



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

# Deltares

## Ontwikkeling zesde-generatie modellen met D-HYDRO

Generieke technische en  
functionele specificaties





# **Ontwikkeling zesde-generatie modellen met D-HYDRO**

**Generieke technische en functionele specificaties**

Aukje Spruyt  
Tony Minns  
Firmijn Zijl  
Menno Genseberger  
Mohamed Yossef  
Theo van der Kaaij  
Erik de Goede

11200569-000



**Titel**  
Ontwikkeling zesde-generatie modellen met D-HYDRO

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
RWS	11200569-000	11200569-000-ZWS-0028	51

**Trefwoorden**  
D-HYDRO, D-Flow Flexible Mesh, zesde generatie, RWS, functioneel ontwerp, pilots

**Samenvatting**  
Dit rapport beschrijft landelijk afgestemde generieke technische en functionele specificaties voor alle nieuwe zesde-generatie modelschematisaties voor RWS voor de waterbeweging op basis van de D-Flow Flexible Mesh module binnen de D-HYDRO Suite. Deze specificaties dienen te worden gebruikt als input bij het opstellen en afregelen van zesde generatie (D-HYDRO) modelschematisaties vanaf 2017.




Voorliggend rapport is een vervolg op het adviesrapport uit december 2016 (Spruyt et al., 2016). Dit adviesrapport was gebaseerd op de uitkomsten van een aantal werksessies en de opzet van een drietal pilotschematisaties. De werksessies waren gehouden met verschillende betrokkenen om de eisen, wensen en verwachtingen van eindgebruikers en andere stakeholders van de zesde-generatie modelschematisaties in beeld te brengen. In dit adviesrapport werd een eerste ruwe schets gegeven van mogelijke technische en functionele specificaties.

Tijdens het opzetten van deze eerste zesde-generatie modelschematisaties zijn de technische en functionele specificaties verder aangescherpt. Ook zijn een aantal generieke D-HYDRO vraagstukken, zoals onder andere roosteropbouw, bodemschematisatie en viscositeit-instellingen, nader onderzocht en zijn de bevindingen verwerkt in de specificaties. Daarnaast is gelijktijdig vanuit RWS een Programma van Eisen (PvE) voor de zesde-generatie watermodellen 2D en 3D opgesteld en ook deze is verwerkt in voorliggende technische en functionele specificaties voor de ontwikkeling van de zesde-generatie modellen.

Voorliggende specificaties zijn in juni 2017 besproken tijdens een algemene klankbordgroepbijeenkomst met verschillende stakeholders van binnen en buiten RWS. Aan de hand hiervan is deze eerste definitieve versie van dit rapport opgesteld, waarin de resultaten en aanbevelingen uit deze bijeenkomst zijn verwerkt.

## Referenties

-

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.0	sep. 2017	Aukje Spruyt		Anke Becker		Gerard Blom	

**Status**  
definitief



## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doelstelling	2
1.3	Organisatie en werkwijze	2
1.4	Leeswijzer	2
1.5	Terminologie	3
<b>2</b>	<b>Conceptueel raamwerk</b>	<b>5</b>
2.1	Van de vijfde- naar zesde-generatie modelschematisaties	5
2.2	Waterlichamen	5
2.3	Toepassingen	7
2.4	Specifieke eisen aan het conceptueel ontwerp	9
2.4.1	Landelijk model	9
2.4.2	Overlapegebieden	11
2.4.3	Proces roosteraanpassing en -verfijning	12
2.4.4	Koppelen van modellen	12
2.4.5	Knippen van modellen	13
2.5	Wettelijke en bestuurlijke kaders	14
<b>3</b>	<b>Koppeling met andere modellen</b>	<b>15</b>
3.1	Introductie	15
3.2	Golven	15
3.2.1	SWAN	15
3.2.2	Bretschneider	18
3.2.3	Samenvatting voorwaarden voor de koppeling met golven	18
3.3	Morfologie	18
3.4	Waterkwaliteit	19
3.5	Meteorologie	20
3.6	Globale modellen	21
3.7	Data-assimilatie	21
3.8	Baseline 6	21
3.9	Regionale modellen	22
3.10	Buitenlandse modellen	22
<b>4</b>	<b>Technische specificaties</b>	<b>23</b>
4.1	Algemeen	23
4.2	Roostergeneratie	24
4.2.1	Algemene opzet	24
4.2.2	Afhandeling van gesloten randen	25
4.2.3	1D-2D-koppelingen	26
4.3	Numerieke aspecten	26
4.3.1	Tijdstap	26
4.3.2	Projectie van de bodem	27
4.3.3	Horizontale turbulentie	28
4.3.4	Implicietheid van de tijdsintegratie	29
4.3.5	Wandruwheid	29
4.4	Kunstwerken en overlaten	29

4.4.1	Kunstwerken	29
4.4.2	Sturing kunstwerken	30
4.4.3	Overlaten	31
4.4.4	Bruggen	31
4.4.5	Primaire keringen en hoge gronden	31
4.5	3D-modellering	32
4.6	Overige aspecten	32
4.6.1	Stabiliteit en nauwkeurigheid	32
4.6.2	Initiële condities	33
4.6.3	Rekentijd en parallellisatie	35
4.6.4	Gebruiksvriendelijkheid en presentatie	35
<b>5</b>	<b>Kalibratie en validatie</b>	<b>37</b>
5.1	Algemeen	37
5.2	Nauwkeurigheid	38
5.3	Onzekerheidsanalyse	39
<b>6</b>	<b>Beheer schematisaties en data</b>	<b>41</b>
6.1	Algemeen	41
6.2	Naamgeving	41
6.3	Modelstructuur	42
6.4	Standaardrandvoorwaarden	43
6.5	Datamanagement	43
6.5.1	Informatiehuis Water	43
6.5.2	Informatiehuis Marien	43
6.5.3	INSPIRE	43
6.5.4	Deltares Data Portal	44
6.6	Versiebeheer	44
6.7	Helpdesk Water en Dataportaal overheid	44
<b>7</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>45</b>
7.1	Conceptueel raamwerk functionele specificaties	45
7.2	Koppeling met andere modellen	46
7.3	Technische specificaties	46
7.4	Kalibratie en validatie	47
7.5	Beheer schematisaties en data	47
7.6	Prioritering en planning zesde generatie	48
<b>8</b>	<b>Referenties</b>	<b>51</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
<b>A</b>	<b>Bijlage: Programma van eisen zesde generatie Watermodellen 2D en 3D</b>	<b>A-1</b>
<b>B</b>	<b>Bijlage: Wettelijke en bestuurlijke kaders</b>	<b>B-1</b>
B.1	Waterwet	B-1
B.2	Omgevingswet	B-1
B.3	Nieuwe normering	B-1
B.4	Kader Toepassing Netwerkmodellen Water en Scheepvaart	B-2
B.5	Beleidslijn Grote Rivieren	B-2
B.6	Rivierkundig Beoordelingskader (RBK)	B-2



B.7	Leggers	B-3
B.8	Ontgrondingenwet	B-3
B.9	Natuurwet	B-3
B.10	Overige protocollen en besluiten	B-4
B.11	Verdragen met het buitenland	B-4
B.12	Europese kaders	B-4
<b>C</b>	<b>Bijlage: Lijst van numerieke basisinstellingen</b>	<b>C-5</b>
C.1	Afwijkingen van de default waarden van D-Flow Flexible Mesh	C-6
<b>D</b>	<b>Good Modelling Practice</b>	<b>D-1</b>
<b>E</b>	<b>Bijlage: Definities modelbeoordeling</b>	<b>E-1</b>
E.1	Achtergrond	E-1
E.2	Definities	E-1
E.2.1	Kalibratie	E-1
E.2.2	Validatie	E-1
E.2.3	Verificatie	E-1
E.3	Goodness-of-fit criteria	E-1
E.3.1	Bias	E-2
E.3.2	Standaardafwijking	E-2
E.3.3	Root Mean Square Error ( <i>RMSE</i> )	E-2
E.3.4	Relatieve bias	E-2
E.3.5	Variatiecoëfficiënt	E-3
E.3.6	Vershil in waarden rond extremen	E-3
E.3.7	Vershil in tijdstip van extremen	E-3
E.3.8	Overschrijdingsduur	E-3
E.3.9	Gemiddelde over stations	E-3
E.4	Middelingsduur variabelen	E-4
E.5	Nauwkeurigheidscriterium	E-4
<b>F</b>	<b>Bijlage: Roostergeneratie</b>	<b>F-1</b>
F.1	Richtlijnen per toepassing voor zesde-generatie modellering	F-2
F.2	Vuistregels voor roostergeneratie	F-2
<b>G</b>	<b>Bijlage: Bodemprojectie</b>	<b>G-1</b>
G.1	Samenvatting van aanvullend onderzoek	G-2
<b>H</b>	<b>Bijlage: Horizontale viscositeit</b>	<b>H-1</b>
H.1	Background	H-1
H.1.1	Background horizontal viscosity	H-1
H.1.2	3D turbulence	H-2
H.1.3	2D turbulence	H-2
H.2	Discussion	H-3
H.3	Test simulations using the Waal model	H-3
H.4	Conclusions and recommendations	H-4
H.5	Annex 1: Results of test simulations using the Waal model	H-5
<b>I</b>	<b>Bijlage: Naamgeving conventies modellen RWS</b>	<b>I-1</b>



