

# SWAN Veluwerandmeren



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 de Veluwerandmeren. Deze modelschematisaties zijn onderdeel van de zesde generatie modellen.

### Geografische ligging

Beide typen modelschematisaties van de Veluwerandmeren lopen vanaf de noordoostkant van Nijkerkersluis in het zuiden tot aan de Reevedam in het noorden. Het gebied omvat het Nuldernauw, het Wolderwijd, het Veluwemeer en het Drontermeer. Het gebied wordt weergegeven in het Rijks-Driehoeks coördinatenstelsel en het verticale referentievlak is ten opzichte van 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 golfloop 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 (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 golfloop.
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 golfloop 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 Dienstsamenwerking 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*

Het rekenrooster is rechthoekig met een ruimtelijke resolutie van 20 m. Bij deze resolutie worden de smalle doorgangen bij Harderwijk en Elburg met minimaal vier rekencellen gemodelleerd. Het rooster is met 310°

geroteerd ten opzichte van de startcoördinaten (156940, 478640 in RD coördinaten) en heeft 394 x 1984 roostercellen waarvan 214278 natte roosterpunten. Het rekenrooster wordt in de invoer van het golfmodel SWAN opgegeven.

#### *Operationele toepassing*

Dit rekenrooster is vergroft om de rekestijd te beperken – dit gaat ten koste van nauwkeurigheid. Het rekenrooster is rechthoekig met een ruimtelijke resolutie van 40 m. Het rooster is met 310° geroteerd ten opzichte van de startcoördinaten (156940, 478640 in RD coördinaten) en heeft 197 x 992 roostercellen waarvan 53422 natte roosterpunten. Het rekenrooster wordt in de invoer van het golfmodel SWAN opgegeven.



*Figuur 1 Rekenrooster Veluwerandmeren*

#### **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 roostercellen.

##### Obstakels

- In het model zijn vele tienduizenden 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 meegenomen in de bodemhoogte.

##### Modelgrenzen

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



## Modelkarakteristieken

### Open randen/ Golfrandvoorwaarden

Er worden geen spectrale randen aan de open randen van het model opgelegd. De Nijkerkersluis en de Reevedam 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).
- *Beleidsmatige toepassing:* stationair, 0.06 – 2.4 Hz, 5° bins, van der Westhuysen whitecapping en breken; winddrag volgens afgekapte Wu (> 30 m/s).
- *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).

## Validatie en verificatie

### Golven - methodiek

Het model is niet gekalibreerd of gevalideerd, aangezien er geen golfmetingen in het gebied aanwezig zijn.

Wel zijn er, in het kader van een hoekpuntenanalyse ten behoeve van BOI2023, proefberekeningen uitgevoerd voor twaalf combinaties van hoge en lage windsnelheden en hoge en lage waterstanden (-1 m+NAP en 3.5 m+NAP en windsnelheden van 16 en 42 m/s bij windrichtingen 202.5, 360 en 45°N). Met deze hoekpuntenanalyse is gecontroleerd of het model voldoet voor de uitersten van de basisstochastwaarden (en resulterende waterstanden), die in de productiesommen van BOI2023 naar verwachting gemodelleerd zullen worden. De resultaten van de hoekpuntenanalyse zijn zoals verwacht, er zijn geen ernstige onvolkomenheden aan het licht gekomen. Wel is gebleken dat voor een extreme windsnelheid (42 m/s) en een zeer lage waterstand (-1 m+NAP), SWAN op locaties aan het begin van de strijklengte minder goed convergeert.

Ook zijn er ten behoeve van gebruik binnen RWsOS voor de stormachtige periode 21-23 mei 2021 ruimtelijke velden van golfhoogte en golfperiode op verschillende tijdstippen geanalyseerd, waarbij ook een aantal

verschillende windforceringen (Deltares, 2021b) zijn opgelegd. Hierbij is geconstateerd dat de windsnelheid invloed heeft op de rekentijden.

