

# SWAN Grevelingen



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 het SWAN golfmodel van de Grevelingen. Deze modelschematisatie is onderdeel van de zesde generatie modellen.

### Geografische ligging

Het Grevelingenmeer, ook wel de Grevelingen genoemd, is een voormalige zeearm van de Noordzee in de Zuidwestelijke Delta. Het meer ligt tussen de eilanden Goeree-Overflakkee en Schouwen-Duiveland, op de grens van Zuid-Holland en Zeeland. Aan de westkant is het meer afgesloten van de Noordzee door de Brouwersdam, aan de oostkant van de Oosterschelde en het Volkerak-Zoommeer door de Grevelingendam.

### Toepassingen

De SWAN modelschematisatie is ontwikkeld voor onderstaande toepassing:

1. Voor de berekening van golven in het beoordelings- en ontwerpinstrumentarium – BOI2023

Deze SWAN-modelschematisatie is 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)
4. Operationele voorspellingen om bij zwaar weer en/of hoog water verwachtingen van golfloop af te kunnen geven.

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

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 Dienstspecificatie Invoer Baseline. De belangrijkste bron voor de boven water liggende gegevens is het Digitaal Topografisch Bestand (DTB) 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

De rand van de Grevelingen modelschematisatie is bepaald door de Brouwersdam, dijktraject 25-4, de Grevelingendam en dijktraject 26-4. Het gebied omvat het gehele Grevelingenmeer. Het rekenrooster is rechthoekig met een ruimtelijke resolutie van 20 m. Het rooster is met 25 graden met de klok mee geroteerd ten opzichte van de start coördinaten (46200, 417800 in RD coördinaten) en heeft 1240 x 620 roostercellen waarvan 262966 en 348413 natte roosterpunten voor -0.5 m+NAP en 2.0 m+NAP respectievelijk. Het rekenrooster wordt in de invoer van het golfmodel SWAN opgegeven. Het rekenrooster wordt weergegeven in het Rijks-Driehoeks coördinatenstelsel en het verticale referentievlak is het Normaal Amsterdams Peil (NAP).



Figuur 1 Rekenrooster Grevelingen

### 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

Obstakels zijn elementen in de SWAN-schematisatie waarmee golftransmissie (en eventueel reflectie) kan worden uitgerekend voor elementen die te klein zijn om in de bodem te schematiseren, zoals kades en kribben.

In het model zijn orde 4500 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. Er zijn geen sturingsmechanismen voor kunstwerken aanwezig.

#### Brugpijlers

Er zijn geen brugpijlers meegenomen in de SWAN-modelschematisatie.

#### Hoogwatervrije gebieden

Deze modelschematisatie bevat geen hoogwatervrije gebieden. Enkel met een relatief hoge waterstand van meer dan 2m + NAP, zal vrijwel het hele gebied binnen de modelrand bestaan uit natte punten.

#### 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 golfrandvoorwaarden op gegeven omdat het model geen open randen heeft.

### 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 en omdat de berekeningen stationair zijn is er geen variatie in tijd. SWAN interpreteert de opgelegde windsnelheid als U10 – de gebruiker dient eventueel een andere windinvoer om te rekenen naar U10. Voor de winddrag wordt een  $C_d=2,75 \cdot 10^{-3}$  en windsnelheid U10=30 m/s afgekapte Wu-formulering toegepast (Deltares, 2021b).

### Waterstanden

*Beleidsmatige toepassing:* Er wordt een uniform waterstandsveld opgelegd in het model.

### Stroming

De invloed van stroming wordt niet meegenomen in de modelschematisaties.

### Zout en temperatuur

Niet van toepassing voor deze SWAN modelschematisatie.

### Kunstwerken (sturing)

Niet van toepassing voor deze SWAN modelschematisatie

### Overige fysica

- Er wordt rekening gehouden met golfvoortplanting, golfgroei, refractie, diepte-geïnduceerd breken, whitecapping, bodemwrijving en drie-golf en vier-golf wisselwerkingen (Deltares, 2021b).
- De berekeningen zijn stationair, het frequentiebereik is 0.06 – 2.4 Hz, de richtingsresolutie 5°, en belangrijke instellingen zijn Van der Westhuysen whitecapping en breken; winddrag volgens afgekapte Wu-formulering (> 30 m/s).