## Lijst van acroniemen

Delft3D Flexible Mesh Suite	Geïntegreerd modelsysteem met ongestructureerde en gestructureerde roosters voor 1D2D3D modellering in open water. Opvolger van Delft3D v4.xx Suite.
Delft3D FM Suite	Afkorting van Delft3D Flexible Mesh Suite
D-HYDRO Suite	Nederlandse benaming voor Delft3D FM Suite voor gebruik in Nederland.
D-Real Time Control	Module voor het aansturen van kunstwerken
D-RTC	Afkorting van D-Feedback Control
D-Flow Flexible Mesh	Module voor waterkwantiteit
D-Flow FM	Afkorting van D-Flow Flexible Mesh
D-Morphology	Module voor morfologie
D-Particle Tracking	Module voor modellering van deeltjes
D-Rainfall Runoff	Module voor de neerslag-afvoermodellering
D-Water Quality	Module voor waterkwaliteit
D-Wave	Module voor golven
Delft3D v4.xx Suite	Geïntegreerd modelsysteem met curvilineaire roosters voor 2D3D modellering in open water
Delta Shell	Geïntegreerd modelleerframework voor integratie van modellen, data en tools.
FEWS	Hydrologisch voorspelsysteem van Deltares
G6 modellering	Zesde-generatie modellering
NetCDF	Network Common Data Form; Internationale standaard voor in- en uitvoerfiles
OpenDA	Open Interface standaard voor modelkalibratie en data-assimilatie
OpenMI	Open Modelling Interface voor het koppelen van modelsystemen
Simona	Geïntegreerd modelsysteem voor 2D3D modellering in open water van Rijkswaterstaat. Afkorting van <b>S</b> imulatie <b>M</b> odellen <b>N</b> atte waterstaat.
SOBEK-RE	1D modelsysteem voor rivier toepassingen van Rijkswaterstaat
SOBEK-RUR	1D modelsysteem voor rivier toepassingen van Deltares. Hierbij staat "RUR" voor RiverUrbanRural, ook wel SOBEK 2 genoemd
SOBEK 3	Opvolger van SOBEK-RUR en SOBEK-RE voor rivier toepassingen. Geïntegreerd binnen het Delta Shell framework
SWAN	Simulating WAVes Nearshore. Derde-generatie golven model ontwikkeld door de TU Delft.
WAQUA	2D modelsysteem dat onderdeel is van Simona



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Op 15 september 2015 is een mijlpaal gerealiseerd door de release van versie 1.0 van het softwarepakket D-HYDRO Suite. D-HYDRO is het modelleringsplatform van de toekomst voor hydrodynamica, morfodynamica, waterkwaliteit en golven (Deltares, 2016a,b,c). Deze software-suite wordt de vervanger van het door RWS gebruikte Simona (WAQUA, TRIWAQ), Delft3D en het SOBEK-RE softwarepakket.

Het SOBEK-RE softwarepakket is de afgelopen jaren al vervangen door SOBEK 3, een onderdeel binnen de D-HYDRO Suite. Er zijn in de periode 2013-2017 al verschillende modelschematisaties opgezet in SOBEK 3 en deze modelschematisaties worden ook al gebruikt in diverse primaire processen bij RWS. RWS beoogt om rond 2020 alle Simona (WAQUA en TRIWAQ) en Delft3D-FLOW modelschematisaties vervangen te hebben door D-Flow Flexible Mesh (D-Flow FM) modelschematisaties binnen de D-HYDRO Suite. Dat moment zal de overgang van de gestructureerde rooster aanpak naar de flexibele-rooster modeleringsmogelijkheden in D-HYDRO markeren. Met het in gebruik nemen van de D-HYDRO Suite stapt RWS over van modelschematisaties in de vijfde generatie naar modelschematisaties in de zesde generatie (G6).

Modelschematisaties en de daaruit voorkomende modelresultaten hebben een belangrijke rol binnen de primaire processen van RWS en veranderingen daarin kunnen vergaande economische, strategische en politieke consequenties hebben. Daarnaast biedt een overgangsmoment de gelegenheid om weer eens kritisch naar huidige en beoogde toepassingen te kijken. Om de overgang weloverwogen en gecontroleerd te laten verlopen, is daarom door RWS besloten om voorafgaand aan het opzetten van de D-Flow FM modellen technische en functionele specificaties op te laten stellen. De scope ligt hierbij op het ontwerpen van modelschematisaties voor de waterbeweging (2D en 3D). Hierbij dient wel, zoveel als mogelijk, rekening te worden gehouden met de compatibiliteit met andere modellen en processen zoals voor golven (SWAN), morfologie en waterkwaliteit/ecologie. De focus ligt vooral op 2D modellering, omdat de software voor 3D modellering nog volop in ontwikkeling is.

Door RWS is vervolgens aan Deltares gevraagd om generieke en uitgebreide technische en functionele specificaties aan te leveren, die gebruikt zullen worden bij de ontwikkeling van de zesde-generatie modelschematisaties van RWS voor de waterbeweging. Deze specificaties zijn bedoeld om de ontwikkeling (opzet, kalibratie en gebruik) van de eerste D-Flow FM modelschematisaties in goede banen te leiden. De D-HYDRO modelschematisaties voor de volgende gebieden worden als eerste opgezet in 2017:

- Noordzee
- Oosterschelde (+ Veerse Meer)
- Maas
- Markermeer & Veluwerandmeren

Daarnaast wordt er in 2017 gewerkt aan het opzetten van een plan van aanpak voor de zesde-generatie modellen van de Rijntakken en de Rijn-Maasmonding, zodat in 2018 direct met de modelontwikkeling gestart kan worden.

## 1.2 Doelstelling

Het doel is gedragen, landelijk afgestemde generieke technische en functionele specificaties op te stellen voor alle nieuwe zesde-generatie 2D (en 3D) modelschematisaties van RWS voor de waterbeweging. Hierbij dient, zoveel als mogelijk, rekening te worden gehouden met de compatibiliteit met andere modellen en processen. Deze specificaties worden gebruikt voor het opstellen en afregelen van de modelschematisaties vanaf 2017.

## 1.3 Organisatie en werkwijze

Voorliggend rapport is een vervolg op het adviesrapport uit december 2016 (Spruyt et al., 2016). Dit adviesrapport was gebaseerd op de uitkomsten van een aantal werksessies en de opzet van een drietal pilotschematisaties. De werksessies waren gehouden met verschillende betrokkenen om de eisen, wensen en verwachtingen van de zesde-generatie modelschematisaties van eindgebruikers en andere stakeholders in beeld te brengen.

De resultaten van de pilotschematisaties, het adviesrapport uit 2016 en de eerste plannen voor het opzetten van de zesde-generatie modelschematisaties zijn begin 2017 besproken in drie verschillende klankbordbijeenkomsten:

- 19 januari 2017 – pilot Kusten en Estuaria: PvA G6 Noordzee en PvA G6 Oosterschelde & Veerse Meer
- 27 januari 2017 – pilot Rivieren: PvA G6 Maas
- 30 januari 2017 – pilot Meren: PvA G6 Markermeer & Veluwerandmeren

Bij het opzetten van deze eerste zesde-generatie modelschematisaties zijn de technische en functionele specificaties verder aangescherpt. Ook zijn een aantal generieke D-HYDRO vraagstukken, zoals onder andere roosteropbouw, bodemschematisatie en viscositeit-instellingen, nader onderzocht en zijn de bevindingen verwerkt in de specificaties. Daarnaast is vanuit RWS een Programma van eisen (PvE) voor de zesde-generatie watermodelschematisaties 2D en 3D opgesteld (zie bijlage A) en ook deze is verwerkt in voorliggende technische en functionele specificaties voor de ontwikkeling van de zesde-generatie modelschematisaties.

Een conceptversie van dit rapport is gepresenteerd bij een algemene klankbordgroepbijeenkomst op 14 juni 2017 tijdens de Deltares Software Dagen. Naar aanleiding van de feedback tijdens die bijeenkomst en reacties na afloop is deze definitieve versie opgesteld.

Nadat de eerste modelschematisaties opgezet zijn, naar verwachting eind 2017, zullen de specificaties opnieuw worden bekeken en indien nodig worden aangepast.

## 1.4 Leeswijzer

Dit rapport bestaat uit zeven hoofdstukken, waaronder deze inleiding. In hoofdstuk 2 wordt begonnen met het conceptuele raamwerk voor de zesde generatie. De koppeling met andere modellen en de implicaties voor de zesde-generatie modelschematisaties wordt besproken in hoofdstuk 3. Deze komen terug in de technische specificaties in hoofdstuk 1. In hoofdstuk 5 wordt dieper ingegaan op de kalibratie en validatie van de modelschematisaties en het beheer van de schematisaties en data wordt besproken in hoofdstuk 6. Ten slotte volgen de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 7.

## 1.5 Terminologie

In dit rapport worden de volgende definities gebruikt:

Nederlandse term	Beschrijving	Voorbeeld
<i>gebiedsschematisatie</i>	Een beschrijving van een specifiek gebied of water-/grondwatersysteem, voor een specifieke periode	baseline-rijn-j15_5-v1 (software: Baseline, watersysteem: Rijn, periode: 2015)
<i>modelschematisatie</i>	= modelsoftware + gebiedsschematisatie Een rekenkundig model van een specifiek gebied of water-/grondwatersysteem gebouwd met specifieke modelsoftware, voor een specifiek systeem en een specifieke periode	waqua-rijn-j15_5-v1 (software: WAQUA, watersysteem: Rijn, periode: 2015)
<i>modelsoftware</i>	Een softwarepakket waarmee modelschematisaties kunnen worden doorgerekend aan de hand van een numerieke implementatie van fysische processen	D-Flow FM, WAQUA
<i>modelsoftwaresuite</i>	Een samenhangend geheel van modelsoftware systemen	D-HYDRO, SIMONA

Wanneer alleen het woord 'model' wordt gebruikt, wordt hier specifiek een 'modelschematisatie' mee bedoeld.





## 2 Conceptueel raamwerk

### 2.1 Van de vijfde- naar zesde-generatie modelschematisaties

Het opzetten van nieuwe, zesde-generatie modelschematisaties start vanuit de gedachte dat er één landelijk-dekkend model voor heel Nederland wordt gemaakt. Alle modelschematisaties, die onderdeel uitmaken van het landelijke model, moeten naadloos op elkaar aansluiten. De overgang naar de D-HYDRO Suite houdt in het opzetten van nieuwe modelschematisaties gebruikmakend van de nieuwe beschikbare mogelijkheden en concepten van deze software. De nieuwe mogelijkheden van de D-HYDRO Suite zijn stapsgewijs verkend door in eerste instantie gebruik te maken van de reeds opgedane ervaringen met het rechtstreeks omzetten van enkele bestaande vijfde generatie WAQUA-modelschematisaties naar de D-HYDRO Suite. Op basis van deze omgezette modellen is gekeken naar wat er meer in de zesde-generatie bereikt zou kunnen worden (t.o.v. eerdere generaties). Het gebruik van de D-HYDRO Suite biedt op sommige vlakken nieuwe kansen, die niet bij Simona of Delft3D-FLOW aanwezig waren (bijv. modelleerflexibiliteit, ongestructureerd rekenen, modelonafhankelijke invoer, etc.).

