidenheid aan windrichtingen beter door het model gesimuleerd kunnen worden. Voor het Volkerak-Zoommeer wordt dit echter niet toegepast. De meer-geometrie van het Volkerak heeft een duidelijke oriëntatie van west naar oost, waarbij ook de bodem een één- of tweegeulen stelsel vertoont welke parallel aan elkaar lopen en oost-west georiënteerd zijn. Het zuidelijke deel van het model-domein bestaat voornamelijk uit kanaalpanden van het Schelde-Rijn-Kanaal waar het wagenwiel concept ook minder geschikt is.



Figuur 3.1 (a, b) Locatie van rivier-assen (rood gestippeld) en de SOBEK-assen (donkerblauwe lijnen). (b) Detail van het Volkerak, met daarin ook de as-verbindingstukken (in oranje).

De verbindingen tussen de verschillende SOBEK-takken worden voor het Volkerak-deelgebied weergegeven in Figuur 3.1(b) als oranje lijnen. Deze stukken van het model worden apart behandeld, omdat deze in de bepaling van de dwarsdoorsnedes en de taklengtes niet mee worden genomen.

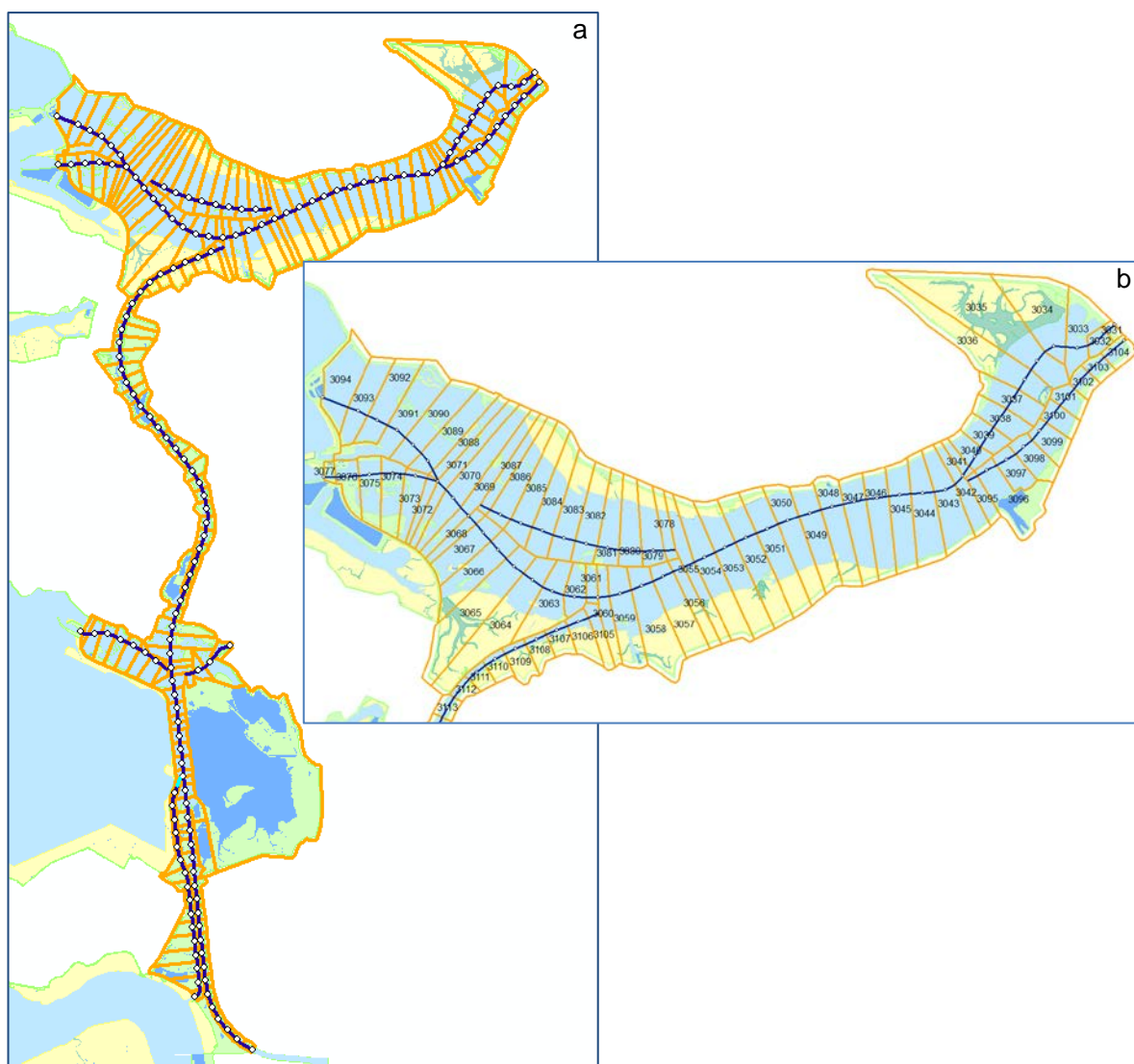
De benaming van de takken geschiedt waar mogelijk gebruikmakend van gegevens in Baseline, en waar deze ontbreken worden lokale benamingen voor de takken gebruikt. De benaming van de takken is te zien in Appendix C.

De Binnenschelde en het Markiezaatmeer (tussen het Schelder-Rijn-Kanaal en Bergen op Zoom) worden in de huidige schematisatie niet opgenomen. De verwachting is dat deze gebieden niet meestromen met het Volkerak-Zoommeer wanneer maatregel "Waterberging Volkerak" wordt toegepast (comm. Piet Lievense, RWS-ZD).

In het model is op dit moment een lateraal ("du Markiezaatmr", lateralen worden beschreven in sectie 3.3.4) ingepast in het Schelde-Rijn-Kanaal ter hoogte van het Markiezaatmeer, om interactie tussen beide gebieden mogelijk te maken. Voor mogelijke toekomstige ontwikkelingen is daarnaast een knoop toegevoegd (tussen "Schelrijkan_z_01" en "Schelrijkan_z_02") waaraan in de toekomst nog een tak aangesloten kan worden die het Markiezaatmeer beschrijft.

3.3.2 Rekenpunten en vakken

Iedere SOBEK-tak is opgesplitst in tak-segmenten. In het midden van ieder segment komt een SOBEK-rekenpunt (waterstands- of h-punt) te liggen (zie Figuur 3.2). Op dit rekenpunt wordt aan de hand van de bodemgegevens vanuit Baseline, en gebruikmakend van een WAQUA simulatie, een dwarsdoorsnede opgelegd.



Figuur 3.2 (a, b) Locatie van rekenpunten (witte stippen) en de SOBEK-vakverdeling (oranje vakken). (b) Detail van het Volkerak, met daarin de vaknummering

De afstand tussen twee rekenpunten op eenzelfde tak is bij dit SOBEK model ingesteld op 500m. Hiervan wordt afgeweken op knoop- of splitsingspunten, waar met halve vakken wordt gewerkt, en waar twee rekenpunten op het zelfde splitsingspunt komen te liggen. Daarnaast worden bij dood-lopende uiteindes van takken soms afgeweken van de gebruikelijke afstand tussen twee rekenpunten, en kan deze waarde soms oplopen tot 720m (laatste rekenpunt in de tak "Zoommeer", zie Appendix C voor benaming assen en takken). Waar twee SOBEK-assen parallel aan elkaar lopen is er voor gekozen om de scheiding tussen de vakken van de verschillende assen over "kades" te laten lopen, zoals deze in Baseline zijn opgenomen (Figuur 3.2(b)). Waar geen kades aanwezig zijn, wordt de scheiding tussen de vakken over de minst diepe delen gelegd, zoals gebeurd bij de scheiding tussen de Volkerak Hoofdgeul en de Volkerak Nevengeul. De grenzen van de vakken zijn aan landzijde 100m verder gelegd dan de grenzen van huidige Baseline-schematisatie, om toekomstige grens-aanpassingen in de huidige vakverdeling op te kunnen nemen. Tot slot is de scheiding tussen aangrenzende vakken die langs eenzelfde as liggen voornamelijk loodrecht op de as gelegd. Waar dit leidt tot zeer smalle vakken (met name in bochten en op splitsingspunten) is hiervan afgeweken

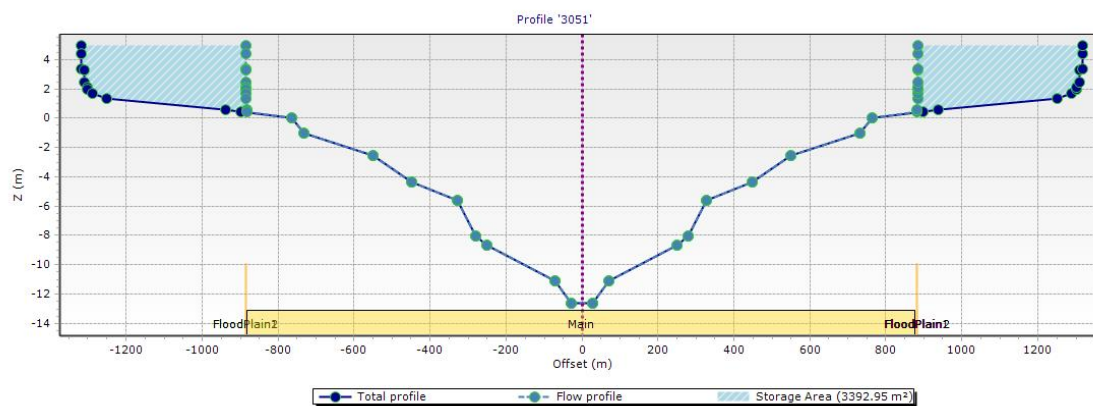
om een meer ruimtelijk egale verdeling van de vak-oppervlaktes te verkrijgen (bijvoorbeeld voor vakken 3068, 3069 en 3087 in Figuur 3.2(b)).

De vaknummering en daarmee ook de benaming van de crosssecties loopt door op die van het RMM model, en begint bij 3031 en eindigt bij 3206 (zie Figuur 3.2(b) voor de vaknummerverdeling in het Volkerak). Nummers 3205 en 3206 beslaan vakken in het Markiezaatmeer, welke op dit moment niet in de schematisatie zijn opgenomen.

3.3.3 Dwarsprofielen en gebruik van WAQ2PROF

Voor ieder SOBEK rekenpunt is een dwarsprofiel gegenereerd aan de hand van de WAQ2PROF. De WAQ2PROF routine genereert een dwarsprofiel gebaseerd op de bathymetrie van een WAQUA simulatie. Daarnaast bepaalt de routine welk deel van het dwarsprofiel stromend of bergend is, en welk gedeelte van de breedte wordt ingenomen door de hoofdgeul (Main) en welk gedeelte door de uiterwaarden (Floodplain1).

In de WAQ2PROF routine wordt gebruik gemaakt van een WAQUA simulatie met een constant toenemende waterstand, waarbij de geometrie is gebaseerd op de bathymetrie uit Baseline. Deze 2D simulatie heeft conform de naamconventies van Rijkswaterstaat de aanduiding "zwd-j12_5-v3" gekregen, en bevat de Baseline bodem uit 2012. De WAQUA simulatie die hier is gebruikt heeft een beginwaterstand van NAP -1m, en de waterstand loopt constant op tot NAP +5m.

