

D-Flow FM 3D Veluwerandmeren



Modelschematisaties zijn numeriek wiskundige modellen van het watersysteem. Voor de uitvoering van haar kerntaken rondom de Nederlandse hoofdwatersystemen gebruikt en ontwikkelt Rijkswaterstaat modelschematisaties.

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 modelschematisaties van deze watersystemen sluiten naadloos op elkaar aan. Daarmee wordt het mogelijk om op termijn één model voor het gehele hoofdwatersysteem te ontwikkelen.

De modelschematisaties zijn gebaseerd op de D-HYDRO Suite software, waarmee Rijkswaterstaat haar modellen op de laatste stand van de techniek baseert.

Contactgegevens:

Voor vragen n.a.v. deze publicatie kunt u terecht bij het Informatiepunt Leefomgeving: 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 3D (driedimensionaal) hydrodynamische model van de Veluwerandmeren binnen de D-HYDRO Suite¹. Deze modelschematisatie is onderdeel van de zesde generatie modellen.

¹ Op basis van de software module D-Flow FM 3D. Deze module heeft nog de beta status en daarmee heeft de modelschematisatie ook de beta status. Enige voorzichtigheid met de beoordeling van de resultaten is geboden.

Geografische ligging

De modelschematisatie van de Veluwerandmeren loopt vanaf de noordoostkant van Nijkerkersluis tot aan zuidwestkant van Roggebotsluis. Het omvat het Nuldernauw, het Wolderwijd, het Veluwemeer en het Drontermeer.

Het model grenst aan (en sluit daar ook naadloos aan op) de volgende andere zesde generatie modellen:

- het D-HYDRO model van het Markermeer bij Nijkerkersluis en
- de D-HYDRO modellen van het IJsselmeer, IJssel Vecht Delta en Rijntakken bij de Roggebotsluis (oude situatie) en de Reevesluis (nieuwe situatie).

Het gebied wordt weergegeven in het Rijks-Driehoeks coördinatenstelsel en het verticale referentievlak is ten opzichte van Normaal Amsterdams Peil (NAP).

Toepassingen

De 3D D-HYDRO modelschematisatie van de Veluwerandmeren is ontwikkeld voor onderstaande toepassingen:

1. Waterloopkundige aanpassingen in het beheergebied
2. Simulatie van waterbeweging en stroming onder verschillende hydrologische omstandigheden

De 3D 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 slib studies
2. Scheepvaartbegeleiding-doeleinden
3. Inundatieberekeningen
4. Operationeel waterbeheer van sluisen en stuwen (sturing van sluisen/stuwen op basis van waterstanden / stroming)
5. Berekening van waterverdelingsstudies
6. Gedetailleerde stofverspreidingsstudies waaronder temperatuur en zout/chloride

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

1. Watermanagement, waaronder de werkzaamheden vanuit WaterManagement Centrum Nederland ten aanzien van waterberichtgeving over waterstanden, overstromingsdreiging (niet vrijgegeven voor berekening van stoftransport, olieverspreiding, oppervlaktestroming), met inachtneming dat de resultaten van het model sterk afhankelijk zijn van een juiste representatie van de wind.
2. Operationele toepassingen, zijnde het gebruik binnen de operationele systemen van RWS.
3. Beleidsondersteuning en verkenning, waaronder het bepalen van waterstanden voor het toetsen en het ontwerpen van dijken.
4. Effectbepaling van maatregelen, bijvoorbeeld waterloopkundige aanpassingen in het gebied zoals bijvoorbeeld verruiming/verdieping, dijkverlegging, aanpassing strekdammen.
5. Nieuwe aanleg projecten, zoals natuurontwikkelingsprojecten, inpoldering, aanleg strekdammen en havens, etc.

Specifiek voor toepassingen met slib en waterkwaliteit zal dit model in driedimensionale mode verder uitgebreid en gevalideerd moeten worden met stoftransport en golven. Daartoe zal het voorspellend vermogen van het model voor transportverschijnselen op de Veluwerandmeren verder nagegaan moeten worden, hierbij kan remote sensing van toegevoegde waarde zijn voor het beoordelen van verspreidingspatronen.

Voor toepassingen in diepere putten en/of vaargeulen zal het model in driedimensionale mode specifiek verder aangepast/verbeterd moeten worden (afhankelijk van processen die daarvoor van belang zijn zoals microstratificatie en dichtheidsstromingen).

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. 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)-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 (zie ook links in Figuur 1), locaties van uitvoerpunten, lateralen, kunstwerken en debietraaien, lijnelementen, ecotopenkartering en begrenzingen.