Hoewel technisch mogelijk en toegepast voor de pilotschematisaties, is er bewust voor gekozen om bij de overgang niet te gaan voor het rechtstreeks omzetten van de vijfde-generatie modellen, maar wel om de leerpunten en aandachtspunten uit de vijfde generatie mee te nemen bij het van scratch af aan opzetten van de zesde-generatie modellen.

Met de ontwikkeling van de vijfde-generatie modelschematisaties voor de waterbeweging is er voor gezorgd dat de verschillende modelgebieden fysiek op elkaar aansluiten en consistent worden opgebouwd. Voor de zesde-generatie geldt dezelfde eis. Vanwege lange rekentijden en de hanteerbaarheid van de modelschematisatie, moet het landelijke model in eerste instantie worden opgeknipt in logische eenheden, wat vaak watersystemen zullen zijn. Door te werken vanuit de gedachte van één landelijk model heeft dat ook consequenties voor de keuze en instelling van modelparameters. Hoewel het uitgangspunt is dat de basisinstellingen overal hetzelfde moeten zijn, hebben veel van de instellingen een fysische betekenis en zijn deze afhankelijk van de lokale fysica of gebieds-/watersysteemkenmerken.

### 2.2 Waterlichamen

De hoofdindeling is gebaseerd op de indeling volgens het Beheer- en ontwikkelplan voor de Rijkswateren 2016-2021 (BPRW) in zes hoofdgebieden; Rivieren, Kanalen, Waddenzee, Noordzee en kust, IJsselmeergebied en Zuidwestelijke Delta. Indien nodig wordt een hoofdgroep verder onderverdeeld in watersystemen.

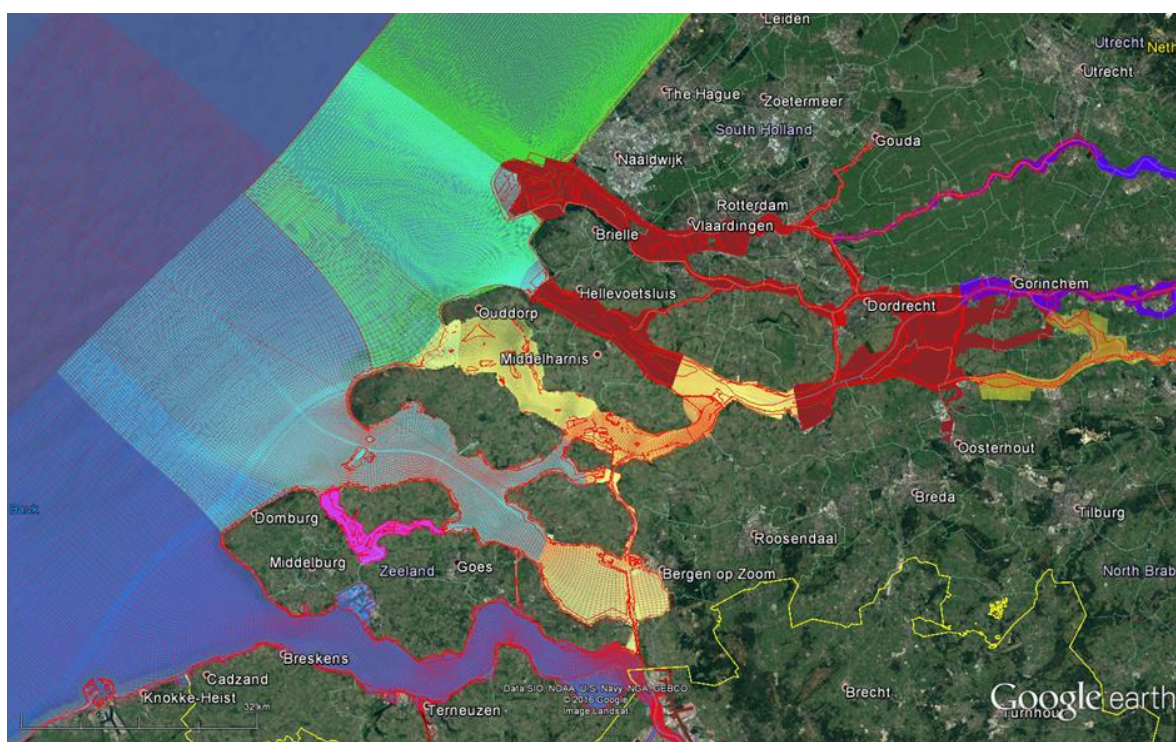
Binnen het RWS-beheergebied (vastgelegd in de Waterwet<sup>1</sup>) is een aantal watersystemen geïdentificeerd. De belangrijkste watersystemen in de vigerende vijfde-generatie modelschematisaties zijn:

- Continentale Plat
- Waddenzee
- Eems Dollard
- IJmuiden
- Lauwersmeer
- Volkerak Zoommeer
- Grevelingen
- Veerse Meer
- Oosterschelde
- Westerschelde en Zeeschelde
- Maas
- Rijntakken
- Rijn-Maasmonding (RMM)
- IJsselmeer-Vechtdelta
- Markermeer IJmeer Eem
- Veluwerandmeren
- Noordzeekanaal+Amsterdam-Rijnkanaal
- Twentekanaal
- Midden Limburg en Noord-Brabantse kanalen

Hoewel de modelschematisaties van deze waterlichamen ontwikkeld zijn om goed op elkaar aan te sluiten, is er door de jaren heen een verscheidenheid aan modelschematisaties ontstaan met enkele dubbelingen en overlap in schematisatiegebieden (zie Figuur 2.1). In de zesde-generatie modellen zal dit ook het geval zijn, zolang we dezelfde deelgebieden handhaven.

---

<sup>1</sup> [www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/waterwet/kaarten/kaart-waterregeling/](http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/waterwet/kaarten/kaart-waterregeling/)



Figuur 2.1 Voorbeeld van vijfde-generatie schematisaties in Zuidwest Nederland met veel overlap

De huidige indeling van modelgrenzen is mede ingegeven doordat regionale diensten verantwoordelijk zijn voor een specifiek beheersgebied en elk watersysteem zijn eigen specifieke eisen heeft. Daarnaast legt de beschikbaarheid van geschikte randvoorwaarden beperkingen op ten aanzien van de ligging van de modelgrenzen. De huidige modelgrenzen zijn dus niet altijd ideaal, maar bieden wel een goed startpunt voor de zesde generatie.

Bij het opzetten van de nieuwe zesde-generatie modelschematisaties wordt opnieuw nagedacht over hoe groot de modelgebieden moeten zijn, waar de optimale locaties voor de nieuwe koppelranden zijn, en waar geschikte randvoorwaarden beschikbaar zijn. Modelgrenzen van de individuele watersystemen dienen daarbij zodanig worden geplaatst dat er een naadloze koppeling tussen de modelsystemen mogelijk is. Dit kan leiden tot een ander aantal modelschematisaties voor de zesde generatie. Het denken vanuit een landelijk-dekkend rooster en één gebiedsschematisatie voor heel Nederland hoeft echter niet per se te resulteren in één (draaiend) landelijk model.

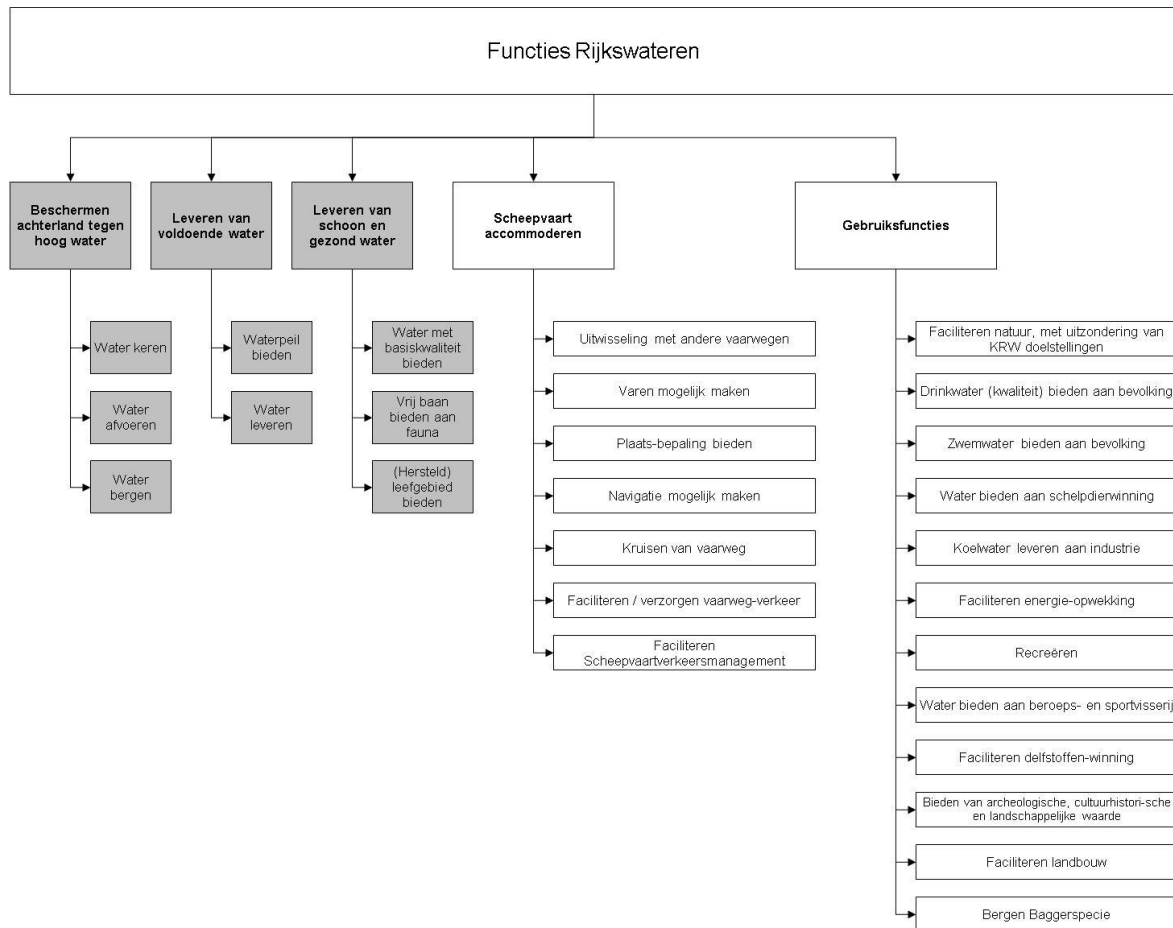
### 2.3 Toepassingen

De modellen worden gebruikt in verschillende toepassingen die gerelateerd zijn aan de functies van het watersysteem (zie Figuur 2.2) en dienen geschikt te zijn om vragen die hierop betrekking hebben te helpen beantwoorden. Elke toepassing stelt zijn eigen eisen aan de te gebruiken modellen. Deze eisen, wensen en verwachtingen zijn geïnventariseerd in Spruyt et al. (2016) volgens een indeling langs de lijn van de RWS-missie:

