

SWAN Markermeer



Modelschematisaties zijn numerieke wiskundige modellen van het watersysteem. Voor de uitvoering van haar kerntaken rondom de Nederlandse hoofdwatersystemen gebruikt en ontwikkelt Rijkswaterstaat modelschematisaties, voor onder andere waterbeweging (hydrodynamica) en golven.

De ontwikkeling van de nieuwe, zesde generatie, modelschematisaties van de door Rijkswaterstaat beheerde watersystemen resulteert in een set schematisaties voor alle Rijkswateren en een aantal aangrenzende gebieden

De golfmodellen zijn gebaseerd op SWAN (Simulating Waves Nearshore), de spectrale rekensoftware voor het berekenen van windgedreven golven in kustgebieden, estuaria, meren en rivieren.

Contactgegevens:

Voor vragen n.a.v. deze publicatie kunt u terecht bij IPLO, het informatiepunt leefomgeving:
<https://www.iplo.nl/thema/water/applicaties-modellen/modelschematisaties>

Introductie

Rijkswaterstaat maakt ten behoeve van haar kerntaken gebruik van verschillende modelschematisaties van de Rijkswateren en het Hoofdwatersysteem. Deze modelschematisaties worden o.a. ingezet voor de operationele verwachtingen, vergunningverlening, planstudies en het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium. Modelschematisaties omvatten toepassingen voor waterbeweging, golven, morfologie, waterkwaliteit en ecologie.

Deze factsheet geeft een kort en bondig overzicht van een bestaande modelschematisatie(s) (model-invoer) en de bijbehorende gebiedsschematisatie(s) voor het betreffende watersysteem. Elke factsheet start met een algemene inleiding voor een breder publiek met informatie over het gemodelleerde gebied, over de mogelijke toepassingen en over de geografische brongegevens. Daarna volgen meer details over de uitgangspunten en aannames bij de opzet en ontwikkeling van de modellen en is vooral bedoeld voor personen die beschikken over een modelleerachtergrond. Per modelitem wordt dit op hoofdlijnen nader toegelicht. Voor nadere details wordt verwezen naar de modelrapportages onder de paragraaf “Referenties”.

In deze factsheet wordt een beschrijving gegeven van de twee typen SWAN golfmodellen van het Markermeer. Deze modelschematisaties zijn onderdeel van de zesde generatie modellen.

Geografische ligging

Beide typen modelschematisaties van het Markermeer omvatten naast het Markermeer ook het IJmeer, de Gouwzee, het Gooimeer en het Eemmeer. In het westen wordt het gebied begrensd door de Oranjesluizen, in het oosten door de Nijkerkersluis. Het gebied wordt weergegeven in het Rijks-Driehoeks coördinatenstelsel en het verticale referentievlak is Normaal Amsterdams Peil (NAP).

Toepassingen

De SWAN modelschematisaties zijn ontwikkeld voor onderstaande toepassingen:

1. Voor de berekening van golven in het beoordelings- en ontwerpinstrumentarium – BOI2023
2. Voor operationele toepassing om bij zwaar weer en/of hoog water verwachtingen van golfoploop af te kunnen geven.

Deze SWAN-modelschematisaties zijn niet ontwikkeld voor onderstaande toepassingen en er wordt zodoende een voorbehoud gemaakt ten aanzien van de inzet van de modelschematisatie voor het volgende:

1. Morfologische en slibstudies
2. Scheepvaartbegeleiding/adviserings doeleinden
3. Golfberekeningen in havens en in smalle delen van IJburg (SWAN is niet geschikt om diffractie van de golven te berekenen)

RWS heeft daarom, rekening houdend met het bovenstaande, deze modelschematisaties vrijgegeven voor gebruik binnen de volgende kerntaken bij Rijkswaterstaat:

De actuele (jxx) modelschematisatie voor operationele toepassingen:

1. Watermanagement, zijnde o.a. de werkzaamheden vanuit WaterManagement Centrum Nederland ten aanzien van waterberichtgeving over golven en golfoploop.
2. Operationele toepassingen, zijnde o.a. het gebruik binnen de operationele systemen van RWS.