Rekenrooster

Voor de roostergeneratie is voor het grootste gedeelte gebruik gemaakt van driehoekige rekencellen met een resolutie van 50 m. Dit is gedaan voor de modelleerflexibiliteit, ondermeer door het volgen met het rekenrooster van de onregelmatige kustlijn (een zogenaamd boundary fitted rekenrooster). Nabij kunstwerken is getracht het driehoekige rooster uit te lijnen met de kades.

Om de lokale geometrie en vernauwingen te kunnen volgen is op de volgende plekken het rekenrooster verfijnd (zie ook onder in Figuur 1):

- kunstwerk (spuisluis) bij Nijkerkersluis (verfijnd tot zo'n 25 m resolutie),
- doorgang onder de Harderbrug bij Harderwijk (verfijnd tot zo'n 15 m resolutie),
- Aquaduct Veluwemeer bij Harderwijk (verfijnd tot zo'n 4 m resolutie) en
- vernauwing van water tussen Veluwemeer en Drontermeer bij Elburg (verfijnd tot zo'n 15 m resolutie).

In het noorden van het modelgebied is het roostergedeelte met driehoekige rekencellen uitgelijnd op de contouren aan de zuidkant van de nieuwe Reevedam. Vanaf de Reevedam sluit dit aan op een roostergedeelte met curvilineaire rekencellen. Dit roostergedeelte ten noorden van de Reevedam is een overlapgebied / wordt gedeeld met de D-HYDRO-modellen van IJsselmeer/IJssel-Vechtdelta en Rijntakken. (Voor het aansluiten van de driehoekige rekencellen op de curvilineaire rekencellen bij de Reevedam is verfijnd tot zo'n 15 m resolutie.)

De modelschematisatie is een 3D weergave van het systeem en beschrijft de processen diepte-afhankelijk. In verticale richting wordt het rekenrooster beschreven door 10 sigma-lagen.

Het horizontale rekenrooster bestaat in totaal uit 91291 elementen (rekencellen) en 47506 nodes (hoekpunten).

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 D-HYDRO-schematisatie zijn de volgende schematisatie-elementen meegenomen:

Bodemhoogte (zie ook bovenste paneel in Figuur 1)

De bodemhoogte is geprikt uit het bodemhoogtemodel van Baseline op de hoekpunten van de roosterzellen. De hoogte op de flow links (gebruikt voor doorstroomoppervlak) is het gemiddelde van de aangrenzende hoekpunten. De hoogte op de waterstandspunten (gebruikt voor de volume berekening) is het minimum van de aangrenzende flow links.

Overlaten

In het model zijn vele overlaten aanwezig voor de schematisatie van steile gradienten in de bodem. Deze worden automatisch uit de Baseline-schematisatie afgeleid.

Landgebruik en bodemruwheid

- De aanwezige vegetatie in het gebied wordt met de ecotopenkaarten van RWS-CIV beschreven. Deze zijn opgenomen in de Baseline-schematisatie.
- Voor de ruwheid van het Nuldernauw, Wolderwijd, Veluwemeer en Drontermeer wordt een Manning ruwheid met een constante waarde van $0.0263 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ gebruikt. Dit is een standaard waarde die aan meren wordt toegekend, deze komt ook overeen met de ruwheid die in het Onafhankelijk Onderzoek Markermeer (Waterloopkundig Laboratorium 1997) is gebruikt. In het roughcombination bestand zijn hiervoor de volgende gebied specifieke ruwheidscodes gebruikt voor Veluwerandmeren: 2600 t/m 2603 (allen met de eerder genoemde Manningwaarde $0.0263 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$).

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

Brugpijlers worden in de modelschematisatie weergegeven door een lokaal verhoogde weerstand en zijn overgenomen uit de Baseline-database. De volgende bruggen worden daarin meegenomen: Hoogspanningsmasten bij Harderwijk, Brug Knardijk en de Elburgerbrug. De Stichtse brug ligt op de rand van het model en is daarom niet meegenomen.

Hoogwatervrije gebieden

Het model bevat geen hoogwatervrije gebieden.

Modelgrenzen

De gesloten modelranden worden gevormd door bandijken.