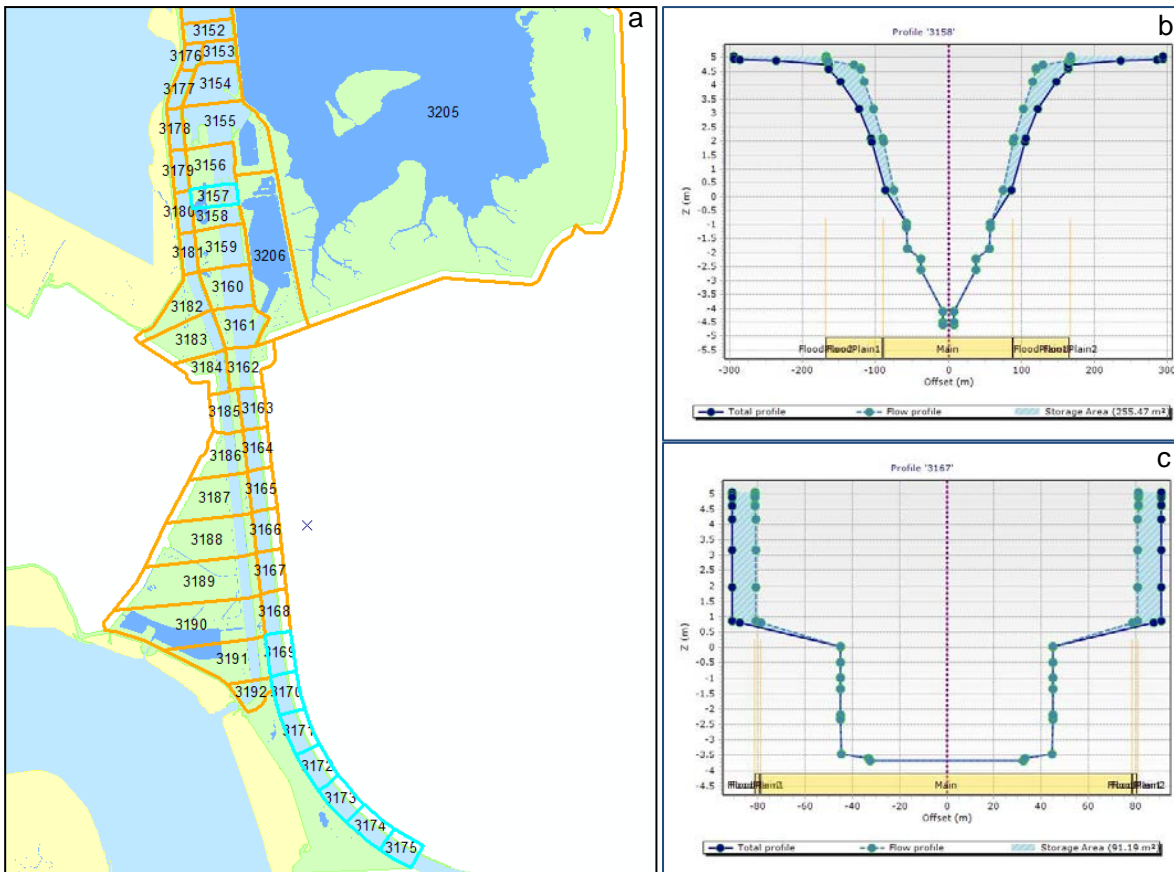


Figuur 3.3 Dwarsprofiel voor een vak in het Volkerak (vak nr 3051, zie Figuur 3.2(b)). De gearceerde gebieden zijn niet meestromend, alleen waterbergend.

De resulterende dwarsprofielen bevatten slechts in beperkte mate uiterwaarden, aangezien deze in het Volkerak-Zoommeer zeer beperkt voorkomen (zie Figuur 3.3). Daarentegen zijn voor met name het Volkerak significante gebieden aangewezen als bergend. Deze gebieden liggen hoofdzakelijk boven het huidige peil-niveau, en zullen in realiteit alleen onder water komen te staan wanneer de waterbergings-functie van het Volkerak-Zoommeer wordt toegepast.

WAQ2PROF was niet in staat om profielen voor enkele vakken te generen (licht blauwe vakken in Figuur 3.4(a)). De WAQUA schematisatie bevat geen diepte gegevens voor het meest zuidelijke gedeelte van het Schelde-Rijn-Kanaal tussen de Kreekraksluizen en de Belgische grens (vaknummers 3169-3175). Voor deze vaknummers is het dwarsprofiel dat was afgeleid voor vak 3167 toegepast (Figuur 3.4(c)). Dit kanaalpand komt erg overeen qua geometrie met de daaropvolgende segmenten. Tot slot is het profiel ter plaatse van de

Kreekraksluizen (vaknummer 3157, Figuur 3.4(a)) niet correct afgeleid. Hier is ervoor gekozen om het profiel van vaknummer 3158 toe te passen (Figuur 3.4(b)).



Figuur 3.4 (a) Vakverdeling in het zuidelijk deel van het Volkerak-Zoommeer, In lichtblauw zijn de vakken aangegeven waar geen dwarsprofiel voor kon worden gegenereerd door WAQ2PROF. (b) Dwarsprofiel van vak 3158, toegepast in Kreekraksluis (vak 3157). (c) Dwarsprofiel van vak 3167, toegepast voor vaknummers 3169 tm 3175, vanwege ontbrekende bathymetrische gegevens in de WAQUA simulatie.

3.3.4 Lateralen

Aan de hand van gegevens uit Baseline zijn op de locaties van de “putten en bronnen” uit Baseline lateralen toegevoegd aan het model. Hierbij is de naamvoering die gehanteerd wordt in Baseline gehandhaafd (zie Tabel 3.1).

Tabel 3.1 Overzicht van de in het model opgenomen lateralen, gebaseerd op bronnen en putten in de baseline schematisatie.

Naam	Tak	Ketenlengte [m]
gemaal Rilland	Bathsespuikan	4505
is Zoetwatergemaal	Bathsespuikan	4530
sp Paviljoen	Bathsespuikan	6085
du Bathpolder	Bathsespuikan	6847
ks Oude-Tonge	Krammer	437
is St. Philipsland	Schelrijkan_n	3989
gm Pr. Hendrikpolder	Schelrijkan_n	4430
bemalingsinstallatie	Schelrijkan_n	4901
gm Van Haften	Schelrijkan_n	6035
is Nieuw Vossemeer	Schelrijkan_n	7684
gm 3 Grote Polders	Schelrijkan_n	8165
gm Zoute Sluis	Schelrijkan_n	9748
is Karnemelkspot	Schelrijkan_n	12087
gm De Pals	Schelrijkan_n	12508
gm Noorderkreekweg	Schelrijkan_n	12808
gm De Eendracht	Schelrijkan_n	15611
is Deurloo	Schelrijkan_n	16387
du inlaat Auvernepl	Schelrijkan_n	16579
du Markiezaatsmr	Schelrijkan_z_01	1784
inlaatsluis	Schelrijkan_z_03	2759
gm Kreekrak	Schelrijkan_z_03	3280
gm Hogewaard	Schelrijkan_z_03	3552
du sifon Hogewaard	Schelrijkan_z_03	7033
sp Volkerak	Volk_hoofd_01	88
ss Volkerak jachten	Volk_hoofd_01	122
ks Ooltgensplaat	Volk_hoofd_01	2910
py RWZI Dinteloord	Volk_hoofd_02	528
gm Galathee	Volk_hoofd_02	2959
sp Benedensas	Volk_hoofd_03	1322
ss Benedensas	Volk_hoofd_03	1420
sp Vierlingsluis	Volk_sluis	475
ss Mandersluis	Volk_sluis	662
ss Volkerak beroep M	Volk_sluis	4606
ss Volkerak beroep O	Volk_sluis	4606
ss Volkerak beroep W	Volk_sluis	4606
ss Petrusluis	Zoommeer	0
du Binnenschelde	Zoommeer	699

3.3.5 Overige parameterwaardes en model settings

Bodemruwheid

De verificatieberekeningen zijn met ruwheid volgens de "Manning" formulering uitgevoerd. De waarde van de Manning coëfficiënt is gelijk gekozen aan de waarde die gebruikt is in het IJsselmeer, $0.022 \text{ s/m}^{1/3}$. Een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd met ruwheidswaardes van $0.02 \text{ s/m}^{1/3}$ en $0.024 \text{ s/m}^{1/3}$.

Windforcering

Windgegevens van meetstation Tholen worden gebruikt voor de verificatie van het model met metingen, en ook voor een vergelijking met WAQUA resultaten. Daarnaast is nog een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, gebruikmakend van windgegevens van Rotterdam (Zestienhoven) en Stavenisse. In de huidige model-opzet is geen gebruik gemaakt van een ruimtelijk variërende windshielding factor.

Voor het Volkerak-Zoommeer model is voor de overige modelparameters gebruik gemaakt van dezelfde model instellingen als zijn gebruikt voor het Rijn-Maasmondingsmodel (Tabel 3.2). Echter daarbij dient te worden vermeldt dat tot op heden geen saliniteit in het model is gebruikt. Voor de beschrijving van storm-opwaaiing en afwaaiing zijn de relatief lage zoutconcentraties in delen van het Volkerak-Zoommeer van ondergeschikt belang. In het Rijn-Maasmondingsmodel wordt saliniteit wel beschreven. Wanneer het model voor het Volkerak-Zoommeer wordt gekoppeld aan het Rijn-Maasmondingsmodel, zal ook in het Volkerak-Zoommeer saliniteit moeten worden beschreven.

Tabel 3.2 Overzicht van parameter waardes en model settings, ter vergelijking zijn ook de instellingen voor het Rijn-Maasmondingsmodel weergegeven. Voor een betekenis van de verschillende parameters, zie Berends, 2015 (Tabel 3.1).

Parameter	Rijn-MaasMonding	Volkerak-Zoommeer
Use salinity	TRUE	FALSE
Time step	1 min	1 min
Space step (max)	708	1000
Space step (average)	444	450-500
Max Courant number	1	1
Wind	TRUE	TRUE
ladvec1D	2	2
Limtyphu1D	1	1
Momdilution1D	1	1
TransitionheightSD	0.75	0.75
Roughness main channel	Manning	Manning
Q dependence of roughness main channel	some cases	no
Levels of Q dependence of roughnessmain channel	2	-
Roughness winterbed	Chézy	Manning
Q dependence of roughness winterbed	some cases	no
Levels of Q dependence of roughness winterbed	7	-
Roughness winterbed 2	-	-
Q dependence of roughness winterbed 2	-	-
Levels of Q dependence of roughness winterbed 2	-	-
Interpolation (btw two cross sections) y/n	Linear	Linear

3.3.6 Aansluiting op andere modellen

Aangezien het Volkerak-Zoommeer model in de toekomst zal worden gekoppeld aan het Rijn-Maasmondingsmodel is de positionering van rekenpunten op de rand van het model overeenkomstig met die van het Rijn-Maasmondingsmodel. Daarnaast kan het Volkerak-Zoommeer model ook aangesloten worden met andere delen van het Landelijk SOBEK model, zoals de Grevelingen en de Oosterschelde, en is het daarnaast mogelijk dit model aan te sluiten op waterschapsmodellen. Voor deze aansluitingen zijn al takken in het huidige model opgenomen, waarbij knopen op de uiteindes van deze takken kunnen worden gekoppeld met andere gebiedsschematisaties.