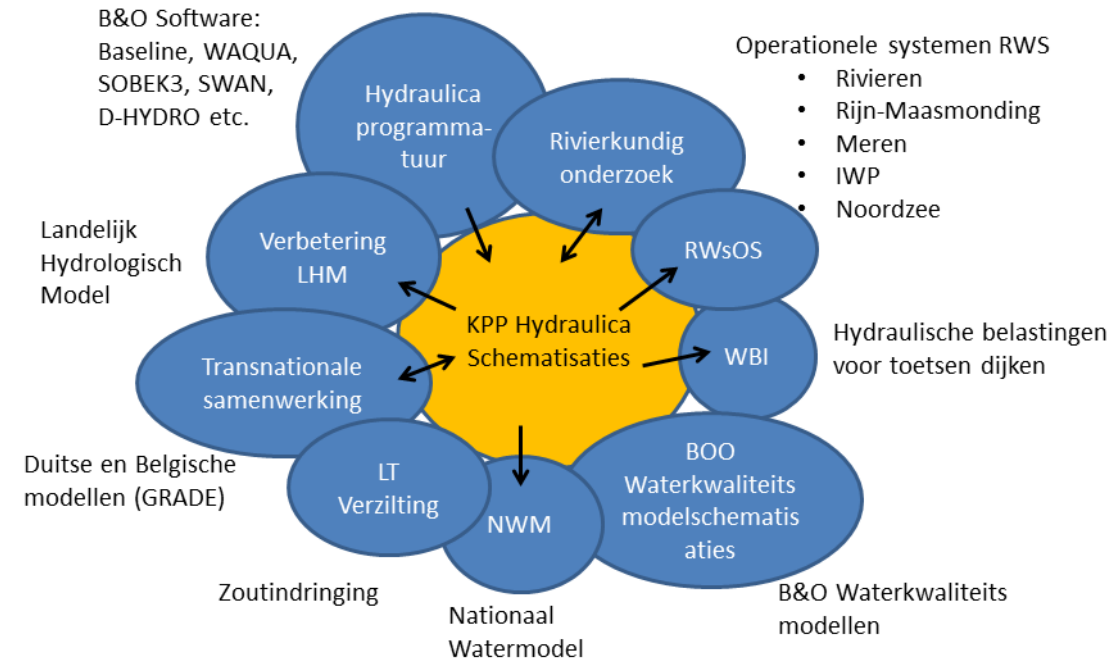
- Veilig;
- Schoon;
- Voldoende;
- Vlot.

en zijn ook opgenomen in het PvE van RWS voor de zesde-generatie modellen (bijlage A).

Op deze manier staan de toepassingen voor RWS centraal en worden de modellen hiervoor gebouwd, in plaats van dat er eerst een model wordt gemaakt en dat iedere toepassing hiervan gebruik moet maken (of het geschikt is of niet).



Figuur 2.2 Functieboom Rijkswateren (Bron: Basisspecificatie Rijkswateren versie 5.2)



Figuur 2.3 Interactie van KPP Hydraulica Schematisaties met andere KPP projecten.

De modelschematisaties die binnen KPP Hydraulica Schematisaties worden opgezet staan niet op zichzelf maar hebben een relatie met en worden toegeleverd aan allerlei andere KPP projecten (zie Figuur 2.3). Tijdens de opzet van de zesde-generatie modellen wordt met deze projecten overlegd over de functionele eisen. Ook dient er binnen deze projecten rekening te worden gehouden met het feit dat de overgang naar de nieuwe generatie modellen (en bijbehorende nieuwe software) consequenties kan hebben voor de werkwijze, processen, koppelvlakken en systemen zoals die nu gehanteerd worden. De planning voor de opzet van de zesde-generatie modellen wordt daarom duidelijk met deze partijen gecommuniceerd, zodat tijdig op benodigde aanpassingen kan worden geanticipeerd.

## 2.4 Specifieke eisen aan het conceptueel ontwerp

### 2.4.1 Landelijk model

Het opzetten van nieuwe, zesde-generatie modelschematisaties start vanuit de gedachte dat er één landelijk-dekkend model voor heel Nederland wordt gemaakt.

Een aantal doelen waarvoor een “landelijk” model zou kunnen worden ingezet zijn:

- Genereren van randvoorwaarden (voor de lokale deelmodellen);
- Waterverdelingsvraagstukken;
- Beleidsstudies (nesting of koppelen van detailmodellen)
- Koppeling aan landelijke database



*Figuur 2.4 Dekking gebiedsschematisatie BaselineNL en aanvullende gebieden met alleen SOBEK3-schematisaties (donkerblauwe lijnen)*

Dit landelijke model van heel Nederland hoeft niet overal dezelfde dimensie of resolutie te hebben. Op dit moment is er bijvoorbeeld al een eerste opzet van een nieuw landelijk SOBEK-model (LSM-RWS), waarin alle beschikbare SOBEK 3-schematisaties van RWS aan elkaar zijn gekoppeld. Dit is echter een 1D-model en het is de vraag of deze nauwkeurig genoeg is voor de generatie van randvoorwaarden voor de deelmodellen. Het is daarom wenselijk om een landelijk dekkend 2D-rooster en schematisatie te genereren. Op deze manier is er in ieder geval een totaal landelijk overzicht beschikbaar, zodat het veel makkelijker wordt om allerlei zaken consistent aan te pakken en is er ook aandacht voor de koppelings- en overlapgebieden. Dit hoeft alleen niet per se te resulteren in een (draaiend) landelijk 2D-model.

De onderliggende datastructuur van de huidige Baseline 5 is vooral gericht op de modelopzet volgens de vijfde generatie. Er is een eerste opzet gemaakt van een landelijke database, BaselineNL, waarin alle nu beschikbare Baseline-schematisaties zijn samengevoegd tot één gebiedsschematisatie, zie Figuur 2.4 (voor de volledigheid zijn hier met de donkerblauwe lijnen ook de gebieden weergegeven waar op dit moment alleen een SOBEK3-schematisatie en geen Baseline-data van beschikbaar is). Deze schematisatie is echter wel erg groot qua opslagcapaciteit, en is daardoor minder goed werkbaar (binnen ArcGIS). Dit wordt met name veroorzaakt door de omvang van de hoogte-informatie. Het geeft echter wel een compleet overzicht van de nu landelijk beschikbare informatie en de manier waarop hier in de verschillende gebieden mee wordt omgegaan. Dit is een mooi uitgangspunt om bij de opzet van gebiedsschematisaties voor de zesde generatie consequenter mee om te gaan.

Daarnaast is er hier een aandachtspunt voor de regio's om op termijn ook Baseline-data voor de nog missende gebieden (Twentekanaal, Meppelerdiep, Midden-Limburg en Noord Brabantse Kanalen) op te zetten, of hier op een andere manier mee om te gaan.

Met de overgang naar de zesde generatie wordt er ook gewerkt aan een nieuwe softwareversie van Baseline (zie ook paragraaf 3.8), waarin de onderliggende database-structuur wordt herzien. Hierbij wordt er naar gestreefd om deze structuur zodanig op te zetten dat het wel mogelijk wordt om met een landelijke database te werken.

Het idee is om een set van landelijke databases op te zetten die als basis dienen voor de zesde-generatie modellen. Binnen Baseline 6 wordt het mogelijk om, via vooropgezette polygonen, bepaalde delen uit de landelijke database te knippen die vervolgens binnen de verschillende gebieden kunnen worden toegepast. Onderdeel van deze set landelijke databases zijn:

- Actuele situatie (j-schematisaties)
- Beleidsmatige situatie (beno-schematisaties)
- Schematisaties voor kalibratie/validatie/verificatie

Om er voor te zorgen dat de set met landelijke databases zo klein mogelijk blijft, dient er voor gezorgd te worden dat de kalibratie-, validatie- en verificatieperioden zoveel mogelijk op elkaar worden afgestemd. Dit dient echter niet ten koste te gaan van de kwaliteit van de kalibratie en validatie van de modellen.

#### 2.4.2 Overlapgebieden

De huidige vijfde-generatie modelschematisaties overlappen elkaar in de zogeheten overlapgebieden. Deze overlapgebieden zijn echter tussen de modelschematisaties zoveel mogelijk gelijk getrokken. Er zijn op dit moment een aantal zwakke punten gerelateerd aan de afregeling van de overgangsgebieden. Voorbeeld hiervan is de overgang van de Rijntakken en de Maas in het getijgebied naar de Rijn Maasmonding. Hier gaat het niet goed ten aanzien van de waterstanden, aangezien in de afregeling van de rivieren Rijntakken en Maas onvoldoende rekening wordt gehouden met de afregeling van het getij. Bij de meren speelt iets vergelijkbaars bij de overgang vanuit de IJssel naar de meren, waarbij bijvoorbeeld opeens wind(opzet) een belangrijke rol gaat spelen.

Ook in de zesde-generatie modellen is het wenselijk om de modellen elkaar (gedeeltelijk) te laten overlappen, in ieder geval tijdens de opzet en afregeling. Dit is namelijk noodzakelijk omdat een goede afregeling alleen kan worden uitgevoerd als de modelrand ver genoeg van het interessegebied zit (of je over heel nauwkeurige randvoorwaarden beschikt). Hierbij moet wel rekening worden gehouden met de tekortkomingen die in de vijfde-generatiemodellen aan het licht zijn gekomen. Om deze tekortkomingen te voorkomen kan worden gedacht aan een iteratieve aanpak voor de opzet en afregeling, zie voorbeeld hieronder.