De beleidsmodelschematisatie (benoxx/hrxxxx) en de eventueel afgeleide deelmodelschematisaties:

1. Beheer en onderhoud van het beheergebied, zijnde o.a. op diepte houden, bestortingen van vooroevers.
2. Effectbepaling van maatregelen, zijnde o.a. waterloopkundige aanpassingen in het gebied zoals bijvoorbeeld verruiming/verdieping van de rivieren, dijkverlegging, aanpassing strekdammen, natuurontwikkeling, etc.
3. Nieuwe aanleg projecten, zijnde o.a. natuurontwikkelingsprojecten, inpoldering, aanleg strekdammen en havens, etc.
4. Beleidsondersteuning en verkenning, zijnde o.a. doorrekenen van klimaatscenario's, bepalen golven en golfoploop voor toetsen en ontwerpen van dijken.

Geografische brongegevens

De onderliggende geografische gegevens voor de modelschematisaties van Rijkswaterstaat zijn verzameld in de bijbehorende Baseline-NL databases. Baseline is een speciale ArcGIS database voor hydrodynamische modelontwikkeling bij Rijkswaterstaat. Zie hiervoor de aparte factsheet van Baseline NL (Rijkswaterstaat & Deltares, 2021). Er zijn diverse data bronnen gebruikt om deze database te vullen en er is gewerkt conform de Diensts specificatie Invoer Baseline. De belangrijkste bron voor de boven water liggende gegevens is het Digitaal Topografisch Bestand (DTB)-NAT van RWS-CIV. Voor de onderwatergegevens wordt gebruik gemaakt van lodingen van de Meetdienst van RWS-CIV. De aanwezige vegetatie in het gebied wordt met de ecotopenkaart van RWS-CIV beschreven.

De geografische gegevens in Baseline worden via een automatische procedure geprojecteerd op het rekenrooster van de modelschematisatie. Dit betreft de bodemligging, obstakels, locaties van uitvoerpunten, en begrenzingen.

Rekenrooster

Beleidsmatige toepassing (BOI)

Het rekenrooster is rechthoekig met een ruimtelijke resolutie van 40 m. Het rooster is met 25° geroteerd ten opzichte van de startcoördinaten (117049, 489080 in RD coördinaten) en heeft 1152 x 1112 roosterzellen waarvan 476206 natte roosterpunten. Het rekenrooster wordt in de invoer van het golfmodel SWAN opgegeven.

Operationele toepassing

Dit rekenrooster is vergroft om de rekentijd te beperken – dit gaat ten koste van nauwkeurigheid. Het rekenrooster is rechthoekig met een ruimtelijke resolutie van 80 m. Het rooster is met 25° geroteerd ten opzichte van de startcoördinaten (117049, 489080 in RD coördinaten) en heeft 576 x 556 roosterzellen waarvan 119019 natte roosterpunten. Het rekenrooster wordt in de invoer van het golfmodel SWAN opgegeven.



Figuur 1 Rekenrooster Markermeermiddel (elke 5e roosterlijn van BOI-rooster is zichtbaar)

Schematisatie-elementen

Schematisatie-elementen zijn elementen die op een vaste positie in het gebied liggen en waarvan de ligging tijdens de berekeningen niet wijzigen. In de SWAN-schematisatie zijn de volgende schematisatie-elementen meegenomen:

Bodemhoogte

- De bodemhoogte is geprikt uit het bodemhoogtemodel van Baseline op de hoekpunten van de roosterzellen.

Obstakels

- In het model zijn meer dan 1500 (in het BOI-model meer dan 4000) obstakels aanwezig voor de schematisatie van steile gradienten in de bodem. Deze worden automatisch uit de Baseline-schematisatie afgeleid.