4 Stormperiodes voor verificatie

4.1 Selectie stormperiodes

Voor de eerdere uitgevoerde verificatie van het WAQUA model voor het Volkerak-Zoommeer zijn twee stormperiodes gekozen periodes in 2002 en 2013. Deze stormperiodes zijn geselecteerd op basis van het criterium dat peilfluctuaties ten gevolge van het peilbeheer beperkt zijn 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 verificatie.

Verificatie periode	Conditie	Begin	Eind
Oktober 2002	Zware (zuid-)westerstorm Classificatie: lage stormvloed ¹ 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

Voor een beschrijving van de gekozen stormperiodes wordt verwezen naar Appendix B, afkomstig uit Kuiper et al, 2014.

4.2 Beschikbare meetgegevens

Voor de verificatie 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.

4.2.1 Waterstanden

In het Volkerak-Zoommeer gebied worden waterstandsmetingen uitgevoerd op 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	60 min *	10 min *
Vossemeer	10 min **	10 min **
Bathse Spuisluis inloop	60 min *	10 min *

* Meetgegevens verkregen van Waterbase (Rijkswaterstaat, 2013)

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

¹ 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).

Tijdens de storm in Oktober 2002 is een initieel waterpeil van NAP +0m aangehouden, terwijl voor de storm van December 2013 een waterpeil is aangehouden van NAP +0.05m.

4.2.2 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)	60 min *	60 min *
Tholen (331)	60 min *	60 min *
Rotterdam Zestienhoven (343)	60 min *	60 min *
Rotterdam Zestienhoven (344)	60 min *	60 min *

* Meetgegevens opgevraagd bij KNMI website Climate en Services

4.2.3 Debietten

De twee gesimuleerde stormperiodes zijn geselecteerd op basis van het criterium dat peilfluctuaties ten gevolge van peilbeheer beperkt zijn geweest (spuidebiet kleiner dan circa 60 m³/s). Vanwege het constante peilbeheer is aangenomen dat er tijdens de gesimuleerde stormperiodes geen toe- en afvoer van water van de rivieren Dintel, Mark en Vliet en via de kunstwerken Krammer-, Kreekrak- en Volkeraksluizen en Bathse spuisluis plaatsvindt.

4.2.4 Neerslag

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

5 Model verificatie

5.1 Gevolgde methodiek

De twee geselecteerde stormperiodes, oktober 2002 en december 2013, zijn gesimuleerd met de nieuwe 1D SOBEK schematisatie met als forcering een ruimtelijk uniform windveld gebaseerd op de gemeten windsnelheden en –richtingen in het station Tholen samen met een ruimtelijk-uniforme Manning ruwheid ($0.022 \text{ s/m}^{1/3}$). . Aanvullend zijn voor beide stormperiodes nog simulaties gedaan, waarbij de ruimtelijk uniforme windforcering is ontleend aan windmetingen op de stations Stavenisse en Rotterdam. Daarnaast is nog een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de grootte van de Manning ruwheidscoëfficiënt.

5.1.1 Geselecteerde periodes

Voor de verificatie 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 sectie 4.1. Voor de storm in oktober 2002 is dit 5 dagen en voor de storm in december 2013 is dit 3 dagen.

5.1.2 Kentallen beoordeling

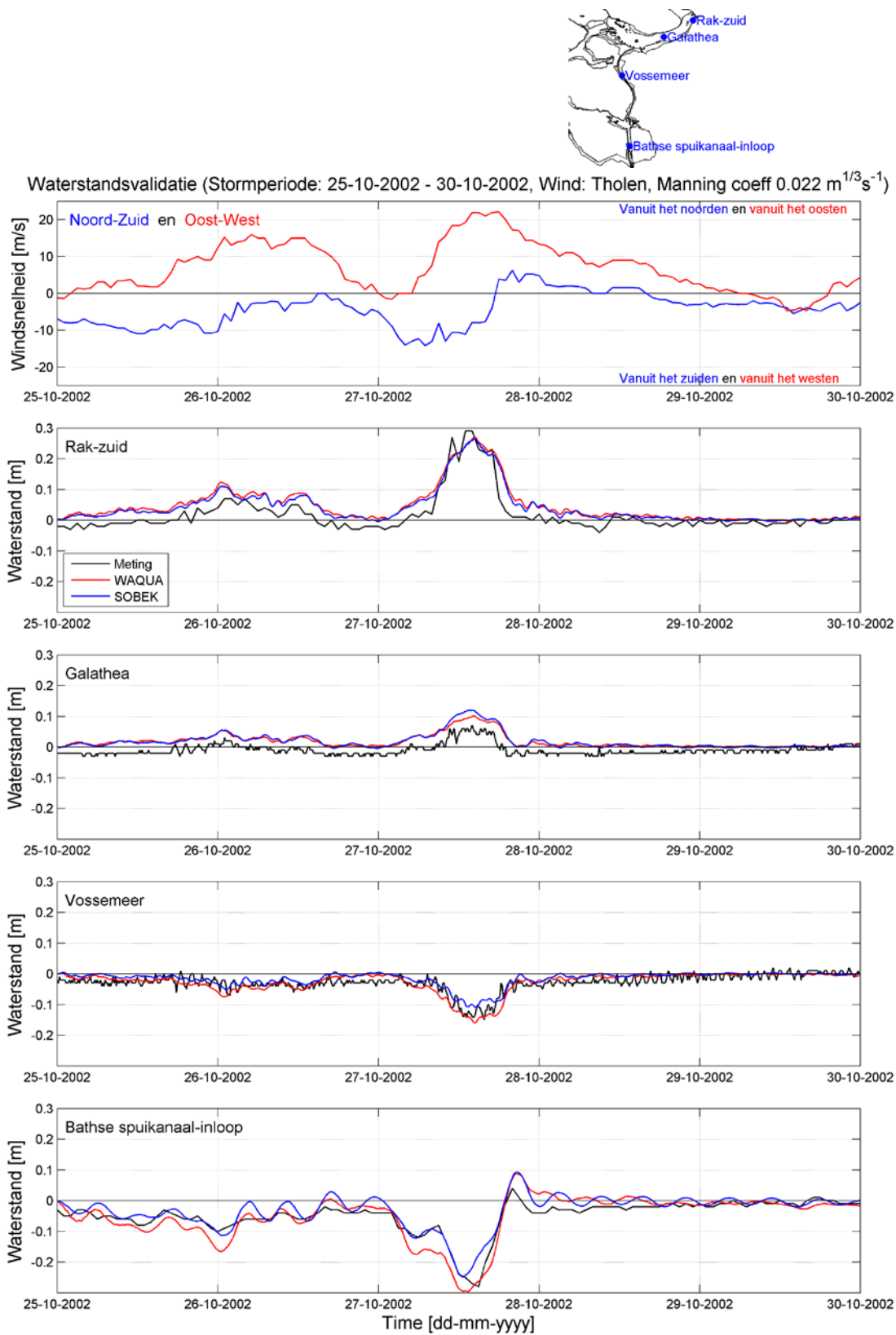
De modelprestatie voor elk van de stormen wordt besproken aan de hand van de kentallen: Root mean square error (RMSE), de bias of gemiddeld verschil (GV), de standaarddeviatie (σ), het verschil in piek waterstanden ($\Delta\zeta_{max}$ en $\Delta\zeta_{min}$) en het verschil in peiktijdstip (Δt_{piek}). Een overzicht van de gehanteerde definities voor de kentallen wordt in Appendix B gegeven.

De presentatie van het SOBEK3 model met betrekking tot deze kentallen wordt vergeleken met simulaties gedaan met een 2D WAQUA schematisatie. Voor de WAQUA simulatie worden de zelfde windvelden, ruwheid, initiële condities en randvoorwaarden toegepast als voor het SOBEK model. In Kuiper et al, 2014 wordt nader ingegaan op de modelprestatie van het WAQUA model en wordt ook gekeken naar de gevoeligheid van dit model voor andere ruwheden en windcondities.

5.2 Model prestatie

5.2.1 Resultaten verificatie storm oktober 2002

Figuur 5.1 toont de gemeten en berekende waterstand voor de vier meetstations in het Volkerak-Zoommeer. Bovenaan het figuur zijn de windcondities weergegeven, opgesplitst in een noord- zuid en een oost-west component. De oriëntatie van het Volkerak-Zoommeer zorgt er voor dat meetstations Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop voornamelijk gedomineerd worden door wind in de noord-zuid richting, terwijl stations Galathea en Rak-zuid hoofdzakelijk gedomineerd wordt door wind over de oost-west as.



Figuur 5.1 Waterstandverloop gedurende de oktober 2002 storm voor de stations Rak-Zuid, Galathea, Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop (Zwart: meting, rood: WAQUA simulatie, blauw: SOBEK simulatie). Bovenaan worden de locaties van de stations weergegeven en in de bovenste grafiek de windcondities.

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 maximaal 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-inloop (en ook in Vossemeer) wordt door het model qua grootte goed gereproduceerd. In vergelijking met het WAQUA model, is voor deze rustige begin-periode te zien dat het SOBEK model voor stations Rak-zuid, Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop lichtelijk lagere waterstanden voorspelt, die voor Rak-zuid en Bathse spuikanaal-inloop beter overeenkomen met gemeten waardes. Over het algemeen echter, reproduceren het SOBEK en WAQUA model beiden de gemeten waterstandsverschillen goed.