*Voorbeeld:*

- 1 *Opzetten en afregelen modellen Rijntakken, Maas en Noordzee.*
- 2 *Opzetten en afregelen modellen Rijn-Maasmonding en IJssel-Vechtdelta.*
- 3 *Overlapgebieden opnieuw afregelen met gekoppelde modellen.*

### 2.4.3 Proces roosteraanpassing en -verfijning

Vanuit RWS is er de wens om te komen tot een beheersbaar pakket van modelschematisaties. Zomaar willekeurige roosteraanpassingen en verfijningen toestaan, draagt daar niet aan bij. Elke roosteraanpassing genereert namelijk in principe een andere modelschematisatie. Het maakt hierbij echter wel uit of de modellen worden gebruikt in onderzoeksvragen of voor vergunningverlening. In het eerste geval is er duidelijk meer flexibiliteit mogelijk. Vanwege de flexibiliteit die D-HYDRO FM biedt, wordt het nu echter wel veel makkelijker om rooster-*uitbreidingen* te realiseren.

Voor sommige toepassingen zullen gebruikers een lokale verfijning of aanpassing van het rooster moeten gebruiken voor specifieke, lokale problemen. RWS zal deze verfijnde modellen niet zelf opzetten

Er moet een protocol/kwaliteitshandboek worden opgesteld voor het toepassen van lokale verfijningen (of aanpassingen) om duidelijke richtlijnen voor beheerders en marktpartijen te geven t.b.v. kwaliteitsborging en modellenbeheer. Hierin zou informatie moeten worden opgenomen over de kwaliteitsborging van een uitgevoerde verfijning, en de eisen aan een eventuele herkalibratie van het model.

Daarnaast is het wenselijk om voor bepaalde gebieden wel vooropgezette verfijnde modelschematisaties te maken, die voor specifieke toepassingen moeten worden gebruikt. Dit is vergelijkbaar met de deelmodellen in de vijfde generatie en zorgt ervoor dat deze modelschematisaties in bepaalde procedures op een eenduidige manier kunnen worden toegepast. Bij de opzet van het basisrooster dient hier rekening mee te worden gehouden (zie ook paragraaf 4.2).

### 2.4.4 Koppelen van modellen

De huidige vijfde-generatie modelschematisaties zijn apart van elkaar opgezet, maar de roosters zijn zodanig gegenereerd dat ze onderling op elkaar aansluiten. Dit is ook de insteek voor de zesde generatie. Er wordt in principe gedacht vanuit het opzetten van één rooster voor heel Nederland. Dit maakt het mogelijk om de modelschematisaties onderling te koppelen.

Naast de koppeling van gelijkwaardige modelschematisaties onderling is er ook een grote wens om modellen van verschillende dimensies of resoluties aan elkaar te kunnen koppelen. Op deze wijze kun je inzoomen op het gebied waarin je bent geïnteresseerd, terwijl de globale en grootschalige effecten die invloed hebben op je detailgebied ook worden meegenomen.

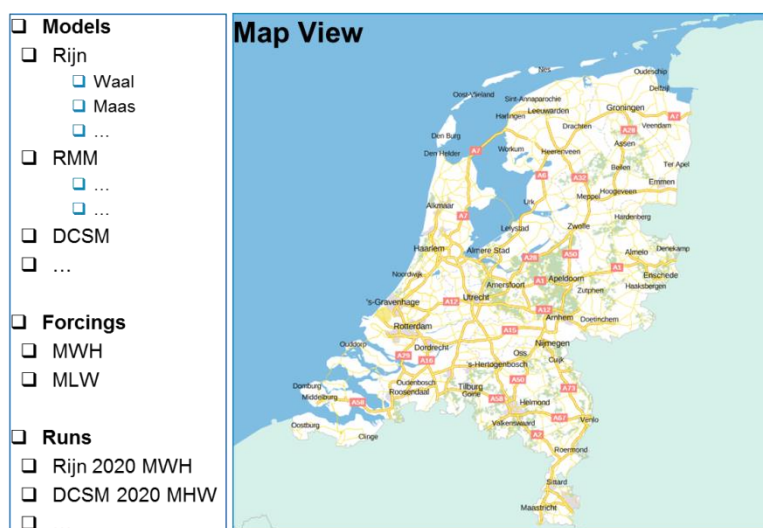
*Voorbeeld Zoutindringing bij IJmuiden: Je wilt een 3D-model gebruiken rond de sluizen en op het Noordzeekanaal. Daarna kan worden overgaan op een 2D-model. Als je ook de zoetwaterinname op de Lek en het effect hiervan op de scheepvaart wilt meenemen, dan kan er verder worden gekoppeld met een 1D model tot aan Lobith.*

Het verdient echter de aanbeveling om eerst de (deel)modellen goed op te zetten. Hierbij dient echter wel rekening te worden gehouden met de wens dat het model in een later stadium koppelbaar, verfijnbaar en in lagen op te delen (3D) moet zijn. Je krijgt dan (gekalibreerde) modelschematisaties (componenten) van verschillende dimensies die makkelijk aan elkaar te koppelen zijn, zowel 1D als 2D (als 3D).



Als ultieme toekomstbeeld kan worden gedacht aan een systeem (in bijv. DeltaShell), waarin alle beschikbare modellen opgenomen zijn en het mogelijk is om zelf je totale model samen te stellen en verschillende scenario's door te rekenen (zie Figuur 2.5).

Er zijn momenteel echter nog wel een paar kanttekeningen met betrekking tot de software. In het huidige D-HYDRO pakket heeft de 3D-hydrodynamica nog een bèta-status. Voordat hier officiële 3D-modellen voor RWS mee gemaakt kunnen worden, dient 3D-hydrodynamica nog uitvoerig getest te worden, alvorens dit in de standaard release wordt opgenomen. Daarnaast is de huidige 1D-functionaliteit opgenomen in de aparte module SOBEK 3, welke niet direct koppelbaar is met D-Flow FM (alleen de zogeheten laterale koppeling<sup>2</sup> is mogelijk). Binnen D-Flow FM is ook een 1D-component beschikbaar, maar deze heeft (nog) niet dezelfde functionaliteiten als SOBEK 3. Het is daarom wenselijk om hier tot aan 2020 op in te zetten, zodat het koppelen van 1D-modellen met meer-dimensionale modellen binnen D-HYDRO inderdaad tot de mogelijkheden gaat behoren.



Figuur 2.5 Mogelijk toekomstbeeld van een globaal systeem voor de aansturing van modellen.

#### 2.4.5 Knippen van modellen

Naast het koppelen van modellen om een groter gebied te kunnen modelleren, dient het ook mogelijk te zijn om juist in te zoomen op een bepaald deel, door een model af te knippen. Dit is in principe in de huidige vijfde-generatie modellen ook al mogelijk, door ofwel aanpassing van het rooster ofwel het sectiebestand in Baseline (en daardoor de zogeheten rekenroosterbegrenzing). De randvoorwaarden, die op de geknipte modellen worden opgelegd, worden dan bij voorkeur gegenereerd door het totale model (indien er geen (goede) metingen beschikbaar zijn). Bij de opzet van de basismodellen wordt uitgegaan van een landelijke database en de basismodellen worden gezien als geknipte modellen uit het landelijke model.

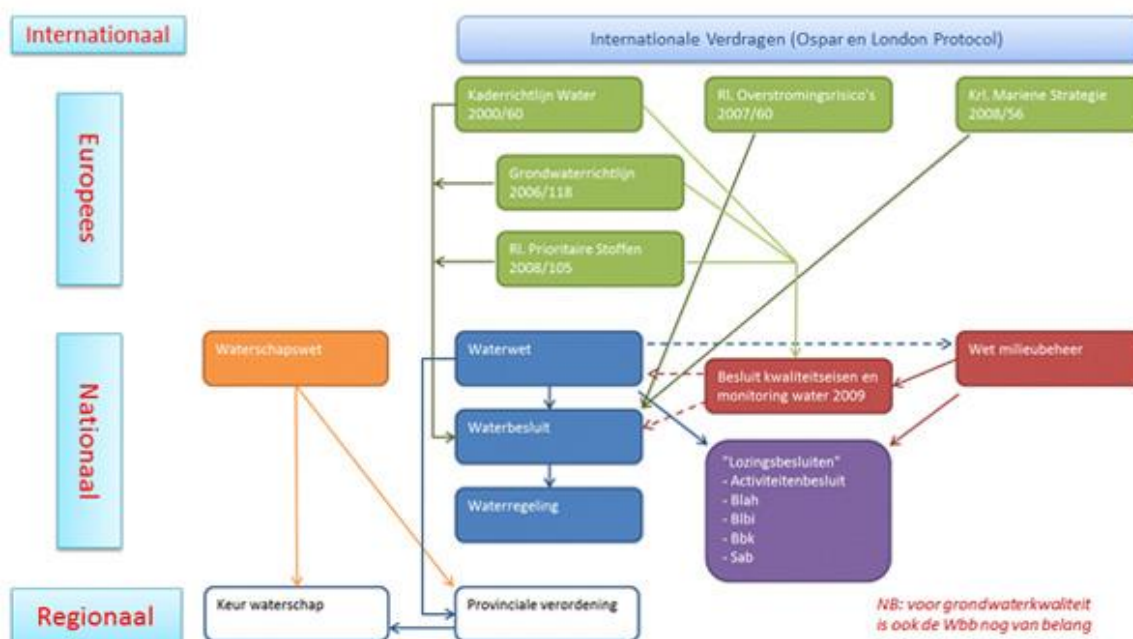
<sup>2</sup> Bij het koppelen van 1D en 2D modellen wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten koppeling:

- 1 Laterale koppeling: zijwaartse overstroming, bijv. 1D rivier met 2D overstromingsgebieden.
- 2 Longitudinale koppeling: globale modellering, bijv. 1D rivier die uitkomt in 2D estuarium
- 3 Embedded koppeling: poldermodellering, 1D kanalen ingebed in 2D rooster
- 4 Vertikale koppeling: riolering, 1D model onder 2D model.

Al deze verschillende koppelingen komen beschikbaar binnen D-Flow FM.

## 2.5 Wettelijke en bestuurlijke kaders

De modelschematisaties van RWS worden toegepast binnen allerlei wettelijke en bestuurlijke kaders (zie ook Figuur 2.6) en veranderingen in resultaten kunnen daarmee vergaande consequenties hebben. Hiermee dient rekening te worden gehouden bij de opzet van de zesde-generatie modellen. Algemeen geldt dat voor RWS consistentie en reproduceerbaarheid van belang zijn evenals het kunnen aantonen hoe tot de resultaten is gekomen en of/hoe er met verschillende zaken rekening is gehouden. Elk van de wettelijke kaders stelt uiteindelijk eisen aan de uitlegbaarheid van de resultaten en over de bandbreedte die binnen het model noodzakelijk is. Een overzicht en beschrijving van de wettelijke en bestuurlijke kaders die van toepassing zijn op de zesde-generatie modelschematisaties van RWS is gegeven in bijlage B.