### Nauwkeurigheid en modelonzekerheid

Er is geen onderzoek uitgevoerd naar modelonzekerheden uitgevoerd. Wel is gekeken naar de effecten van een andere resolutie in tijd, ruimte (20 m, 40 m, 80 m), richtingen en frequenties, van triads en van het aantal iteraties. Qua ruimtelijke resolutie is 20 meter een redelijke keuze omdat daarmee zowel in de doorgangen als bij de ondieptes langs de waterkering voldoende resolutie is gewaarborgd. Vanwege rekentijd wordt voor de operationele toepassing een ruimtelijke resolutie van 40 m gebruikt.

### 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. 55 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 24 en 40 minuten.

#### Koppelingen en relaties met andere modellen

- Baseline NL (via clipcontouren wordt de deelschematisatie van Veluwerandmeren hieruit aangemaakt).

#### Praktisch gebruik van het model

- De bodem en obstakels zijn gemaakt met Bas2SWAN versie 2.50.
- 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 | Software                         |                               |
|-------------------------|------|----------------------------------|-------------------------------|
|                         |      | Baseline                         | SWAN                          |
| swan-vm-j19_6-v2a_rwsos | 2021 | 6.2.0<br>(WSP-versie 6.2.0.2247) | 41.31A.1<br>(Deltares-versie) |
| swan-vm-hr2023_6-v1a    | 2021 | 6.2.0<br>(WSP-versie 6.2.0.2247) | 41.31A.1<br>(Deltares-versie) |

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

- 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).
- De kolom '**jaar**' verwijst naar het jaar waarin de modelschematisatie is opgeleverd.
- 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 Veluwerandmeren.

| Naam                         | Type   | Beschrijving  | Scenario's   | Referentie |
|------------------------------|--------|---|--|------------|
| RWsOS                        | hist   | Storm 21-23 mei 2021  |  | (2021b)    |
| Hoekpuntenanalyse t.b.v. BOI | hr2023 | Set van 12 scenario's van windsnelheid, windrichting en waterstand: | U16D045Lm100, U16D045Lp350, U16D203Lm100, U16D203Lp350, U16D360Lm100, U16D360Lp350, U42D045Lm100, U42D045Lp350, U42D203Lm100, U42D203Lp350, U42D360Lm100, U42D360Lp350 | (2021b)    |

### Release notes

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

#### j19\_6-v2a\_rwsos

De j19\_6 schematisatie is gebaseerd op baseline-vm-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. Het rooster heeft een resolutie van 40 meter in plaats van 20 meter vanwege toepasbaarheid en rekentijd in de operationele omgeving. Er is gekozen voor een richtingsresolutie van 10° (36 bins) in plaats van 5° (72 bins) voor BOI, en voor een frequentierange van 0.08 – 2.0 Hz in plaats van 0.06 – 2.4 Hz voor BOI. Verder wordt er gebruik gemaakt van de SWAN-instellingen voor RWsOS.

#### hr2023-v1a

De gebiedsschematisatie is gebaseerd op baseline-vm-hr2023\_6-v1, die is afgeleid van baseline-nl\_land-j19\_6-v2 met daarin gemixt de maatregel met BOI-uitvoerlocaties (vm\_BOIpunten\_a1). De baseline-nl\_land-j19\_6-v2 bevat zo goed mogelijk de actuele geometrie van 2019. Eerst is een clipcontour gemaakt voor de Veluwerandmeren tot de Reevesluis, met als resultaat: baseline-swan-vm-hr2023\_6-v1. Vervolgens is met Bas2SWAN hiervan een projectie gedaan resulterend in het bodembestand swan-vm-hr2023\_6-v1.bot en de obstakelfile swan-vm-hr2023\_6-v1.fxw. De uitvoerlocaties komen ook uit baseline-vm-hr2023\_6-v1. Het rooster heeft een resolutie van 20 meter, toepasbaar voor uitvoer langs de dijk. Verder wordt er gebruik gemaakt van de SWAN-instellingen voor BOI (Deltares, 2021a).

### Referenties (alfabetisch)

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

Deltares (2021b). *SWAN-model Veluwerandmeren*, Deltares report 11206813-014-ZWS-0002, 15 juli 2021, Gautier, C., van Nieuwkoop, J.

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





## 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.