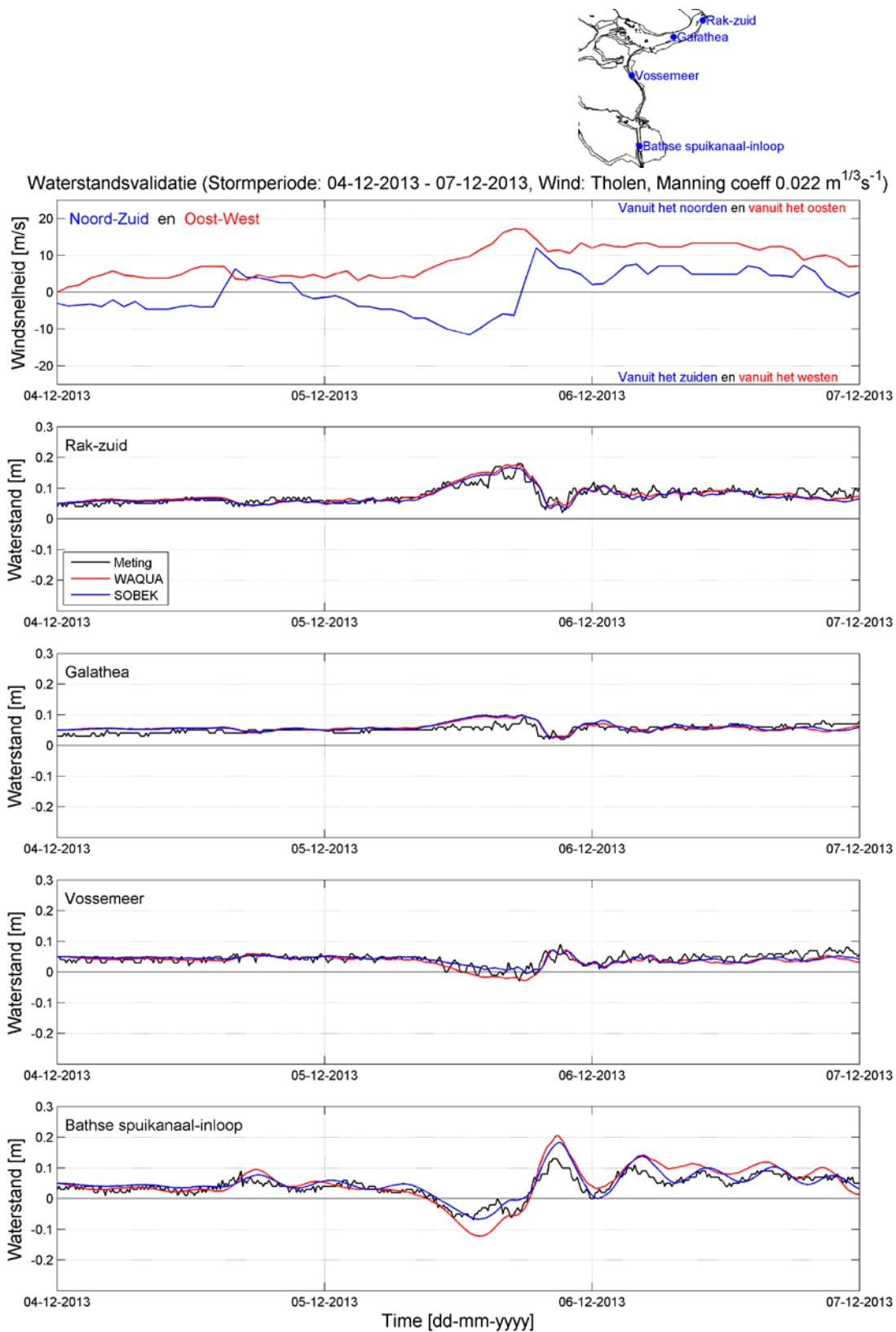
Op 27 oktober 2002 trekt de wind aan tot snelheden van ongeveer 20 m/s (Bft. 8) uit zuidwestelijke tot westelijke richting. Dit heeft een afwaaiing tot gevolg van circa 30 cm in Bathse spuikanaal-inloop en ruim 15 cm in Vossemeer. De opwaaiing in Galathea bedraagt ongeveer 10 cm terwijl deze voor station Rak-Zuid oploopt tot ongeveer 25 cm. In de stations wordt het gemeten waterstandsverloop goed tot zeer goed door het model gereproduceerd. Alleen voor meetstation Galathea worden de waterstanden door zowel het SOBEK als het WAQUA model overschat. Voor de zuidelijk gelegen stations, overschat WAQUA de afwaaiing lichtelijk, terwijl SOBEK deze juist iets onderschat.

Later op de avond van 27 oktober 2002 neemt de windsnelheid af tot 10 m/s uit westelijke richting. De waterstandsopwaaiing en -afwaaiing reduceren dan weer tot vrijwel nul.

5.2.2 Resultaten verificatie storm december 2013

Figuur 5.2 geeft de gemeten en berekende waterstand voor de meetstations in het Volkerak-Zoommeer voor de stormperiode in december 2013 weer. 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 rond de 18 m/s (8 Bft.) wordt bereikt. Tijdens de volgende dag blijft de wind krachtig waaien met 12 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 opwaaiing van orde 5 cm in Galathea op 5 december 2013 wordt door zowel het SOBEK als het WAQUA model goed gereproduceerd. Ook de hiermee samenhangende berekende waterstandsdaling bij Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop van resp. 5 cm en 10 cm komt overeen met de metingen. De afwaaiing voor Bathse spuikanaal-inloop wordt door het SOBEK model beter beschreven dan aan de hand van WAQUA. Het SOBEK model overschat de afwaaiing licht (minder dan 1cm), terwijl het WAQUA model de afwaaiing 5cm overschat.

Als de wind in de avond van 5 december 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. Voor Galathea en Rak-zuid treedt dan een geringe afwaaiing op. Deze variaties worden door beide modellen redelijk goed gereproduceerd. Alleen bij station Bathse spuikanaal-inloop wordt de opwaaiing door beide modellen overschat.



Figuur 5.2 Waterstandverloop gedurende de december 2013 storm voor de stations Rak-Zuid, Galathea, Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop (Zwart: meting, rood: WAQUA, blauw: SOBEK). Bovenaan worden de locaties van de stations weergegeven en in de bovenste grafiek de windcondities.

5.2.3 Model prestatie

Tabel 5.1 en Tabel 5.2 geven de statistische kentallen gedefinieerd in Appendix B weer, voor de oktober 2002 en december 2013 stormperiodes. De resultaten worden weergegeven voor elk van de vier waterstandsmeetstations afzonderlijk. Voor de oktober 2002 storm hebben de stations Rak-zuid en Bathse spuikanaal-inloop betrekking op uurs-waarnemingen; in de overige stations en voor de december 2013 storm betreft dit 10 minuten waarnemingen.

Volgens het *RSME*-kental is het gemiddelde verschil van de momentane waterstanden in de vier stations tijdens de oktober 2002 stormperiode van 5 dagen rond 3 cm voor zowel de WAQUA als de SOBEK simulaties (Tabel 5.1). Het gemiddelde waterstandsverschil (*GV*) is voor de noordelijk gelegen stations (Rak-zuid en Galathea) ongeveer 1.5 tot 2 cm hoger dan voor de zuidelijke stations (Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop), waarbij het gemiddelde verschil in de zuidelijke stations 1 cm groter is in de SOBEK simulatie dan die voor het WAQUA model. De standaarddeviatie (σ) ligt voor beide modellen rond de 2 cm, zonder dat hier een duidelijke ruimtelijke trend in kan worden waargenomen. Het verschil in piek waterstanden ($\Delta\zeta_{max}$) heeft alleen betekenis voor de meetstations Rak-zuid, Galathea en Bathse spuikanaal-inloop, aangezien hier alleen sprake was van opwaaiings-effecten. Over het algemeen liggen beide modellen hier redelijk dicht bij elkaar in de buurt, met een voorspelfout variërend van een onderschatting van 1.6 cm tot een overschatting van 5.1 cm. Voor de extreem lage waterstanden als gevolg van afwaaiing, moeten alleen de waardes voor stations Vossemeer en Bathse spuikanaal-inloop met elkaar worden vergeleken. Hier onderschat het SOBEK model het effect van de afwaaiing in verhouding met de WAQUA simulatie. De WAQUA simulatie overschat de waterstandsdaling met ongeveer 1 cm, terwijl SOBEK het afwaaiingseffect onderschat met ongeveer 4 cm. Tot slot kan nog het verschil in piektijdstip (Δt_{piek}) worden vergeleken. Aangezien de piek-tijdstippen voor Rak-zuid en Bathse spuikanaal-inloop zijn gebaseerd op gemeten uurwaardes, komt deze vergelijking met model-resultaten minder nauwkeurig uit. Voor meetstations Galathea en Vossemeer blijkt dat beide modellen een zeer vergelijkbare voorspelfout hebben.

Tabel 5.1 Beoordeling modelprestatie tijdens de storm van oktober 2002 (5 dg.): simulatie minus observatie (Rood: WAQUA simulatie, blauw: SOBEK).

Station	Rak-zuid	Galathea	Vossemeer	Bathse spuikanaal-inloop	Gemiddeld (abs.)
RMSE [cm]	3.8 / 3.3	3 / 3.2	1.8 / 1.9	3.1 / 2.7	2.9 / 2.8
GV [cm]	3 / 2.4	2.7 / 2.8	0.13 / 1.2	-0.24 / 1.6	1.5 / 2
σ [cm]	2.4 / 2.3	1.3 / 1.5	1.8 / 1.5	3.1 / 2.2	2.1 / 1.9
$\Delta\zeta_{max}$ [cm]	-2.6 / -3.2	3.1 / 5	-1.6 / -1.5	4.6 / 5.1	3 / 3.7
$\Delta\zeta_{min}$ [cm]	3.7 / 3.6	2.7 / 2.6	-0.98 / 4	-1.4 / 3.8	2.2 / 3.5
Δt_{piek} [min]	0 / 0	10 / -20	-90 / -70	-120 / -120	55 / 52.5

Voor de december 2013 storm (Tabel 5.2) komen WAQUA en SOBEK resultaten zeer goed met elkaar overeen voor het merendeel van de kentallen en meetstations. Voor meetstation Bathse spuikanaal-inloop lopen de verschillen wat verder uiteen. Wanneer WAQUA zowel de afwaaiing als de opwaaiing overschat, met grotere fouten voor *RMSE*, σ , $\Delta\zeta_{max}$ en $\Delta\zeta_{min}$. In verhouding presteert het SOBEK model voor deze storm lichtelijk beter dan het WAQUA model.

Tabel 5.2 Beoordeling modelprestatie tijdens de storm van december 2013 (3 dg.): simulatie minus observatie (Rood: WAQUA simulatie, blauw: SOBEK).

Station	Rak-zuid	Galathea	Vossemeer	Bathse spuikanaal -inloop	Gemiddeld (abs.)
RMSE [cm]	1.5 / 1.5	1.5 / 1.6	1.5 / 1.4	3.2 / 2.2	1.9 / 1.7
GV [cm]	0.13 / -0.28	0.61 / 0.66	-0.63 / -0.083	0.87 / 1	0.56 / 0.51
σ [cm]	1.5 / 1.5	1.4 / 1.4	1.4 / 1.4	3 / 1.9	1.8 / 1.6
ΔC_{\max} [cm]	-0.4 / -1.2	0.72 / 0.89	-1.8 / -1.8	7.5 / 5.3	2.6 / 2.3
ΔC_{\min} [cm]	2.2 / 1.3	0.58 / 0.4	0.14 / 2.6	-5.2 / 0.25	2 / 1.1
Δt_{piek} [min]	-60 / -40	-10 / -10	30 / -40	0 / 10	25 / 25

5.3 Gevoeligheidsanalyse

5.3.1 Wind gegevens

Het plan is om het SOBEK model voor het Volkerak-Zoommeer te koppelen aan het Rijn-Maasmondingsmodel. Voor het Rijn-Maasmondingsmodel worden windgegevens van Rotterdam gebruikt voor de aansturing van het model. In deze paragraaf wordt het effect van windgegevens van verschillende omliggende meetstations onderzocht. Hierbij worden de windgegevens van Tholen vergeleken met die van Rotterdam en Stavenisse.

Figuur 5.3 en Figuur 5.4 geven een overzicht van zowel de waterstandvariatie over tijd voor de verschillende wind-forceringen, als ook de windgegevens zelf (bovenste grafiek) voor de oktober 2002 (Figuur 5.3) en de december 2013 (Figuur 5.4) stormen. Daarnaast zijn de kentallen weergegeven in tabel Tabel 5.3 (2002) en Tabel 5.4 (2013).

Windgegevens van Rotterdam wijken over het algemeen af van de gemeten waardes afkomstig van Tholen en Stavenisse. De maximum windsnelheden worden over het algemeen eerder geregistreerd in Rotterdam, en gemeten maximale windsnelheden zijn over het algemeen hoger in Stavenisse en Tholen.