Figuur 2.6 Overzicht van relevante regelgeving voor water (bron: [www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/handboek-water/wetgeving/schema](http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/handboek-water/wetgeving/schema))

## 3 Koppeling met andere modellen

### 3.1 Introductie

De eis aan de opzet van de zesde-generatie modellen voor de waterbeweging is dat deze voor zoveel mogelijk toepassingen geschikt dienen te zijn. Er dient daarom al bij ontwerp en opzet rekening te worden gehouden met de koppeling met andere modellen. In dit hoofdstuk wordt de relatie met de belangrijkste modellen en de eventuele voorwaarden die deze stellen aan de zesde-generatiemodellen voor de waterbeweging geadresseerd. Er kan hierbij grofweg een onderscheid worden gemaakt in:

- 1 modellen die met name gebruik maken van de modellen voor de waterbeweging (golven, morfologie en waterkwaliteit: paragraaf 3.2 t/m 3.4) en
- 2 modellen die toeleverend zijn aan de modellen voor de waterbeweging (paragraaf 3.5 t/m 3.10).

De voorwaarden aan de modellen voor de waterbeweging die volgen vanuit de koppeling met andere modellen worden zoveel mogelijk overgenomen in de technische specificaties in hoofdstuk 1.

### 3.2 Golven

Voor het bepalen van de hydraulische belasting zijn naast de waterstand ook de golven van groot belang. De golven worden berekend met golfmodellen. Hierbij wordt de waterstand (en eventueel stroomsnelheid) uit het waterbewegingsmodel als input voor golfmodellen gebruikt. Daarnaast kunnen golven zelf ook weer invloed hebben op de waterbeweging. De oploop van golven wordt berekend met oploopmodellen (zoals Riskeer of PC-verslag). Deze modellen worden gevoed door output van zowel waterstand- als golfmodellen.

#### 3.2.1 SWAN

In juli 2017 is een beta release van de D-HYDRO suite uitgebracht die een koppeling van D-Flow FM met golven (SWAN) voor 2D-toepassingen bevat. In november zal de 'echte' release uitgebracht worden. Deze module heet D-Waves. Hierin rekent het golfmodel alleen op basis van gestructureerde roosters (curvilineair). In D-Waves is een ruimtelijk generieke koppeling geïmplementeerd. Hierdoor kunnen bij 2D D-Flow FM modelschematisaties zowel driehoeken als curvilineaire roostercellen gekoppeld worden aan SWAN. In 2016 is een eerste D-Waves prototype voor de koppeling met 3D D-Flow FM modelschematisaties gemaakt. Momenteel is er echter geen projectvoorstel om dit verder te operationaliseren. Wel is hieronder een aantal aandachtspunten geïdentificeerd welke voor compatibiliteit van D-Flow FM modelschematisaties met SWAN modelschematisaties van belang zijn.

##### 3.2.1.1 Eénweg -vs. tweewegkoppeling

Grofweg zijn er twee types koppelingen mogelijk tussen waterbeweging en golven; een éénweg- en een tweewegkoppeling:

- Bij de éénwegkoppeling zijn de waterstanden en eventueel de stroomsnelheden uit de waterbeweging invoer voor het golfmodel, maar vindt er geen terugkoppeling plaats van de golfcondities naar de waterbeweging.
- Bij de tweewegkoppeling wordt de interactie tussen golven en stroming over en weer gemodelleerd door de waterstanden en stroomsnelheden uit de waterbeweging aan het golfmodel op te leggen en de golfcondities weer terug te leveren als input aan de waterbeweging (berekening van golfgeïnduceerde krachten).

In de huidige methodiek binnen het Wettelijk Beoordelings Instrumentarium (WBI) wordt alleen gebruik gemaakt van een éénwegkoppeling. Hierbij wordt ofwel gebruik gemaakt van de maximale waterstand uit een waterstandsberekening (o.a. IJsselmeer) ofwel wordt een constante waterstand opgelegd (o.a. Hollandsch Diep, Noordzeekust, Rijnakken en Maas). In beide gevallen wordt er geen stroming meegenomen.

Omdat de tweewegkoppeling nauwkeuriger en fysisch correcter is, is het aan te bevelen om hier op termijn op over te stappen. Ook voor rivieren geldt dat het wenselijk is om golfstromingsinteractie mee te nemen voor een betere golfmodellering. De tweewegkoppeling kost echter (aanzienlijk) meer rekentijd. Ook moet de WBI-methodiek worden aangepast bij overstap naar een tweewegkoppeling. Discussie hierover is momenteel gaande, maar het is erg onwaarschijnlijk dat dit voor de volgende WBI-ronde van 2023 geïmplementeerd gaat worden.

Voor slibmodellering (o.a. Markermeer) wordt op dit moment al gebruik gemaakt van tweewegkoppeling, omdat de terugkoppeling van de golven op de (3D-)waterbeweging cruciaal is voor een nauwkeurige modellering van slib. Hierin is ook de verticale verdeling en de precieze stroming belangrijk. Voor de zesde-generatie modellen is het dan ook noodzakelijk dat er zowel éénweg- als tweewegkoppeling kan plaatsvinden voor de gebieden waar slibmodellering plaatsvindt. Ook langs de kust kan tweewegkoppeling van belang zijn, aangezien hier golfgeïnduceerde opzet relevant is. De wens voor het gebruik van tweewegkoppeling zorgt echter niet voor additionele eisen aan de opzet van de zesde-generatie modellen.

### 3.2.1.2 *Interpolatie en droogval*

Bij zowel de éénweg- en tweewegkoppeling is er interpolatie noodzakelijk indien het rooster voor het waterbewegingsmodel en het golfmodel niet exact met elkaar overeenkomen. Dit kan tot ongewenste situaties leiden indien in het ene model een cel droogvalt, terwijl hier in het andere model nog wel wordt gerekend. Het zou daarom wenselijk zijn als de roosters voor de water- en golfbeweging zoveel mogelijk aan elkaar gelijk kunnen worden getrokken. Vanwege de verschillende fysica worden er echter andere eisen gesteld aan de roosterresolutie voor golfmodellen en waterbewegingsmodellen.

Voor golven is de meeste resolutie vereist daar waar de grootste gradiënten in de golfenergie plaatsvinden (bij platen en grote gradiënten in bodem). Voor de waterbeweging worden andere eisen gesteld (zie paragraaf 4.2). Het exact aan elkaar gelijktrekken van de roosters voor golven en waterbeweging is in de meeste gevallen niet wenselijk, omdat dan extra resolutie moet worden gehanteerd in gebieden waar dit niet noodzakelijk is en dit een te grote extra rekentijd met zich meebrengt. Het is ook niet noodzakelijk dit over het gehele domein te doen. In de buurt van de waterkeringen is het wenselijk geen droogvalproblematiek te hebben en de roosters in beide modellen vergelijkbaar te kiezen, omdat hier de meeste uitvoerlocaties gedefinieerd zijn waar de problemen met interpolatie relevant zijn.

Aanbeveling voor de zesde-generatie waterbewegingsmodellen is dus om de roosterdekking en resolutie nabij de keringen (uitvoerlocaties) vergelijkbaar te maken aan het rooster voor de golfmodellen om zo interpolatieproblemen zoveel mogelijk te voorkomen, zolang dit geen onevenredig grote consequenties heeft op o.a. de rekentijd.

### 3.2.1.3 *Consistente formuleringen*

Het is van belang dat er consistente fysica wordt gebruikt in de waterbewegings-, meteorologische en de golfmodellen o.a. met betrekking tot de winddrag formuleringen en coëfficiënten. Hiervoor is begin 2017 een groot maatwerkonderzoek gestart bij het KNMI in opdracht van DG Ruimte en Water (DGRW). Hierin zit ook een onderdeel opgenomen voor de koppeling tussen waterbeweging en wind (atmosfeer en water), zie ook paragraaf 3.5. Dit onderzoek is echter niet op korte termijn afgerond en de resultaten kunnen dus niet direct worden meegenomen in de opzet van de zesde-generatie modellen voor de waterbeweging. We bevelen wel aan om gesteld te staan voor implementatie van uitkomsten van het hierboven genoemde onderzoek. Daarnaast dienen er consistente keuzes worden gemaakt voor de bodemwrijving in de waterbewegings- en golfmodellen, zodat er een zo klein mogelijke bias in de modelketen wordt geïntroduceerd.

### 3.2.1.4 *Baseline*

Voor een consistente koppeling van waterbeweging en golven is het ook noodzakelijk dat de modellen zijn gebaseerd op dezelfde onderliggende geometrie. Voor de vijfde-generatie modellen is dit mogelijk gemaakt doordat met behulp van Bas2SWAN de bodem- en obstakelbestanden voor de golfmodellen kunnen worden afgeleid uit dezelfde database met geo-informatie (Baseline) als degene die wordt gebruikt voor het opzetten van het waterbewegingsmodel. Voor de zesde-generatie wordt er voor gezorgd dat dezelfde procedure kan worden gevolgd (zie ook paragraaf 3.8).

### 3.2.1.5 *UNSWAN*

In de 'Pilot-applicatie Meren' van 2016 is als aanbeveling opgenomen om in de toekomst ook UNSWAN te gebruiken, omdat dit het gebruik van ongestructureerde roosters in de golvenmodule mogelijk maakt.

*Wat is de huidige stand van zaken m.b.t. UNSWAN?*

- Sinds 2010 loopt er een discussie tussen de TU Delft en Deltares over de 'kwaliteit' van de UNSWAN-modelresultaten. Momenteel wordt er gewerkt aan een project om UNSWAN nader te beoordelen. Dit jaar komt er een advies ten aanzien van de gehanteerde numerieke procedures in UNSWAN. Naar verwachting wordt dit eind 2017 of in 2018 geïmplementeerd.
- Er is nog geen softwaretechnische koppeling tussen D-Flow FM en UNSWAN. Hier is enkele jaren geleden mee gestart, maar dit is niet afgerond. Er ligt ook geen projectplan om dit weer op te pakken.
- Verder kan UNSWAN alleen driehoeken aan en bijvoorbeeld niet de combinatie van curvilineaire roostercellen en driehoeken. Dit laatste lijkt een belangrijke eis voor zesde generatiemodellering, maar is geen showstopper, omdat er ook geïnterpoleerd kan worden tussen verschillende roosters, en heeft daarom een lage prioriteit.