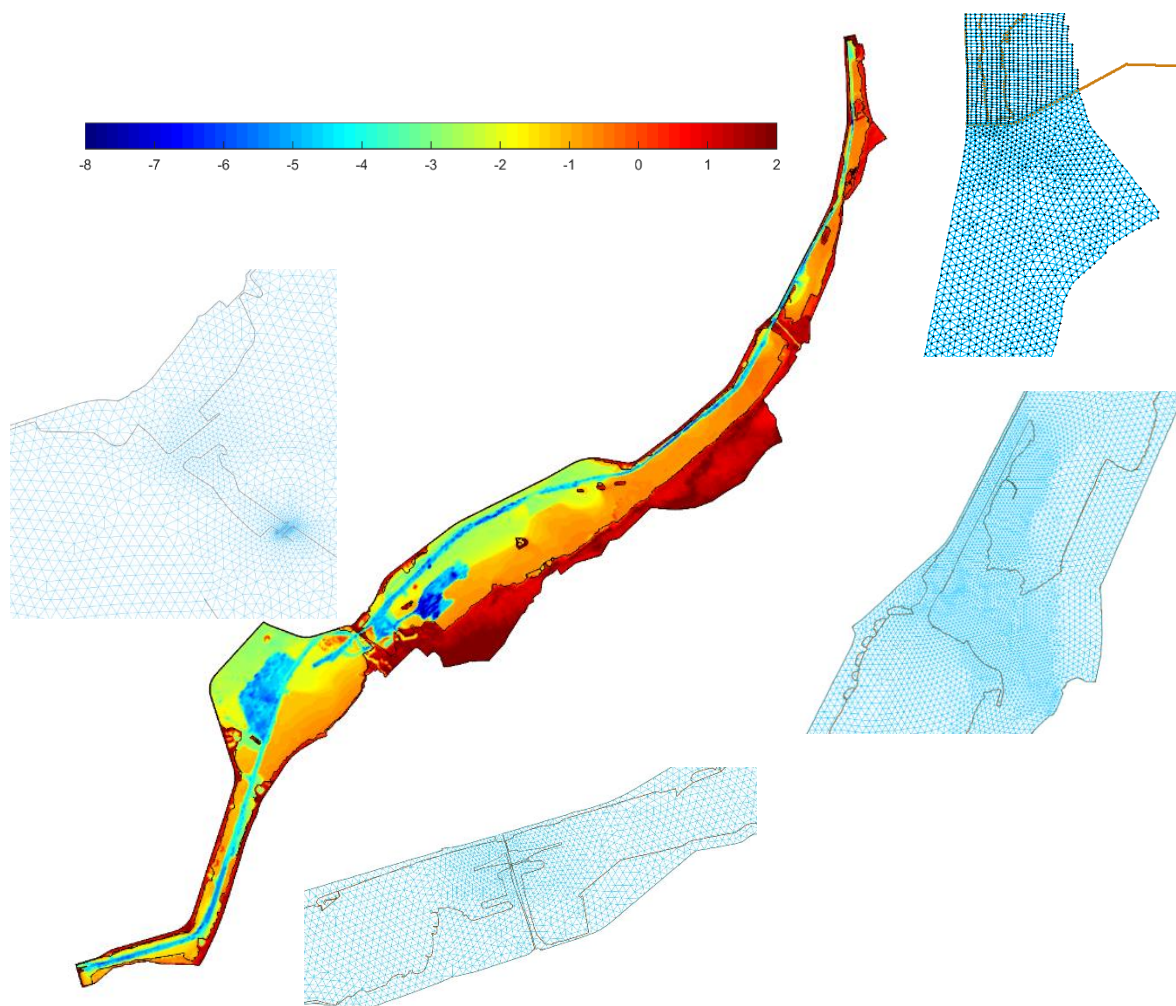
Modelkarakteristieken

Open randen

Het model bevat geen open randen.

Laterale lozingen en onttrekkingen

Op een aantal locaties wordt via gemalen en spuisluizen water onttrokken of toegevoegd aan het watersysteem. Deze zijn niet fysiek geschematiseerd, maar zijn met behulp van onttrekkingen of zijdelingse toestromingen in het model opgenomen.



Figuur 1 Bodemhoogte in m +NAP van modelversie dflowfm2d-veluwerandmeren-j19_6-v1a (midden) en enkele details van het rekenrooster bij Nijker sluis (onder), brug en aquaduct bij Harderwijk (midden, links), Elburg (midden, rechts) en Reeves sluis en Reevesdam (rechtboven).

Randvoorwaarden

De uitwisseling met de omliggende wateren wordt gemodelleerd middels onttrekkingen- en lozingen op basis van tijdseries van debieten. Deze zijn deels afkomstig zijn van beheerders (gemalen en beken van waterschappen en spuidebieten van RWS CIV) en voor zover niet compleet aangevuld met data uit de applicatie BALANS.