Landgebruik en bodemruwheid

- Voor de SWAN modelschematisatie wordt geen rekening gehouden met landgebruik.
- De bodemruwheid heeft een uniforme waarde voor de JONSWAP wrijvingscoëfficiënt van $C_f = 0.038 \text{ m}^2/\text{s}^3$.

Kunstwerken

Er zijn geen kunstwerken in het gebied zelf opgenomen in het model. Wel zijn er kunstwerken uitgelijnd met het rooster op de randen van het modelgebied (maar zonder sturingsmechanismen vanuit het model, zie ook "Geografische ligging").

Brugpijlers

Er zijn geen brugpijlers meegenomen in de SWAN-modelschematisatie.

Hoogwatervrije gebieden

- Hoogwatervrije gebieden worden in principe meegenomen in de bodemhoogte. Voor het BOI-model bleek het nodig om de flow blocking polygons van IJburg om te zetten naar kades met een hoogte van 999 m + NAP zodat deze gebieden geen golven doorlaten.

Modelgrenzen

- De gesloten modelranden worden gevormd door bandijken. Daar waar bandijken ontbreken wordt de modelgrens gevormd door hoge gronden.

Modelkarakteristieken

Open randen/ Golfrandvoorwaarden

Het model kent geen open randen dus er worden geen spectrale golfrandvoorwaarden gebruikt. De Oranjesluizen en de Nijkerkersluis zijn gesloten voor golfdoordringing.

Laterale lozingen en onttrekkingen

SWAN maakt geen gebruik van lozingen en onttrekkingen.

Meteo

- *Beleidsmatige toepassing:* Er wordt een ruimtelijk uniform windveld opgelegd in het model. SWAN interpreteert de opgelegde windsnelheid als U10 – de gebruiker dient eventueel een andere windinvoer om te rekenen naar U10.
- *Operationele toepassing:* Voor operationeel gebruik binnen RWsOS wordt gebruik gemaakt van ruimtelijke en tijds-afhankelijke windvelden in netcdf formaat, gebaseerd op KNMI's meteorologisch model HARMONIE maar aangepast naar pseudowind om rekening te houden met de andere winddrag formulering van SWAN (Wu met afkapping bij 30 m/s) dan van HARMONIE.

Waterstanden

- *Beleidsmatige toepassing:* Er wordt een uniform waterstandsveld opgelegd in het model.
- *Operationele toepassing:* Waterstanden zijn afkomstig uit het operationele waterbewegingsmodel (WAQUA of D-HYDRO).

Stroming

- De invloed van stroming wordt niet meegenomen in de modelschematisaties.

Zout en temperatuur

Niet van toepassing voor deze SWAN modelschematisaties.

Kunstwerken (sturing)

Niet van toepassing voor deze SWAN modelschematisaties

Overige fysica

- Er wordt rekening gehouden met golfvoortplanting, golfgroei, refractie, diepte-geïnduceerd breken, whitecapping, bodemwrijving en drie-golf en vier-golf wisselwerkingen (Deltares, 2021b).
 - o *Beleidsmatige toepassing:* stationair, 0.06 – 2.4 Hz, 5° bins, van der Westhuysen whitecapping en breken; winddrag volgens afgekapte Wu (> 30 m/s).
 - o *Operationele toepassing:* quasi-stationair, 0.08 – 2.0 Hz, 10° bins, van der Westhuysen whitecapping en breken; winddrag volgens afgekapte Wu (> 30 m/s).