Het voorgaande maakt duidelijk dat het in de komende jaren nog geen optie is om UNSWAN te gebruiken bij de zesde-generatie modellering. Daarom staat nu al vast dat de zesde-generatiemodellen in eerste instantie gebruik zullen maken van een koppeling met SWAN, via de D-Waves module van de D-HYDRO software.

### 3.2.2 Bretschneider

Op de bovenrivieren en de nieuwe buitenwaarden (Veluwerandmeren, Grevelingen, Volkerak-Zoommeer en Hollandsche IJssel) wordt op dit moment nog geen gebruik gemaakt van 2D-golfmodellen (SWAN), maar wordt voor het effect van wind op golven gebruik gemaakt van de simpelere Bretschneider aanpak op basis van strijklengte. Hierbij wordt de golfoploop bepaald op basis van het beschikbare vrije wateroppervlak. Voor verschillende waterschappen is echter al gekeken of het ook mogelijk is om SWAN toe te passen tijdens de 'Toets op maat' in het WBI-beoordelingsproces, om bijvoorbeeld het effect van stroming te verdisconteren. Op de kennisagenda van DGRW is dan ook geagendeerd om te kijken of het in de toekomst mogelijk is om SWAN ook op de smalle wateren in te zetten. Aangezien nu nog niet duidelijk of en hoe dit consequenties heeft voor de hydrodynamische modellen, wordt hier op dit moment niet apart rekening mee gehouden in de opzet van de zesde generatie modellen.

### 3.2.3 Samenvatting voorwaarden voor de koppeling met golven

Hieronder volgt puntsgewijs een samenvatting van de voorwaarden aan de zesde-generatie modellen voor de waterbeweging voor de koppeling met golven:

- In eerste instantie wordt bij de ontwikkeling van de zesde-generatie modellen voor de waterbeweging uitgegaan van een koppeling met D-Waves op basis van gestructureerde roosters (curvilineair).
- Voor toepassing binnen WBI2023 kan worden uitgegaan van enkel een éénwegkoppeling.
- Er moet tweewegkoppeling kunnen plaatsvinden voor die gebieden waar slibmodellering plaatsvindt en langs de kust, waar golfgeïnduceerde opzet van belang is.
- Roosterdekking en resolutie nabij de keringen (uitvoerlocaties) vergelijkbaar maken aan het rooster voor de golfmodellen om zo interpolatieproblemen zoveel mogelijk te voorkomen, zolang dit geen onevenredig grote consequenties heeft op o.a. de rekentijd.
- Zoveel mogelijk gebruik maken van consistente fysica in waterbewegings-, meteorologische en golfmodellen.
- Afleiding golfmodellen vindt plaats met behulp van Bas2SWAN op basis van Baseline 6.

## 3.3 Morfologie

In juli 2017 is een beta release van de D-HYDRO suite uitgebracht die een koppeling van D-Flow FM met morfologie voor 2D-toepassingen bevat. In november zal de 'echte' release uitgebracht worden. Deze module heet D-Morphology.

Bij het opzetten van de zesde-generatie modelschematisaties voor de waterbeweging wordt er zoveel mogelijk rekening mee gehouden dat de modellen in de toekomst kunnen worden uitgebreid om ook morfologie door te kunnen rekenen. Dit houdt in dat bij voorkeur aan de volgende eisen wordt voldaan die noodzakelijk zijn voor de goede uitvoering van morfologische berekeningen:

- Rooster uitlijnen met belangrijke stroombanen voor transport van sediment (zomerbed rivier, geulen). Dit is belangrijker dan de gladheid van het rooster loodrecht op de stroming en ook belangrijker dan de uitlijning van het rooster aan de gesloten rand bij de winterdijk. Trapjeslijnen moeten zoveel mogelijk voorkomen worden in het zomerbed maar bij relatief ondiepe delen naast de winterdijk is volledig uitlijnen van het rooster met de winterdijk niet altijd noodzakelijk. Speciale aandacht voor omgang met dynamische geulen.

- Fysisch realistische bodemruwheid (o.a. gladde overgangen). De bodemschuifspanning moet goed worden berekend.
- Nauwkeurige bathymetrie (geen onrealistische sprongen).
- Correcte verdeling van afvoer en stroomsnelheden, exacte waterstanden zijn minder van belang.
- Correcte weergave van residuele stromingen.
- Bodemhoogtediscretisatie in centerpunten van het rooster
- Secundaire (spiraal)stroming moet geactiveerd zijn en correct werken in 2D modellen.
- Model ook voldoende nauwkeurig voor lage waterstanden (o.a. in intergetijdengebied).
- Debieten niet daggemiddeld maar per 10 minuten of per uur.
- Voor de laagverdeling in 3D een logaritmisches profiel met grootste resolutie vlakbij de bodem (met name voor zand-morfologie).
- Morfologie werkt het beste met sigma-verdeling in 3D.

In de nieuwe Baseline 6 software wordt het ook mogelijk om morfologische informatie toe te voegen (zie ook paragraaf 3.8). Deze informatie kan dan automatisch worden omgezet naar modelinvoer voor morfologische modellen en kan ook in Baseline met de andere georiënteerde data worden beheerd.

### 3.4 Waterkwaliteit

Binnen de D-HYDRO suite is het ook mogelijk om waterkwaliteit door te rekenen via de module D-Water Quality (D-WAQ). Deze module is een opvolger van Delft3D-WAQ.

Bij het opzetten van de zesde-generatie modelschematisaties voor de waterbeweging wordt er zoveel mogelijk rekening mee gehouden dat de modellen in de toekomst kunnen worden uitgebreid om ook waterkwaliteit door te kunnen rekenen. Dit houdt in dat aan de volgende eisen wordt voldaan die noodzakelijk zijn voor de goede uitvoering van waterkwaliteitsberekeningen:

- Transport: Watertransport is zeer van belang in verband met de ruimtelijke verdeling en verplaatsing van de opgeloste stoffen. Over het algemeen is transport van meer belang voor waterkwaliteit dan waterhoogte. Goede indicatoren voor watertransport zijn zout en in mindere mate ook temperatuur.
- Verticale menging: De verticale menging is van groot belang voor de primaire productie. Dit houdt in dat de stratificatie (zout/temperatuur) goed moet worden weergegeven en ook de menging door wind en golven. Dit vereist voldoende resolutie in 3D, en een verticale resolutie die is afgestemd op de diepte van de spronglaag.
- Verticale resolutie: In diepe wateren vinden de meeste biologische processen aan het oppervlak dan wel aan de bodem plaats. Hiermee kan rekening worden gehouden bij de keuze van de verticale resolutie.
- Droogval: Droogvallen is van belang voor intertidale gemeenschappen op schorren, slikken, en moerassen. De keuzes voor grenswaarden en minimale waterlagen moeten dus niet enkel gebaseerd worden op numerieke zaken, maar hierbij dient ook rekening te worden gehouden met biologische aspecten. Een 'best-practice' hiervoor bestaat (nog) niet, maar de keuzes zouden in elk geval moeten worden besproken met waterkwaliteitsmodellereurs.

- Randen, rivieren en eventuele andere lozings-debieten: Debieten zijn belangrijk omdat hiermee stoffen in het systeem kunnen worden geloosd. De temporele resolutie van de debieten moet afgestemd zijn op de dynamiek in het systeem. NB: Hoewel sommige rivieren niet relevant zijn in termen van hun debiet, kunnen de stofconcentraties in het geloosde water in deze rivieren zo hoog zijn, dat ze wel relevant zijn voor de waterkwaliteit. Hoewel het niet per se nodig is om dergelijke rivieren mee te nemen in de waterbeweging, heeft dit wel voordelen met betrekking tot de workflow en consistentie van de D-WAQ modellen.
- Tijd-resolutie: Over het algemeen is er voor waterbeweging een hogere temporele resolutie nodig dan voor waterkwaliteit, dus hoeft daar geen specifieke rekening mee gehouden te worden. Wel is het voor stoftransport wenselijk dat er een volledige cyclus (dag-nacht/springtij-doodtij/jaarcyclus) beschikbaar is.
- Plaats-resolutie: Over het algemeen is er voor waterbeweging een hogere plaatsresolutie nodig dan voor waterkwaliteit. Daarom moeten de modelresultaten voor de waterbeweging geaggregeerd kunnen worden naar een grovere plaats-resolutie voor de waterkwaliteit.
- Waterbalans: aangezien het bij waterkwaliteitsberekeningen vaak gaat om langlopende berekeningen, is het vrijwel altijd noodzakelijk om een goede waterbalans op te stellen.

Voor waterkwaliteit is het in veel gevallen noodzakelijk om 3D-modellering toe te passen. In het huidige D-HYDRO pakket heeft de 3D-hydrodynamica echter nog een bèta-status. Voordat hier officiële modellen voor RWS mee gemaakt kunnen worden, dient dit in de standaard release te zijn opgenomen. Het is daarom wenselijk om hier in de komende tijd op in te zetten, zodat het gebruik van 3D-modellering binnen D-HYDRO inderdaad tot de mogelijkheden gaat behoren.

### 3.5 Meteorologie

In bepaalde gebieden is de forcering door wind een belangrijke drijvende factor voor de waterbeweging. Afhankelijk van de toepassing kunnen hier echter verschillende modellen of metingen voor worden gebruikt.

Voorbeelden hiervan zijn:

- tijdreeksen
- HIRLAM
- HARMONIE
- ECMWF (bijvoorbeeld HRES, EPS of ERA-Interim)

Het is van belang om bij de opzet van het model te achterhalen welk type forcering er gebruikt wordt binnen de verschillende toepassingen en of direct gebruik wordt gemaakt van de windstress of van windsnelheden. Het is namelijk van belang dat er consistente fysica wordt gebruikt in de waterbewegingsmodellen en de weermodellen (als ook de golfmodellen, zie paragraaf 0). Er worden bijvoorbeeld verschillende coëfficiënten gebruikt voor de modellering boven zee en meren van de meteorologie. Het kan ook voorkomen dat het hydrodynamische model met verschillende windforceringen moet kunnen werken. Hiervoor moeten dan verschillende parametersets worden gedefinieerd tijdens de opzet van het model.