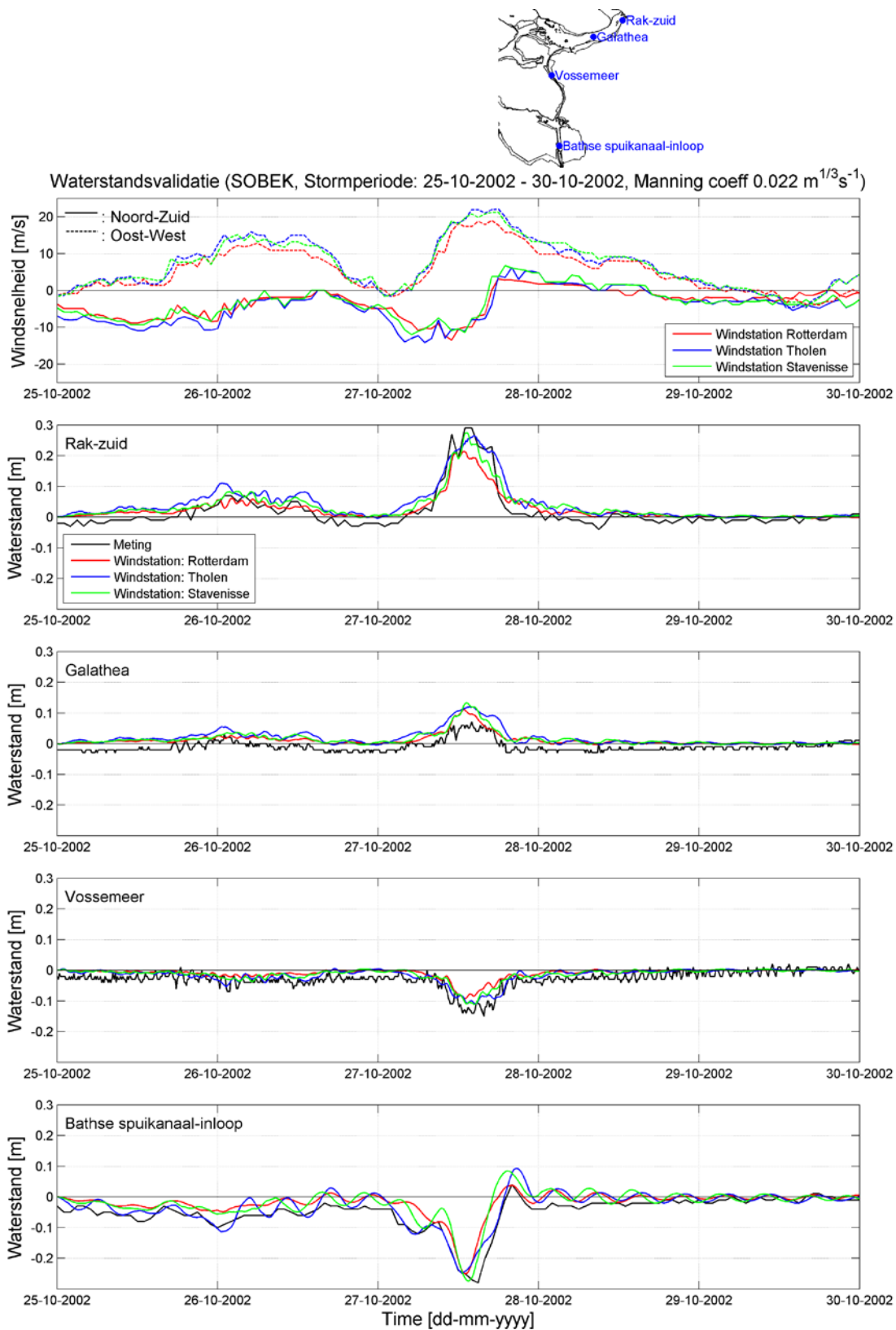
Duidelijk is dat het gebruikte meetstation voor de opgelegde wind significante gevolgen heeft voor de nauwkeurigheid van de afwaaiing en opwaaiing. Dit is vooral zichtbaar in de tijdsverschuiving van het waterstandssignaal. Voor alle stations, en voor beide stormen, leiden windgegevens van Rotterdam tot een eerdere toename (afname) van de waterstand, dan gebruikmakend van windgegevens van de andere twee meetstations. Daarnaast is, in het algemeen, ook in mindere mate sprake van op- of afwaaiing voor windgegevens van Rotterdam. De waterstandsvariatie gebruikmakend van windgegevens van Tholen en Stavenisse komt beter overeen met gemeten waardes dan gebruikmakend van windgegevens van Rotterdam. Opgelegde windgegevens van Stavenisse en Tholen komen meer met elkaar overeen, alhoewel Stavenisse veelal leidt tot een iets grotere variatie in de waterstand en tot hogere op- en afwaaiing (afhankelijk van het gekozen meetstation) dan gegevens van Tholen.

Tabel 5.3 Beoordeling modelprestatie voor verschillende windforceringen tijdens de storm van oktober 2002 (5 dg.): simulatie minus observatie (rood: Wind van station Rotterdam, blauw: Station Tholen, groen: Station Stavenisse).

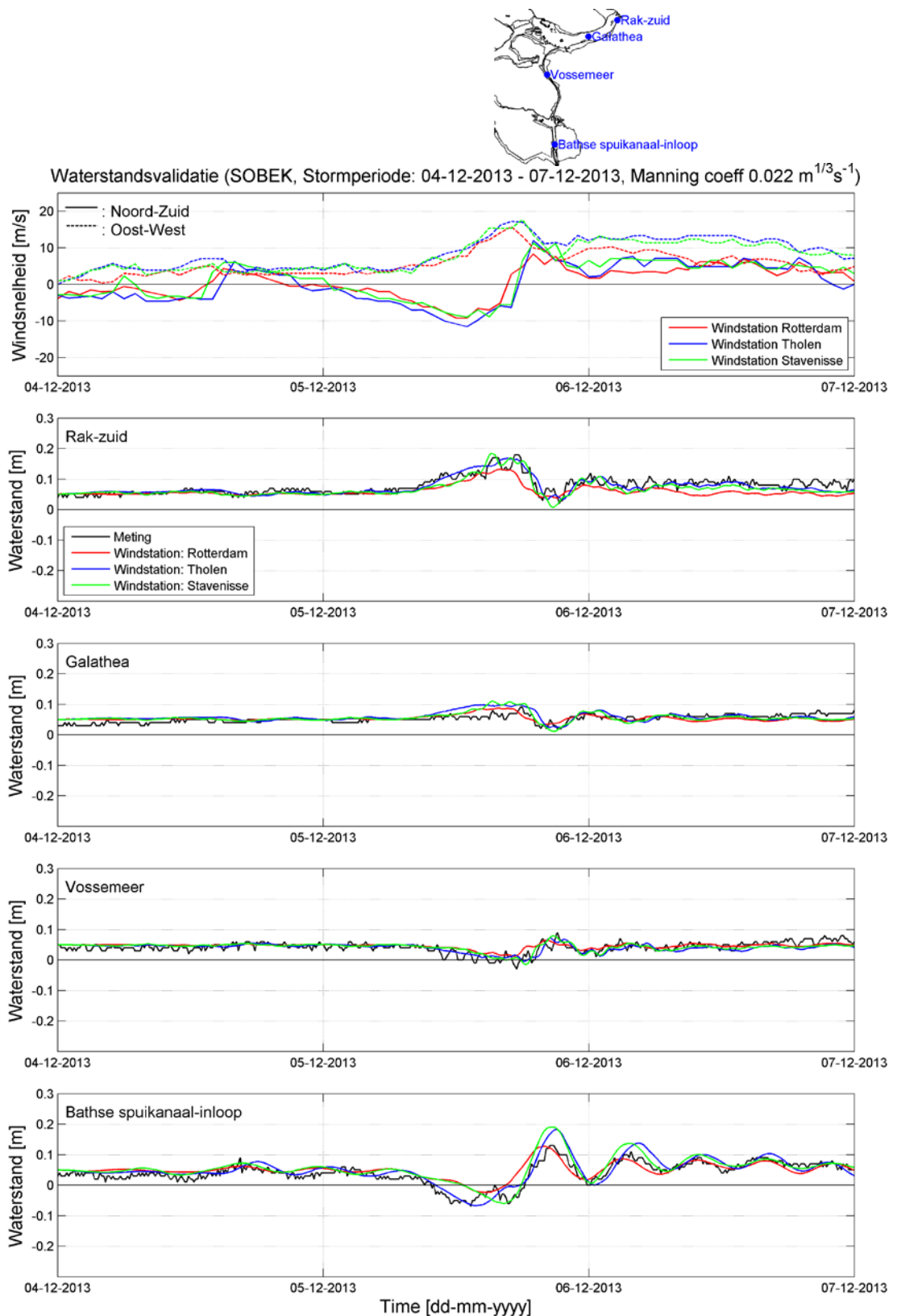
Station	Rak-zuid	Galathea	Vossemeer	Bathse spuikanaal -inloop	Gemiddeld (abs.)
RMSE [cm]	2.8 / 3.3 / 2.8	2.4 / 3.2 / 2.7	2.5 / 1.9 / 2.1	3.8 / 2.7 / 3.8	2.9 / 2.8 / 2.9
GV [cm]	0.83 / 2.4 / 1.7	2.1 / 2.8 / 2.4	1.8 / 1.2 / 1.5	2.9 / 1.6 / 2.7	1.9 / 2 / 2.1
σ [cm]	2.7 / 2.3 / 2.2	1.2 / 1.5 / 1.3	1.6 / 1.5 / 1.5	2.4 / 2.2 / 2.6	2 / 1.9 / 1.9
ΔC_{\max} [cm]	-7.7 / -3.2 / -1.6	4.2 / 5 / 6.3	-1.7 / -1.5 / -1.6	-0.31 / 5.1 / 4.1	3.5 / 3.7 / 3.4
ΔC_{\min} [cm]	3.6 / 3.6 / 3.6	2.7 / 2.6 / 2.6	5.7 / 4 / 3.8	3 / 3.8 / 1.5	3.7 / 3.5 / 2.9
Δt_{piek} [min]	0 / 0 / 0	-70 / -20 / -50	-180 / -70 / -90	-120 / -120 / -60	92.5 / 52.5 / 50

Tabel 5.4 Beoordeling modelprestatie voor verschillende windforceringen tijdens de storm van december 2013 (3 dg.): simulatie minus observatie (rood: Wind van station Rotterdam, blauw: Station Tholen, groen: Station Stavenisse).