Numerieke instellingen

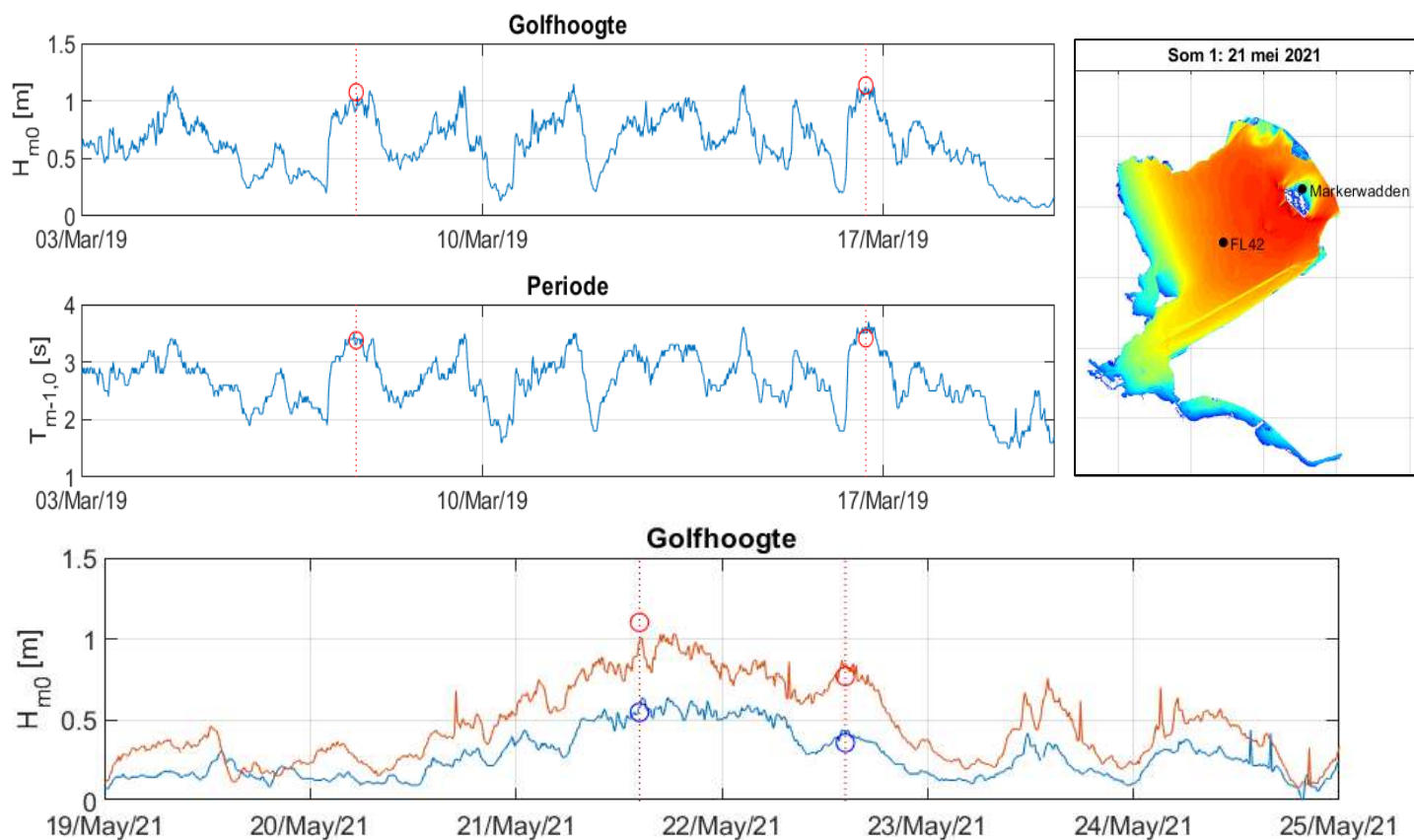
- Gebruik is gemaakt van de instellingen zoals vastgesteld in (Deltares, 2021b).

Kalibratie

Het model is niet gekalibreerd. Wel is aan de hand van diverse gevoeligheidsberekeningen de ruimtelijke resolutie (40 m x 40 m voor BOI; 80 m x 80 m voor RWsOS) geselecteerd.

Validatie en verificatie

Het model is – in beperkte mate - gevalideerd, aangezien er slechts op twee locaties (FL42 in het midden van het Markermeer en een locatie nabij de Markerwadden) voor een beperkte periode golfmetingen beschikbaar waren. Vier stormachtige momenten zijn gesimuleerd, twee in maart 2019 en twee in mei 2021.