Meteo

Voor de de windforcering (richting en snelheid) is windinvoer gebruikt op basis van uniforme tijdreeksen van KNMI meetstation Lelystad (uniform over het hele oppervlak).

Zout en temperatuur

Niet van toepassing.

Kunstwerken (sturing)

Niet van toepassing.

Overige fysica

Niet van toepassing.

Numerieke instellingen

Er is afgeweken van de generieke instellingen (Minns ea. 2021) voor de zesde-generatie modelschematisaties. De belangrijkste afwijking is voor de beschrijving van de wind op het grensvlak tussen atmosfeer en wateroppervlak. Hiervoor wordt een trapjeslijnformulering (Bak & Vlag 1997) gehanteerd die is gedefinieerd door $C_{dbreakpoints} = [0.00136673, 0.0039]$ en $Windspeedbreakpoints = [7.77886 \text{ m/s}, 50 \text{ m/s}]$ (afwijkend van generieke instellingen maar wel zelfde als voorheen gebruikt voor WAQUA model voor Veluwerandmeren).

Tevens worden de volgende twee parameterinstellingen gebruikt voor de wind: $Windhuorzwsbased = 0$ en $Windpartialdry = 0$. De parameter windhuorzwsbased is een direct gevolg van de verschillende analyses die zijn uitgevoerd waarna een aantal verbeteringen zijn doorgevoerd in zowel de D-HYDRO software als de D-HYDRO modelschematisatie van de Veluwerandmeren (zie ook (Genseberger ea. 2019) en (Genseberger 2020)).

Validatie en verificatie

Waterstanden - methodiek

Het model is in 3D gevalideerd en geverifieerd op waterstanden. Hierbij is een vergelijking gemaakt met gemeten waterstanden. De validatie is uitgevoerd op drie verschillende stormperiodes (januari 2007, december 2011 en december 2013) die zoveel mogelijk uit verschillende windrichtingen komen en een verschillend stormverloop hebben. Vanwege de dominante invloed van de wind in dit gebied, moet er in acht genomen worden dat de resultaten van het model sterk afhankelijk zijn van een juiste representatie van de wind in ruimte en tijd.

Waterstanden – resultaten

In onderstaande tabel zijn de uitkomsten van de validatie voor de storm in 2013 weergegeven. De bias is over de gehele periodes is tussen de -5 cm en +2 cm. Als wordt gekeken naar de verschillen in maxima en minima tussen berekening en meting dan is deze tussen de -7 cm en +2,5 cm.

Tabel 1: Verschil tussen model en meting (in centimeter) voor de verschillende stations voor de stormperiode in 2013

station	Bias	Standaardafwijking
Elburgerbrug	-2,6	3,3
Harderbrug	1,2	3,6
Nijkerkersluis Oost	1,9	3,4
Roggebotsluis Zuid	-4,8	2,4
gemiddelde	-1,1	3,2
RMS gemiddelde	3,0	3,2

Nauwkeurigheid en modelonzekerheid

Over het algemeen zijn de effecten als volgt

- Uit de validatie met de stormperiode van december 2013 van de dflowfm3d-veluwerandmeren-j10_5-v1 (3D) modelschematisatie (deze modelversie is qua geometrie het meest representatief voor de beschouwde situatie in 2013) kan geconcludeerd worden dat de 3D aanpak beter in de buurt van de gemeten extreme waterstanden komt dan de 2DH aanpak (enkele cm's dichterbij dan 2DH tot de gemeten piek, met zo'n 1 tot 2 cm verschil tussen 3D simulatie en meting bij de piek).

- De overstap naar Baseline 6 is zeer gering op de waterstanden, maximaal 1 cm en veelal hooguit enkele mm's.

Er is nu geen duidelijke uitspraak te doen welke windforcering het beste is (ruimtelijke uniforme tijdreeksen van gemeten wind of ruimtelijk variërende windvelden van HIRLAM met downscaling of HARMONIE). Ook is het belangrijk om te realiseren dat de geometrie (vrij grote stukken met ondiepe zones aan de zijanten en een relatief smalle en diepe vaargeul met een aantal vernauwingen, waaronder het aquaduct bij Harderwijk) van het systeem leidt tot een waterbeweging die erg gevoelig is voor kleine verstoringen en veranderingen in het gebied. Een windforcering met voldoende representatieve ruimtelijke en temporele resolutie is daarvoor erg belangrijk, maar in (Eijsberg – Bak & Genseberger 2021) bleek dat echter weer lastig praktisch te realiseren. Mogelijk dat een analyse van het resonantiegedrag (door het beschouwen van de eigenmodes behorende bij deze specifieke geometrie) hier aanvullend bij kan helpen (zie ook sectie 3 in (Genseberger 2020)).