Station	Rak-zuid	Galathea	Vossemeer	Bathse spuikanaal -inloop	Gemiddeld (abs.)
RMSE [cm]	2.4 / 1.5 / 1.8	1.3 / 1.6 / 1.5	1.4 / 1.4 / 1.4	2.4 / 2.2 / 2.5	1.9 / 1.7 / 1.8
GV [cm]	-1.7 / -0.28 / -0.85	0.16 / 0.66 / 0.41	0.48 / -0.083 / 0.12	1 / 1 / 1.5	0.83 / 0.51 / 0.72
σ [cm]	1.7 / 1.5 / 1.6	1.3 / 1.4 / 1.4	1.3 / 1.4 / 1.4	2.2 / 1.9 / 2	1.6 / 1.6 / 1.6
$\Delta\zeta_{\max}$ [cm]	-4.7 / -1.2 / 0.41	-0.24 / 0.89 / 2.1	-2.5 / -1.8 / -1.1	-0.25 / 5.3 / 6	1.9 / 2.3 / 2.4
$\Delta\zeta_{\min}$ [cm]	1.8 / 1.3 / -1.3	1.3 / 0.4 / -0.8	4.2 / 2.6 / 1.5	4.6 / 0.25 / 0.99	3 / 1.1 / 1.1
Δt_{piek} [min]	-80 / -40 / -130	-120 / -10 / -150	-60 / -40 / -20	-30 / 10 / 0	72.5 / 25 / 75



Figuur 5.3 Waterstandverloop gedurende de oktober 2002 storm voor verschillende windstations (Zwart: meting, rood: windgegevens uit Rotterdam, blauw: wind Tholen, groen: wind Stavenisse). In de bovenste grafiek staan de windgegevens voor de verschillende stations, de gestreepte lijnen beschrijft de oost-west component, terwijl de continue lijnen de noord-zuid georiënteerde windcomponent beschrijven.



Figuur 5.4 Waterstandverloop gedurende de december 2013 storm voor verschillende windstations (Zwart: meting, rood: windgegevens uit Rotterdam, blauw: wind Tholen, groen: wind Stavenisse). In de bovenste grafiek staan de windgegevens voor de verschillende stations, de gestreepte lijnen beschrijft de oost-west component, terwijl de continue lijnen de noord-zuid georiënteerde windcomponent beschrijven.

5.3.2 Ruwheden

Voor SOBEK modellen van rivieren wordt veelal gebruik gemaakt van afvoerafhankelijke bodemruwheden. Deze worden met name toegepast voor de winterbed-ruwheid, waarbij voor het zomerbed een afvoer-onafhankelijke (Manning) ruwheid wordt gespecificeerd. Voor de ruwheidsbepaling voor de uiterwaarden wordt veelal gebruik gemaakt van een tweede functionaliteit van WAQ2PROF, waarin verschillende rivierafvoeren een ruwheidswaarde voor de uiterwaarden van verschillende dwarsprofielen kan worden gegeneerd. Voor het Volkerak-Zoommeer is hiervan afgeweken, en alleen een constante afvoer onafhankelijke Manning ruwheid toegepast (Manning coëfficiënt van $0.022 \text{ s/m}^{1/3}$). In het Volkerak-Zoommeer is slechts zeer beperkt sprake van uiterwaarden, en daarnaast zijn debieten door het Volkerak-Zoommeer over het algemeen klein, waardoor ruwheidsbepaling met behulp van stroomsnelheden minder geschikt is.

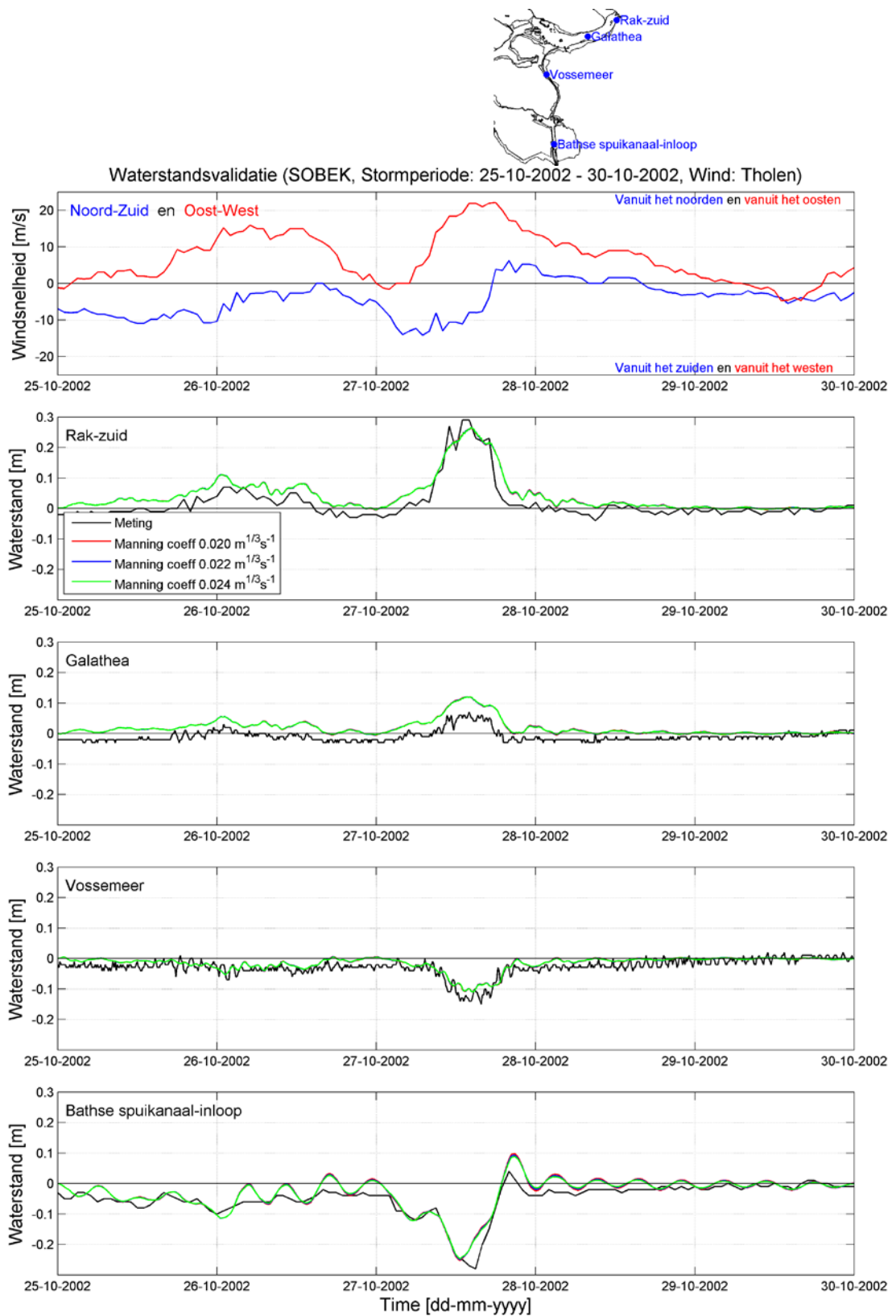
Om te bepalen in hoeverre verschillende ruwheden leiden tot significant andere waterstandsvoorspellingen zijn de simulaties met windforcering van Tholen herhaald voor verschillende waarden van de Manning coëfficiënt ($0.02 \text{ s/m}^{1/3}$ en $0.024 \text{ s/m}^{1/3}$). De resultaten hiervan zijn terug te zien in Figuur 5.5 en Figuur 5.6, en de kentallen in Tabel 5.5 en Tabel 5.6. Voor beide stormen leidt een verhoging of verlaging van de ruwheid slechts zeer beperkt tot verandering in de waterstandsresultaten voor de verschillende meetstations. Het station dat het verst van de het Volkerak gedeelte af is (Bathse spuikanaal-inloop) laat de grootste verschillen zien, maar kengetallen als de piek waterstanden veranderen slechts enkele millimeters.

Tabel 5.5 Beoordeling modelprestatie voor verschillende ruwheden tijdens de storm van oktober 2002 (5 dg.): simulatie minus observatie (rood: Manning coeff $0.02 \text{ s/m}^{1/3}$, blauw: Manning coeff $0.022 \text{ s/m}^{1/3}$, groen: Manning coeff $0.024 \text{ s/m}^{1/3}$).

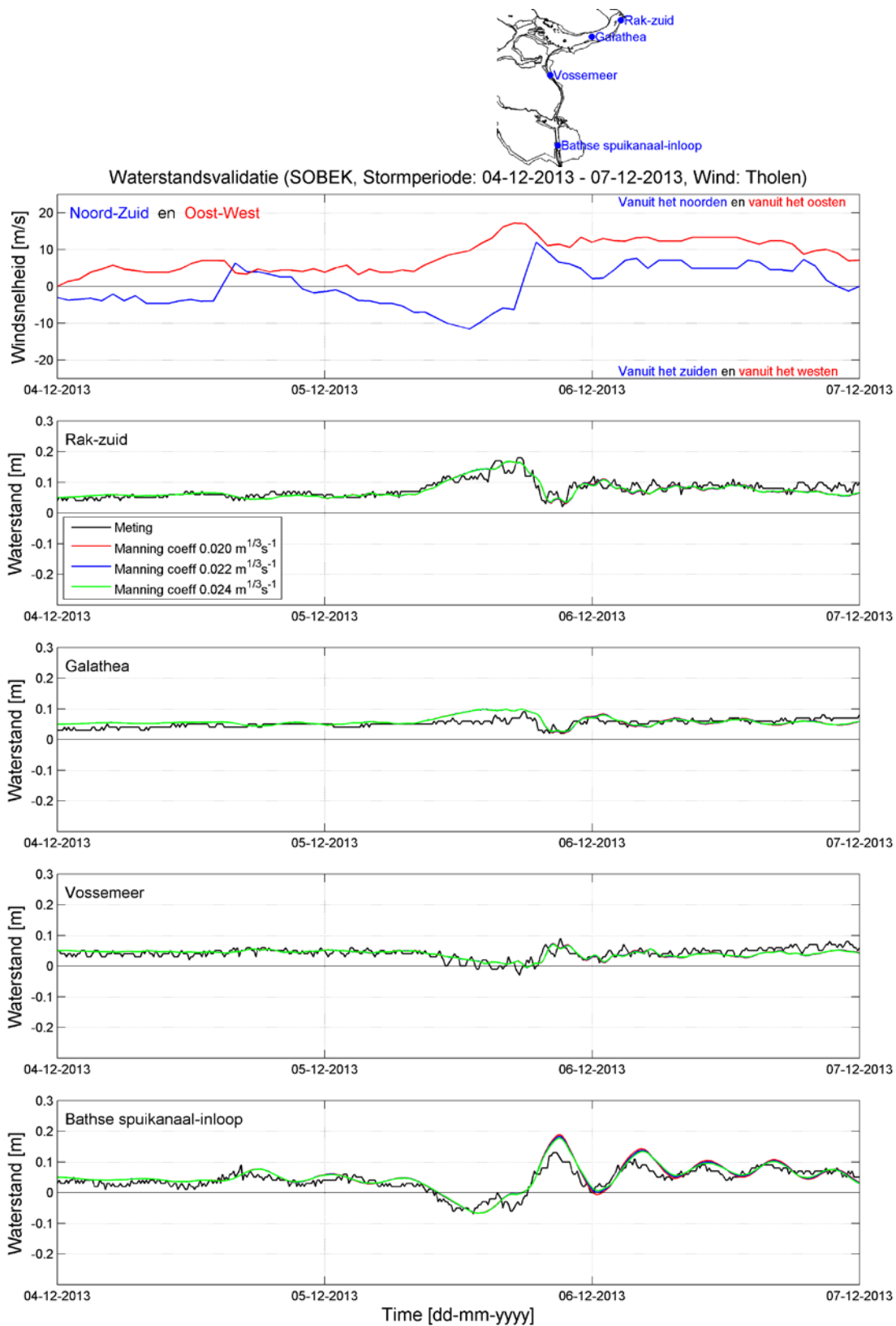
Station	Rak-zuid	Galathea	Vossemeer	Bathse spuikanaal-inloop	Gemiddeld (abs.)
RMSE [cm]	2.8 / 3.3 / 2.8	2.4 / 3.2 / 2.7	2.5 / 1.9 / 2.1	3.8 / 2.7 / 3.8	2.9 / 2.8 / 2.9
GV [cm]	0.83 / 2.4 / 1.7	2.1 / 2.8 / 2.4	1.8 / 1.2 / 1.5	2.9 / 1.6 / 2.7	1.9 / 2 / 2.1
σ [cm]	2.7 / 2.3 / 2.2	1.2 / 1.5 / 1.3	1.6 / 1.5 / 1.5	2.4 / 2.2 / 2.6	2 / 1.9 / 1.9
ΔC_{max} [cm]	-7.7 / -3.2 / -1.6	4.2 / 5 / 6.3	-1.7 / -1.5 / -1.6	-0.31 / 5.1 / 4.1	3.5 / 3.7 / 3.4
ΔC_{min} [cm]	3.6 / 3.6 / 3.6	2.7 / 2.6 / 2.6	5.7 / 4 / 3.8	3 / 3.8 / 1.5	3.7 / 3.5 / 2.9
Δt_{piek} [min]	0 / 0 / 0	-70 / -20 / -50	-180 / -70 / -90	-120 / -120 / -60	92.5 / 52.5 / 50