Figuur 2 Validatieperiodes. Paneel 1 en 2 tonen metingen FL42 met modeluitkomsten als rode markers. In het onderste paneel is de blauwe lijn de meting bij Markerwadden meetpaal en de rode lijn de meting bij FL42. De markers geven de modeluitkomsten weer

Het ontbreken van gemeten spectra en golfrichtingen maakt het lastig om de fysica van het model nauwkeurig te verifiëren. Bovendien zijn de beschouwde condities met windsnelheden onder 20 m/s een stuk milder dan maatgevende condities die voor BOI relevant zijn. Voor de vier beschouwde momenten komen de golfparameters goed overeen met de metingen. Daarnaast suggereert de validatie van de twee locaties dat ook de ruimtelijk variatie goed wordt gemodelleerd.

Nauwkeurigheid en modelonzekerheid

Er is geen onderzoek uitgevoerd naar modelonzekerheden uitgevoerd. Wel is gekeken naar de effecten van een andere resolutie in ruimte (40 m, 80 m), richtingen en frequenties, van triads en van het aantal iteraties.

Modelgebruik

Wat mag er wel of niet worden gewijzigd in de modelschematisatie:

- **Gebiedsinformatie:** Aanpassing aan gebiedsinformatie in principe enkel en alleen aanpassen in de gebiedsschematisatie via Baseline m.b.v. maatregelen en dan een projectie naar invoer voor de modelschematisatie (Rijkswaterstaat, 2021b).
- **Rooster:** bij officieel gebruik van de modelschematisatie mogen geen veranderingen aan het rooster worden gedaan. Dit is wel toegestaan in het kader van onderzoeksvragen.

- *Randvoorwaarden*: deze kunnen (en moeten) worden aangepast naar de gewenste situatie (dit geldt o.a. voor waterstanden en meteo-informatie). *Randvoorwaarden afkomstig van derden* (o.a. KNMI, ECMWF) kunnen niet zondermeer worden uitgeleverd.
- *Uitvoerlocaties*: er kunnen indien gewenst uitvoerlocaties worden toegevoegd.
- *Numerieke instellingen*: bij officieel gebruik van de modelschematisatie mogen er geen veranderingen aan de numerieke instellingen worden gedaan. Dit is wel toegestaan in het kader van onderzoeksvragen.

Te verwachten rekentijden

De rekentijd van het model voor het doorrekenen van een stationaire golfberekening (=BOI conditie) met 1 node met 4 cores (dus 4 partities) op een Linux rekencluster (hardware Deltares h6-c7 met Intel quad-core Xeon E5-2667 v3 nodes, 3.2 GHz core) met OpenMP bedraagt ca. 100 minuten.

De rekentijd van het grovere model voor RWsOS, waarbij een voorspelperiode van 48 uur quasi-stationair is doorgerekend met een interval van 2 uur, variëren de rekentijden tussen de 35 en 45 minuten.

Koppelingen en relaties met andere modellen

- Baseline NL

Praktisch gebruik van het model

- De bodem en obstakels zijn gemaakt met Bas2SWAN versie 2.50 (RWsOS) en 2.51 (BOI).
- Er is gewerkt met Baseline 6.2.0 (2020) – versie 6.2.0.2247 – special met Bas2SWAN.
- SWAN software (versie 41.31A.1) betreft een special door Deltares gecompileerde Linux-versie, 64 bit, OpenMP

Beschikbare versies

Modelschematisatie	Jaar	Baseline	Software
swan-mm-j19_6-v2a_rwsos	2021	6.2.0 (WSP-versie 6.2.0.2247)	SWAN 41.31A.1 (Deltares-versie)
swan-mm-hr2023_6-v1a	2021	6.2.0 (WSP-versie 6.2.0.2247)	41.31A.1 (Deltares-versie)

De schematisaties zijn weergegeven op volgorde van actualiteit van de gebiedsbeschrijving.