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. Voor snelle tests naar mogelijke impact van een aanpassing kan dit ook rechtstreeks via de D-HYDRO GUI.
- *Rooster*: bij officieel gebruik van de modelschematisatie mogen er 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 open randen, lateralen en meteo-informatie). Hiervoor zijn een aantal standaard randvoorwaarden sets beschikbaar bij het model. *Randvoorwaarden afkomstig van derden (o.a. KNMI, ECMWF) kunnen niet zondermeer worden uitgeleverd.*
- *Uitvoerlocaties*: er kunnen indien gewenst uitvoerlocaties (afvoerradien en/of uitvoerpunten) worden toegevoegd. Ten alle tijden dienen de reeds aanwezige uitvoerlocaties, die nodig zijn voor de correcte werking van het model, behouden te blijven (m.n. voor sturing kunstwerken en afvoerradien voor werking kalibratiefactoren).
- *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

Voor de D-HYDRO modelschematisatie is nagegaan wat de rekentijden en het effect van parallelisatie zijn op moderne hardware, dit is met name voor operationele toepassing belangrijk. De benodigde rekentijd voor het 2DH model is vrij klein, voor een dag simulatie met een klein aantal rekencores/partities op moderne hardware is dat enkele minuten. Voor het 3D model met 10 lagen is de rekentijd ongeveer een factor 10 groter.

Koppelingen en relaties met andere modellen

- Baseline NL (via clipcontouren wordt de deelschematisatie van de Veluwerandmeren hieruit aangemaakt).
- Het rooster van de Veluwerandmeren sluit aan op het rooster van het Markermeer (Nijkerkersluis) en de Rijntakken (Reevedam).
- Van de Veluwerandmeren zijn ook een 2D schematisaties beschikbaar (zie aparte Factsheet).

Beschikbare versies

Modelschematisatie	Jaar	Software	
		Baseline	D-HYDRO Suite
dflowfm3d-veluwerandmeren-j10_6-v1	2020	5.3.0	2020.04

De schematisaties zijn weergegeven op volgorde van actualiteit van de gebiedsbeschrijving. De dik gedrukte schematisaties zijn de vigerende versies van het totaalmodel. De 'normaal' gedrukte versies betreffen deelmodellen van het totale systeem. In grijs zijn de schematisaties aangegeven die intussen zijn vervangen door een nieuwere versie.

- 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

Hieronder volgt een overzicht van de beschikbare randvoorwaardensets:

Type	Naam	Beschrijving	Karakteristieken Lelystad	Referentie
hist	jan2007	Storm januari 2007 (2 dagen)	max 20 m/s (WZW → W)	Genseberger et al (2019)
hist	dec2011	Storm december 2011 (2 dagen)	max 16 m/s (ZW)	Genseberger et al (2019)
hist	dec2013	Storm december 2013 (2 dagen)	max 17 m/s (ZW → NW)	Genseberger et al (2019)

Release notes

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

dflowfm3d-veluwrandmeren-j10_6-v1a

De basis voor deze modelschematisaties wordt gevormd door baseline-frm-j10_5-v1 (zie de factsheet van het vijfde generatie model van de Veluwerandmeren) en omschrijft zo goed mogelijk de situatie rond 2010. Uit deze Baseline-5 schematisatie is vervolgens de modelschematisatie afgeleid.

Referenties (alfabetisch)

Bak, C., & Vlag, D. (1997): Achtergronden hydraulische belastingen dijken IJsselmeergebied, deel 5 WAQUA modellering, concept n24.

Bak-Eijsberg, C. (2015): Veluwerandmeren WAQUA-model 5de generatie – Modelopzet en validatie, Deltares rapport 1220072-011-ZWS-0006.

Genseberger, M., C. Eijsberg-Bak, A. Fujisaki & C. Thiange (2019): Ontwikkeling Zesde generatie Markermeer en Veluwerandmeren model, Deltares rapport 11200569-009-ZWS-0013 (versie 3.1).

Minns, T., A. Spruyt & D. Kerkhoven (2021): Specificaties zesde-generatie modellen met D-HYDRO - Generieke technische en functionele specificaties. Deltares rapport 11206813-018-ZWS-0004.

Waterloopkundig Laboratorium (1997): Onafhankelijk onderzoek Markermeer, fase 1b-2 - Bouw Delft2D systeem.



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.