Tabel 5.6 Beoordeling modelprestatie voor verschillende ruwheden tijdens de storm van december 2013 (3 dg.): simulatie minus observatie (rood: Manning coeff $0.02 \text{ s/m}^{1/3}$, blauw: Manning coeff $0.022 \text{ s/m}^{1/3}$, groen: Manning coeff $0.024 \text{ s/m}^{1/3}$).

Station	Rak-zuid	Galathea	Vossemeer	Bathse spuikanaal-inloop	Gemiddeld (abs.)
RMSE [cm]	2.4 / 1.5 / 1.8	1.3 / 1.6 / 1.5	1.4 / 1.4 / 1.4	2.4 / 2.2 / 2.5	1.9 / 1.7 / 1.8
GV [cm]	-1.7 / -0.28 / -0.85	0.16 / 0.66 / 0.41	0.48 / -0.083 / 0.12	1 / 1 / 1.5	0.83 / 0.51 / 0.72
σ [cm]	1.7 / 1.5 / 1.6	1.3 / 1.4 / 1.4	1.3 / 1.4 / 1.4	2.2 / 1.9 / 2	1.6 / 1.6 / 1.6
ΔC_{max} [cm]	-4.7 / -1.2 / 0.41	-0.24 / 0.89 / 2.1	-2.5 / -1.8 / -1.1	-0.25 / 5.3 / 6	1.9 / 2.3 / 2.4
ΔC_{min} [cm]	1.8 / 1.3 / -1.3	1.3 / 0.4 / -0.8	4.2 / 2.6 / 1.5	4.6 / 0.25 / 0.99	3 / 1.1 / 1.1
Δt_{piek} [min]	-80 / -40 / -130	-120 / -10 / -150	-60 / -40 / -20	-30 / 10 / 0	72.5 / 25 / 75



Figuur 5.5 Waterstandverloop gedurende de oktober 2002 storm voor verschillende ruwheidswaardes (Zwart: meting, rood: Manning coëff $0.02 \text{ s/m}^{1/3}$, blauw: Manning coëff $0.022 \text{ s/m}^{1/3}$, groen: Manning coëff $0.024 \text{ s/m}^{1/3}$).



Figuur 5.6 Waterstandverloop gedurende de december 2013 storm voor verschillende ruwheidswaardes (Zwart: meting, rood: Manning coëff $0.02 \text{ s/m}^{1/3}$, blauw: Manning coëff $0.022 \text{ s/m}^{1/3}$, groen: Manning coëff $0.024 \text{ s/m}^{1/3}$).

6 Vervolgtraject

Het nieuwe SOBEK3 model voor het Volkerak-Zoommeer is in de huidige status geschikt om gekoppeld te worden met het Rijn-Maasmondingsmodel (RWsOS RMM 2015), echter verschillende aspecten zullen hiervoor nog verder ontwikkeld moeten worden.

6.1 Kunstwerken

In de huidige opzet van het model zijn geen kunstwerken opgenomen. Voor het samenvoegen van dit model met ofwel het Rijn-Maasmondingsmodel of het Landelijk SOBEK model, dienen verschillende sluiscomplexen in het model te worden geïmplementeerd.

Voor een koppeling met het RMM model dient de uitwisseling tussen het Hollandsch Diep/Haringvliet en het Volkerak-Zoommeer te worden beschreven. Een beweegbare overlaat met vier schuiven dient te worden geïmplementeerd op het overgangsknooppunt ter plekke van de Volkerakspuisluizen. Het beheer van de schuifhoogtes dient daarnaast nog met behulp van een DRTC-routine te worden beschreven, zodat de Volkerakspuisluizen open gaan in het geval er tot waterberging wordt overgegaan.

Voor het dagelijkse waterpeil beheer in het Volkerak-Zoommeer zullen ook kunstwerken geplaatst moeten worden bij de Bathse Spuisluis, de Krammersluis en de Kreekraksluis.

Daarnaast zal voor de effectiviteit van de forecast simulaties zoals die nu in de FEWS RWsOS RMM omgeving worden gedaan, moeten worden onderzocht of het nodig is om een centraal gelegen (niet in de werkelijkheid aanwezige) extra sluis toe te voegen, om het waterpeil in het meer snel overeen te laten komen met de gemeten waardes. Daarnaast dient ook rekening te worden gehouden met een sluitfout in de waterbalans.

Tot slot zal wanneer het Markiezaatmeer ook in deze schematisatie wordt opgenomen, een kunstwerk moeten worden toegevoegd, om de interactie tussen het Schelde-Rijn-Kanaal en het Markiezaatmeer te regelen. Hiervoor is op dit moment al een SOBEK-knoop toegevoegd aan de schematisatie.

6.2 Zout

In het huidige model wordt geen rekening gehouden met zout-effecten in het Volkerak-Zoommeer. In het Rijn-Maasmondingsmodel wordt dit wel gedaan. Het zoutlek via de Krammersluizen (en mogelijk ook via de Bathse spuisluis, zie Weiler, 2015) is aanzienlijk, al valt te bezien in hoeverre deze invloed zal hebben op de waterstand. Wanneer wordt overgegaan tot het openstellen van het Volkerak voor getij vanuit de Oosterschelde, zal dit echter wel moeten worden meegenomen.

6.3 Lateralen

De lateralen zoals deze nu in de SOBEK schematisatie zijn opgenomen bevatten nog geen debieten. De gegevens hiervoor dienen nog te worden verzameld en te worden ingevoerd in het model.

6.4 Meetlocaties

In de huidige rapportage is een verificatie uitgevoerd aan de hand van 4 waterstandsmeetlocaties (Rak-Zuid, Galathea, Vossemeer, en Bathse spuikanaal-inloop). In het Volkerak-Zoommeer zijn meer waterstandsmeetstations, zoals Bathse Brug Deltanuts, Bathse spuisluis kanaal, Dintelsas en Kreekrak-Noord. Voor een verdere validatie van dit model kan ook het gebruik van deze meetgegevens waardevol zijn.

6.5 Vak-nummering

Het is voor de toekomst aan te raken de vaknummering voor het Volkerak-Zoommeer aan te passen. Omdat het Volkerak-Zoommeer model en het Rijn-Maasmondingsmodel worden afgeleid aan de hand van verschillende baseline bomen, zullen beide modellen afzonderlijk blijven worden gegenereerd. Wanneer het RMM model wordt aangepast, en bijvoorbeeld meer vakken worden gecreëerd, is het wenselijk dat de vaknummering van het Volkerak-Zoommeer model niet hoeft te worden veranderd. Op dit moment lopen de vaknummers voor het Volkerak-Zoommeer van 3031 tot 3206. Door deze te veranderen naar de nummers 3400 - 3699 (waarbij alleen 3400 tot en met 3575 worden gebruikt voor de huidige vakverdeling), wordt ruimte gecreëerd voor toekomstige aanpassingen aan de Rijn-Maasmondingsmodel.

7 Conclusies

Bij dit project is een nieuwe SOBEK-schematisatie voor het Volkerak-Zoommeer ontwikkeld, welke in de toekomst samengevoegd gaat worden met het operationeel draaiende 1D Rijn-Maasmondingsmodel. In de toekomst zal dit gecombineerde Rijn-Maasmondings – Volkerak-Zoommeermodel worden gebruikt om in een operationele omgeving waterstandsvoorspellingen te kunnen doen waarin de toekomstige waterbergingsfunctie van het Volkerak-Zoommeer kan worden meegenomen.

In dit project is aan de hand van de 2012 Baseline-boom en met behulp van een 2D WAQUA schematisatie een vijfde generatie SOBEK3 model opgezet voor het Volkerak-Zoommeer. Het nieuwe model is geverifieerd aan de hand van twee historische stormperiodes in 2002 en 2013. De met dit model berekende op- 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. De nauwkeurigheid van deze 1D simulatie komt daarmee overeen met die van het 2D WAQUA model.

Uit de berekeningen wordt verder geconcludeerd dat:

- Het gebruik van een uniforme Manningruwheid met een coëfficiënt gelijk aan de waarde zoals deze gebruikt wordt in het IJsselmeer een goede beschrijving geeft van de waterstandsvariatie als gevolg van op- en afwaaiing. Variatie van de ruwheidscoëfficiënt heeft nauwelijks invloed op de berekende opwaaiing/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 ($0.022 \text{ s/m}^{1/3}$).
- Op basis van reproductie van maximale op- en afwaaiing heeft forcering van het Volkerak-Zoommeer met wind gemeten in Tholen of Stavenisse de voorkeur boven forcering met wind uit Rotterdam, aangezien de fasering van de op en afwaaiing gebaseerd op Tholen of Stavenisse beter overeenkomt met gemeten waarden. Wanneer uit het oogpunt van consistentie met het RWsOS RMM model gekozen wordt voor forcering met wind Rotterdam verslechtert de reproductie van de maximale op- en afwaaiing iets en zal ook de bepaling het tijdstip waarop de maximale waterstand optreedt iets verminderen.