- o De kolom '**modelschematisatie**' verwijst naar de naam van de modelschematisatie: Hieraan is te zien welke geometrie de schematisatie het beste representeert. De schematisatie van het jaar 20XX wordt het best gerepresenteerd door het jXX model. (zie ook Rijkswaterstaat, 2021a).
- o De kolom '**jaar**' verwijst naar het jaar waarin de modelschematisatie is opgeleverd.
- o De kolom '**software**' verwijst naar de versies waarmee de modelschematisatie is opgebouwd en getest.

Randvoorwaardensets

De volgende randvoorwaardensets zijn beschikbaar voor de zesde-generatie SWAN-modelschematisaties van het Markermeer.

Naam	Type	Beschrijving	Scenario's	Referentie
RWsOS	hist	Storm 3–19 maart 2021 Storm 19-25 mei 2021		(2021b)
Hoekpuntenanalyse t.b.v. BOI	hr2023	Set van 16 scenario's van windsnelheid, windrichting en waterstand:	U10D045Mm050, U10D045Mp300, U10D135Mp050, U10D135Mp300, U10D225Mm050, U10D225Mp300, U10D315Mp050, U10D315Mp300, U47D045Mm050, U47D045Mp300, U47D135Mp050, U47D135Mp300, U47D225Mm050, U47D225Mp300, U47D315Mp050, U47D315Mp300,	(2021b)

Release notes

Hieronder wordt chronologisch weergegeven welke veranderingen er zijn doorgevoerd tussen de verschillende beschikbare modelschematisaties.

hr2023-v1a (t.b.v. BOI)

De gebiedsschematisatie is gebaseerd op baseline-swan-markermeer-hr2023_6-v1, die is afgeleid van baseline-nl_land-beno19_6-v1 met daarin gemixt de maatregelen mm_BOIpunten_a1 en mm_hgwtrvrij_swan_a1. Er is een clip gemaakt van baseline-markermeer-hr2023_6-v1 met model_bound_MM_zonder_Eem (dus Markermeer, Gooimeer en Eemmeer, zonder de Eem en de Eemvallei), met als resultaat: baseline_swan-markermeer-hr2023_6-v1. Er is voor baseline_swan-markermeer-hr2023_6-v1 een nieuwe modelbegrenzing gekozen, op basis van de "land_use_polygon", in combinatie met de oorspronkelijke model boundary van het Markermeer. Dit is nu als 'workaround' op deze manier toegepast. Het is de bedoeling dat de nieuwe modelboundary als 'model_boundary_markermeer_swan_act_v1' wordt opgenomen in Baseline. IJburg bleek vooral via flow blocking polygons in Baseline te zijn geschematiseerd en om ervoor te zorgen dat dit in de SWAN schematisatie wordt opgenomen zijn de flow blocking polygons omgezet naar kades met een hoogte van 999 m+NAP. Vervolgens is met Bas2SWAN hiervan een projectie gedaan resulterend in het bodembestand swan-mm-hr2023_6-v1.bot en de obstakelfile swan-mm-hr2023_6-v1.fwx. De uitvoerlocaties komen uit een bas2fm projectie op baseline-markermeer-hr2023_6-v1 (omdat een bas2swan projectie nog geen uitvoerlocaties levert). De SWAN-instellingen voor BOI zijn gebaseerd op Deltares, 2021a.