### Numerieke instellingen

- Gebruik is gemaakt van de instellingen zoals vastgesteld in (Deltares, 2021b). Er worden 100 iteraties geforceerd uitgevoerd, dat is 20 meer dan bij de andere BOI-merenmodellen en de SWAN-instellingen zoals gebruikt in WBI2017.

### **Kalibratie**

Het model is niet gekalibreerd. Wel is aan de hand van diverse gevoeligheidsberekeningen de ruimtelijke resolutie (20 m x 20 m) en de richtingsresolutie (5°) geselecteerd.

### **Validatie en verificatie**

Het model is niet gekalibreerd of gevalideerd, aangezien er geen golfmetingen voor dit gebied aanwezig zijn. Wel zijn er, in het kader van een hoekpuntenanalyse ten behoeve van toepassing voor BOI2023, proefberekeningen uitgevoerd voor zestien combinaties van hoge en lage windsnelheden en hoge en lage waterstanden (-0.5 m+NAP en 2.0 m+NAP en windsnelheden van 10 en 37 m/s bij windrichtingen 67.5, 180, 270 en 337.5°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 korte strijklengtes (< 4 km) de golfhoogte berekend met SWAN groter is dan volgens bekende theorie (Kahma en Calkoen, 1992). Bij grotere strijklengtes – die waarschijnlijk maatgevend zijn – zijn de verschillen minder dan 10%.

### **Nauwkeurigheid en modelonzekerheid**

Er is geen onderzoek uitgevoerd naar modelonzekerheden. Wel is gekeken naar de effecten van een andere resolutie in ruimte (20 m, 40 m, 80 m) en richtingen en van het aantal iteraties. Qua ruimtelijke resolutie is 20 meter een redelijke keuze omdat voor een aantal locaties de verschillen meer dan 10 centimeters en tot enkele secondes bedragen in vergelijking met het grovere 40 m rooster. Bij toepassing wordt geadviseerd om vooraf de convergentie van de berekening te controleren in de interessegebieden en uitvoerlocaties. Niet alle berekeningen waren volledig geconvergeerd na 100 iteraties, maar verdere verandering in golfparameters in de laatste iteraties is heel beperkt.

## 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 reketijden

De reketijd van het model voor het doorrekenen van een stationaire golfberekening (=BOI2023 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. 90 minuten voor lage waterstanden en orde 130 minuten voor hoge waterstanden.

### Koppelingen en relaties met andere modellen

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

### Praktisch gebruik van het model

- De bodem en obstakels zijn gemaakt met Bas2SWAN versie 2.51.
- 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 door Deltares voor Rijkswaterstaat gecompileerde Linux-versie, 64 bit, OpenMP

## Beschikbare versies

Modelschematisatie	Jaar	Software	
		Baseline	SWAN
swan-grevelingen-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.

- 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.
- 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-modelschematisatie van de Grevelingen.

Naam	Type	Beschrijving	Scenario's	Referentie
Hoekpuntenanalyse t.b.v. BOI	hr2023	Set van 16 scenario's van windsnelheid, windrichting en waterstand:	U10D068Lm050, U10D068Lp200, U10D180Lm050, U10D180Lp200, U10D270Lm050, U10D270Lp200, U10D338Lm050, U10D338Lp200, U37D068Lm050, U37D068Lp200, U37D180Lm050, U37D180Lp200, U37D270Lm050, U37D270Lp200, U37D338Lm050, U37D338Lp200	(2021b)

## Release notes

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

**hr2023-v1a**

De gebiedsschematisatie is gebaseerd op baseline-grevelingen-hr2023\_6-v1, die is afgeleid door middel van een clipcontour van baseline-nl\_land-j19\_6-v2 met daarin gemixt de maatregel met BOI2023-uitvoerlocaties (gr\_BOIpunten\_a1). De baseline-nl\_land-j19\_6-v2 bevat zo goed mogelijk de actuele geometrie van 2019. Vervolgens is met Bas2SWAN hiervan een projectie gedaan resulterend in het dieptebestand grev-hr2023\_6-v1a.dep en de obstakelfile swan-grevelingen-hr2023\_6-v1. Het bodembestand swan-grevelingen-hr2023\_6-v1.bot is gemaakt door het via BAS2FM verkregen dieptebestand naar het SWAN rooster te interpoleren met MATLAB. De uitvoerlocaties komen uit de Baseline maatregel zoals deze in opdracht van BOI gemaakt zijn. 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 Grevelingen, Deltares report 11206814-006-ZKS-0003, 7 oktober 2021, Doeleman, M.W., van Nieuwkoop, J.*

*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.