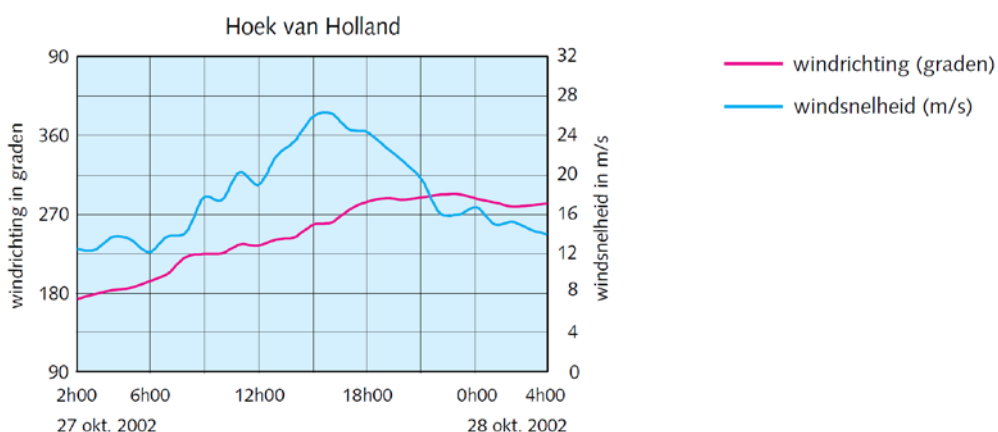
8 Referenties

- Berends, K. 2015, SOBEK 3 model van de Rijn-Maasmonding, Modelbouw, kalibratie en verificatie. Delft: Deltares
- DHV. 2010. 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.
- Horváth, K., 2015, Development of the SOBEK3 model of the IJsselmeer, (Concept). Delft: Deltares
- Kuiper, C., Th. van der Kaaij, en D. Kerkhoven, 2014, Volkerak-Zoommeer WAQUA-model 5e generatie; Modelopzet en validatie stormopzet en afwaaiing. Delft: Deltares.
- Minns, T., en S. Gaytan Aguilar, 2015, 5^e generatie WAQUA model Grevelingen, modelverificatie voor stormopzet en afwaaiing, (Concept). Delft: Deltares.
- Weiler, O., 2015, Perspectief toepassing IZZS op Krammerduwvaartsluizen Functionele en hydraulische aspecten, Studie in het kader van de Pilot Krammerjachtensluis. Delft: Deltares.

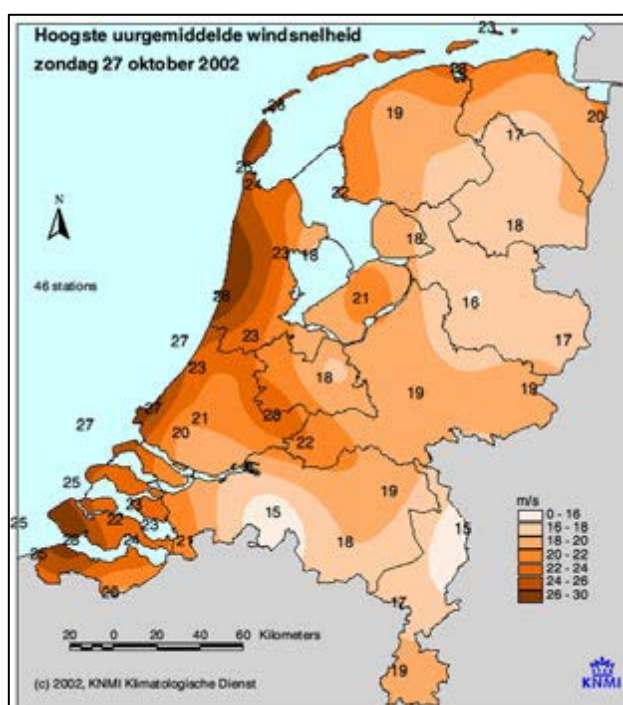
A Beschrijving van stormperiodes

A.1 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 A.1 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 A.2. De getijfase tijdens deze storm was die van een gemiddeld tij, waardoor de opgetreden waterstanden niet uitzonderlijk hoog waren.

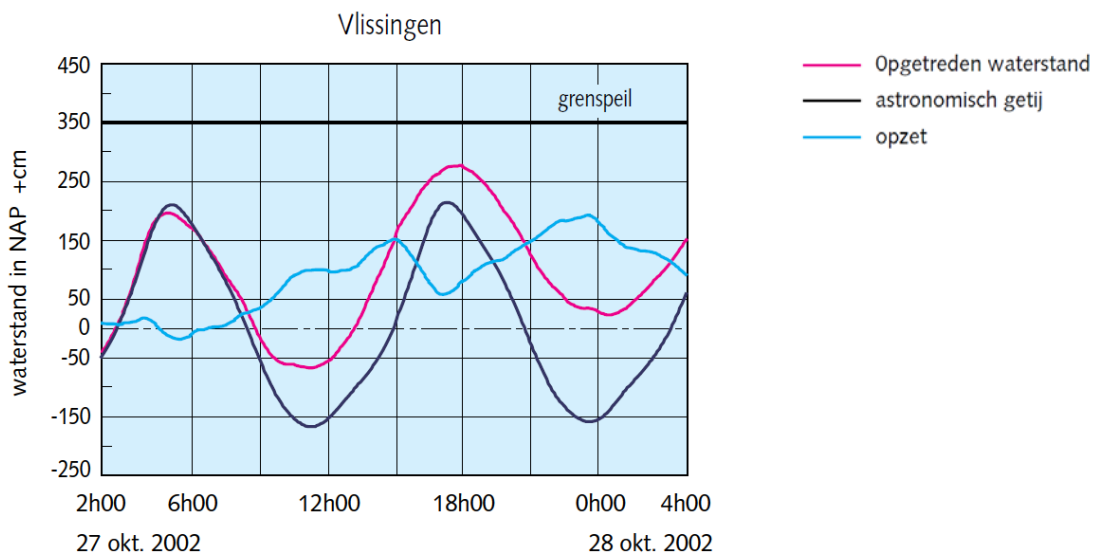


Figuur A.1 Windverloop bij Hoek van Holland op 27 oktober 2002 (SVSD, 2003).



Figuur A.2 Hoogste uurgemiddelde windsnelheid op 27 oktober 2002 (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 A.3. Deze viel praktisch gelijk met laagwater.



Figuur A.3 Waterstandsverloop bij Vlissingen op 27 oktober 2002 (SVSD, 2003).

A.2 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'.

B Kengetallen

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.

Verskil in piektijdstip

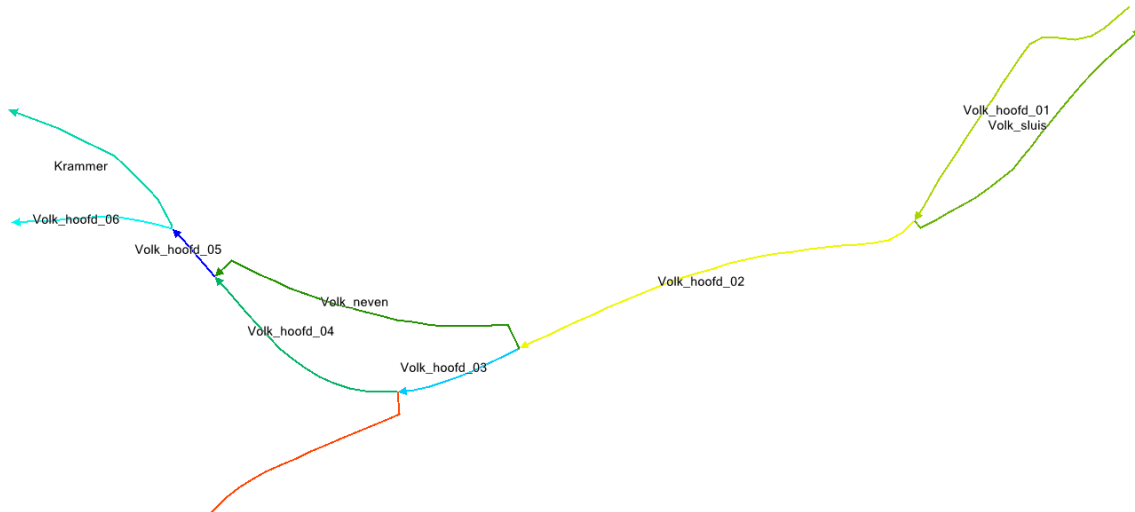
Het laatste kengetal waarop een de toepassing van het model wordt beoordeeld is het verschil in tijd waarop het model de maximale opzet voorspeld en wanneer het wordt waargenomen (Δt_{piek}). Hierbij wordt voor ieder meetstation, afhankelijk van of er sprake is van op- of afwaaiing het tijdstip waarop de maximale absolute waterstand optreedt, vergeleken met het moment met de hoogste absolute waterstand volgens de metingen.

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

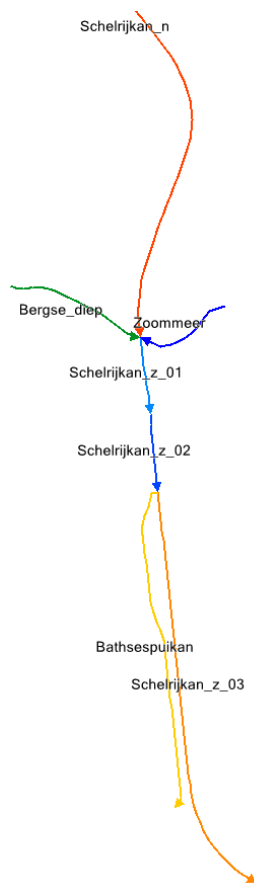
C Benaming SOBEK takken

<i>met cursief de "Long name"</i>	Lengte [m]
Volk_hoofd_01 <i>Volkerak Hoofdgeul 01</i>	4953
Volk_hoofd_02 <i>Volkerak Hoofdgeul 02</i>	6463
Volk_hoofd_03 <i>Volkerak Hoofdgeul 03</i>	1989
Volk_hoofd_04 <i>Volkerak Hoofdgeul 04</i>	3479
Volk_hoofd_05 <i>Volkerak Hoofdgeul 05</i>	992
Volk_hoofd_06 <i>Volkerak Hoofdgeul 06</i>	2486
Volk_neven <i>Branch Volkerak Nevengeul (parallel aan Volk_hoofd_03 en Volk_hoofd_04)</i>	4415
Volk_sluis <i>Verbinding tussen Volk_sluis en Volk_hoofd</i>	4606
Krammer <i>Branch Krammer (parallel aan Volk_hoofd_06, richting Krammer)</i>	3183
Schelrijkan_n <i>Schelde-Rijn-Kanaal Noordzijde (tussen Volkerak en Zoommeer, Eendrachtkanaal)</i>	18250
Schelrijkan_z_01 <i>Schelde-Rijn-Kanaal Zuidzijde 01 (tussen Zoommeer en overlaatpunt Markiezaatmeer)</i>	1974
Schelrijkan_z_02 <i>Schelde-Rijn-Kanaal Zuidzijde 02 (tussen overlaatpunt Markiezaatmeer en splitsing Bathse spuikanaal)</i>	1966
Schelrijkan_z_03 <i>Schelde-Rijn-Kanaal Zuidzijde 02 (tussen splitsing Bathse spuikanaal en Belgische grens)</i>	10497
Bathsespuikan <i>Branch Bathse Spuikanaal (tussen Schelde-Rijn-Kanaal en Bathse spuisluis)</i>	8101
Bergse_diep <i>Branch Bergse Diep (tussen Schelde-Rijn-Kanaal en Bergse Diepsluis)</i>	3494
Zoommeer <i>Branch tussen Schelde-Rijn-Kanaal en Bergen op Zoom</i>	1952

Tabel C.8.1 Lijst van SOBEK-tak namen en lengtes voor het Volkerak-Zoommeer.



Figuur C.1 Voorgestelde benaming takken en assen voor de SOBEK-schematisatie van het Volkerak.



Figuur C.2 Voorgestelde benaming takken en assen voor de SOBEK-schematisatie van het Zoommeer en het Schelde-Rijn-Kanaal ten zuiden van het Volkerak