j19_6-v2a_rwsos

De gebiedsschematisatie is gebaseerd op baseline-markermeer-j19_6-v2, die is afgeleid van baseline-nl_land-j19_6-v2. Deze baseline-nl_land-j19_6-v2 bevat zo goed mogelijk de actuele geometrie van 2019. Eerst is een clipcontour gemaakt voor het Markermeer en Gooi- en Eemmeer, dus zonder de Eemvallei (baseline_swan-markermeer-j19_6-v2). Vervolgens is met Bas2SWAN hiervan een projectie gedaan resulterend in het bodembestand markermeer-j19_6-v2a_rwsos.bot en de obstakelfile markermeer-j19_6-v2a_rwsos.fwx. De uitvoerlocaties zijn overgenomen uit de modelschematisatie swan-markermeer-hr2023_6-v1a. Van de HR2023 uitvoerlocaties zijn alleen de punten op meetlocaties en de officiële BOI uitvoerlocaties overgenomen. Bij in gebruik name van het model in de operationele omgeving raden wij aan om een selectie te maken uit de BOI uitvoerlocaties.

De belangrijkste verschillen ten opzichte van het RWsOS model dat tot 2022 in gebruik was:

- Eén rekenrooster, terwijl voorheen bij RWsOS twee aparte roosters voor Markermeer en Gooi/Eemmeer werden gebruikt waarbij nesting werd toegepast. Een hogere resolutie op het Markermeer (80 i.p.v. 160 m) en een lagere resolutie voor het Gooi- en Eemmeer (80 i.p.v. 50 m).
- Baseline-markermeer-j19_6-v2 i.p.v. bodemgegevens uit 2015
- Een tijdstap van 2 uur in plaats van 1 uur.
- SWAN-versie 41.31.A, terwijl voorheen voor RWsOS 41.10.2 gebruikt werd.
- Convergentie: Curvature criterium (i.p.v. 'ACCUR' max 50 bij RWS en max 20 bij Deltares)
- Ander frequentiebereik op Markermeer (0.08-2Hz met 29 bins ipv 0.04-1.3 Hz) bij Gooi- en Eemmeer werd al 0.08-2.0 Hz gehanteerd.
- Afgeslachte Wu als winddrag in plaats van de Zijlema fit (via pseudowind in de huidige RWsOS SWAN-modellen op het Markermeer en Gooi- en Eemmeer)
- Iets andere triadinstellingen: trfac=0.1 en cutfr=2.5 (in plaats van cutfr=2.0)
- Voorheen werd in het RWsOS-model in veel gevallen SWAN met 2e generatie-instellingen gedraaid zodat andere instellingen gebruikt worden. Het is de bedoeling om nu zo veel mogelijk 3e generatie instellingen te gebruiken.

De belangrijkste verschillen ten opzichte van het BOI-model zijn:

- verdubbeling van de roosterafstand in x en y richting (van 40 m naar 80 m) en
- verdubbeling van de richtingsbingrootte van 5° naar 10°
- tijdsafhankelijk rekenen voor een periode van 48 uur met een tijdstap van 2 uur
- minder strikte convergentiecriteria.
- kleiner frequentiebereik (0.08-2Hz ipv 0.06-2.4 Hz)

Referenties (alfabetisch)

Deltares (2021a). *Instellingen voor SWAN modellen meren en benedenrivieren*, Deltares report 11206818-025-GEO-0001, 29 March 2021.

Deltares (2021b). *SWAN modelschematisatie Markermeer t.b.v. BOI en RWsOS*, Deltares rapport 11206813-013-ZWS-0001, 5 november 2021, M. de Ridder en C. Gautier

Rijkswaterstaat & Deltares (2021). *Factsheet Baseline-NL v2021-v1*.



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Deltares

DISCLAIMER:

Bij gebruik van de modelschematisatie met de meest recente software-releases, kunnen de resultaten enigszins afwijken van hetgeen is vastgelegd in de rapportage van de betreffende modelschematisatie. Overige verschillen kunnen veroorzaakt worden door het gebruik van andere hardware.

Hoewel de informatie in dit document met de nodige zorgvuldigheid is samengesteld, aanvaarden RWS en Deltares geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onnauwkeurigheden in deze informatie en ten gevolge van het gebruik van deze informatie.

Deltares en RWS behouden zich het recht voor om de inhoud van dit document te allen tijde zonder nadere aankondiging te wijzigen.