Ook voor de aansturing van het heat-flux model en de opzetrandvoorwaarden op zee wordt gebruik gemaakt van meteorologische modellen.



### 3.6 Globale modellen

Voor het genereren van randvoorwaarden, voor met name de Noordzee, wordt ook gebruik gemaakt van globale modellen:

- globale getijmodellen voor getijrandvoorwaarden
- globale transportmodellen voor zout- en temperatuurrandvoorwaarden

### 3.7 Data-assimilatie

Naast het gebruik voor de kalibratie van numerieke modellen kan de OpenDA-software ook gebruikt worden voor data-assimilatie (o.a. Ensemble Kalman Filtering (EnKF)). Hiervoor is ook een interface beschikbaar voor D-Flow FM. Binnen de opzet en ontwikkeling van het zesde-generatie model van de Noordzee wordt er specifiek een model opgezet dat gebruik maakt van een Steady State Kalman Filter. Voor de overige gebieden zijn hiervoor geen wensen vanuit RWS naar voren gebracht. Alleen binnen RWSOS-Rivieren wordt ook Kalman-Filtering toegepast, maar dan op de 1D-riviermodellen. De modellen worden hier echter niet speciaal op afgeregeld.

### 3.8 Baseline 6

De geometrische informatie van het beheergebied van RWS wordt opgeslagen in ArcGIS geo-databases met behulp van het programma Baseline. De overstap naar de zesde-generatie modellen is ook het moment om deze software nog eens onder de loep te nemen en gewenste verbeteringen door te voeren. Dit wordt uitgevoerd in het parallelle traject voor de ontwikkeling van Baseline 6 (binnen het project KPP Hydraulica Programmatuur).

De belangrijkste veranderingen zijn:

- Versimpeling van de database (minder informatielagen)
- Minder afgeleide bestanden (dus minder dubbele informatie)
- Breuklijnen niet meer als routes + events
- Bandijken opnemen in het hoogtemodel
- *Bruggen als aparte features i.p.v. via de bodemruwheid (voorstel)*<sup>3</sup>
- *Dimensies kunstwerken opnemen (voorstel)*
- Toevoegen SOBEK-specifieke informatie
- Toevoegen morfologische informatie
- Versnelling van verwerkingsacties (o.a. mixen, conversie)
- Mogelijkheid tot projectie naar andere coördinatenstelsels
- Mogelijkheid tot het wegschrijven naar meerdere bestanden (bijv. uitvoerlocaties)

Hierbij moet het wel mogelijk zijn om bestaande Baseline 5-maatregelen (middels conversie) te kunnen behouden. Ook de conversie naar input voor SWAN-modellen moet beschikbaar blijven.

Een specifieke eis voor de zesde-generatie modelschematisaties is dat de onderliggende geo-informatie voor alle gebieden in Baseline 6 beschikbaar moet zijn en via automatische conversie naar input voor D-Flow FM moet kunnen worden omgezet (via Bas2FM). Op deze manier wordt gegarandeerd dat de modelinput reproduceerbaar is. Hierbij wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van een landelijke database voor heel Nederland (BaselineNL).

<sup>3</sup> *Bruggen worden een apart lijnelement, met als doel om de ruwheid van pijlers mee te nemen, dus niet de ruwheid van brugdekken bijvoorbeeld.*

### 3.9 Regionale modellen

Er zal rekening gehouden moeten worden met de toekomstige koppeling van zesde generatie modellen met de kanaalmodellen van RWS en de modellen van de waterschappen (vooral in 1D). In het kader van het Landelijk Sobek Model (LSM), wordt hier al aandacht aan gegeven. Hierbij moet gedacht worden aan de locatie van de punten waarop de modellen zullen gaan aantakken of uitwisselen en eventuele kunstwerken op de grensvlakken tussen de modellen. De benodigde informatie zal worden opgenomen in de overkoepelende Baseline boom van heel Nederland (BaselineNL) en zo via automatische conversie ook in de modellen terecht komen.

### 3.10 Buitenlandse modellen

Water houdt geen rekening met landsgrenzen. De hydrodynamische modellen van RWS moeten daarom gekoppeld kunnen worden aan buitenlandse modellen of bevatten in veel gevallen zelfs een deel van over de landsgrenzen.

Voorbeelden waarbij dit speelt zijn:

- Rijn (Rhein)
- Maas (Meuse)
- Vecht (Vechte)
- Eems (Ems)
- Schelde
- Continentaal plat

Een aandachtspunt is hier onder andere de geo-referentie van schematisaties (zie ook Baseline 6, paragraaf 3.8). In Nederland wordt veelal gebruik gemaakt van Rijksdriehoekskoördinaten (RD) en het Normaal Amsterdams Peil (NAP), terwijl in de ons omringende landen andere coördinatenstelsels en referentievlakken worden gebruikt. Ook op zee zijn, buiten een smalle kustzone, deze horizontale en verticale coördinatenstelsels niet geldig.

Bij de samenwerking met buitenlandse partners geldt dat het noodzakelijk is om een koppeling tussen de modellen te kunnen bewerkstelligen, maar je kunt niet (zomaar) dezelfde werkwijze opleggen. Hier moet zoveel mogelijk rekening mee worden gehouden bij de opzet van de zesde-generatie modellen.

## 4 Technische specificaties

### 4.1 Algemeen

Naast de eisen en wensen aan het conceptueel ontwerp (beschreven in hoofdstuk 2) zijn er verschillende technische aandachtspunten die geadresseerd moeten worden. Deze zijn gemakshalve gegroepeerd als volgt:

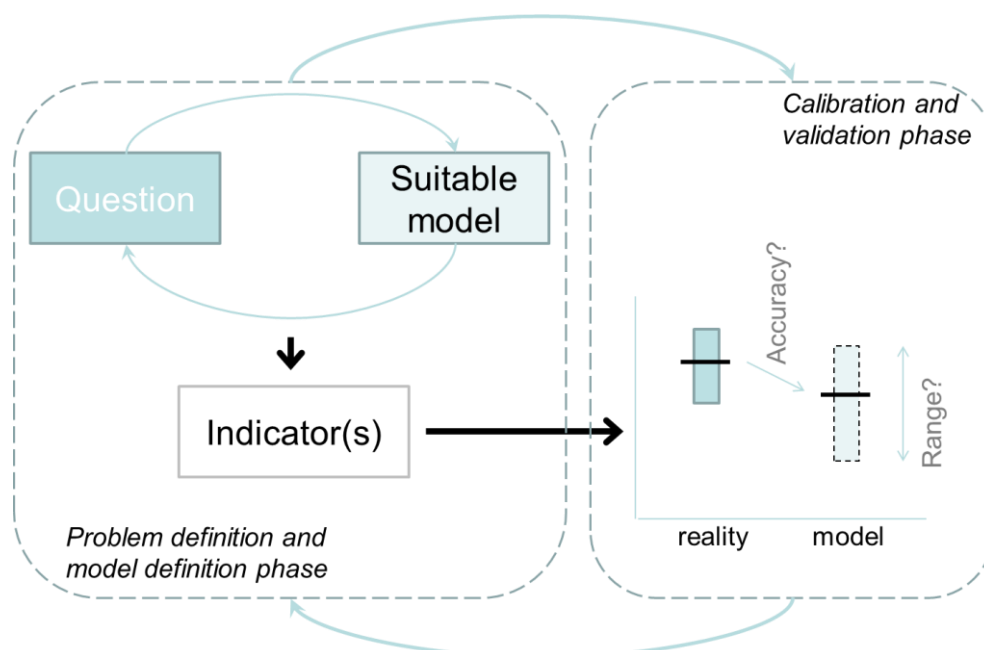
- Roostergeneratie;
- Numerieke aspecten;
- Kunstwerken en overlaten;
- Relevante processen
- Overige aspecten.

Voor het opzetten van de zesde-generatie modelschematisaties moet er ook aandacht zijn voor “Good Modelling Practice”. Het handboek Good Modelling Practice (STOWA, 1999) is door Nederlandse partners opgezet. Het handboek is in het Engels gepubliceerd voor internationaal gebruik (o.a. door US EPA).

In Bijlage D wordt een beschrijving gegeven (in het Engels) over hoe Deltares aansluit bij de richtlijnen t.b.v. Good Modelling Practice (GMP). In deze bijlage is te zien dat GMP onderverdeeld kan worden in drie fases voor een studie die gebruik gaat maken van simulatiemodellen. Deze fases zijn:

1. Probleemdefinitie en modeldefinitie
2. Kalibratie- en validatiefase
3. Scenario's

Figuur 4.1 geeft een schematische weergave van de eerste twee fases in een studie volgens GMP.



Figuur 4.1 Schematische weergave van de eerste twee fases in een studie volgens GMP

## 4.2 Roostergeneratie

Het rekenrooster is het fundament van het model en is zeer bepalend voor de nauwkeurigheid de rekentijd van een model. De inspanning die bij de roostergeneratie wordt besteed om een zo optimaal mogelijke verhouding van nauwkeurigheid versus rekentijd te verkrijgen zal zich terugbetalen in alle simulaties die vervolgens met het model gemaakt worden. Daarom dient het rooster met veel zorg te worden opgesteld. In bijlage F wordt in meer detail ingegaan op verschillende aspecten die bij de roostergeneratie een rol spelen. Hieronder volgt een samenvatting van de algemene eisen (en wensen) die aan het rooster worden gesteld:

- Het rooster dekt minimaal het beheergebied van RWS.
- Indien het voor het verkrijgen van goede begincondities en resultaten noodzakelijk is om een groter gebied te bestrijken dan wordt het gebied uitgebreid.
- Bij het opstellen van het rooster wordt rekening gehouden met de actuele situatie, de situaties tijdens kalibratie en validatie en met de informatie van reeds bekende toekomstige gebiedsontwikkelingen.
- Belangrijke stroombepalende elementen dienen op roosterlijnen te kunnen worden geschematiseerd.
- Het rekenrooster bevat voldoende resolutie in de interessegebieden.
- Het rooster moet uitgelijnd worden met de kunstwerken (bij voorkeur ook bruggen). Het is belangrijk om de stromingsrichting door de openingen van de keringen de juiste roosteroriëntatie te geven. Bij voorkeur wordt er één roostercel per opening gebruikt, tenzij dit onevenredig veel invloed op de minimale rekentijdstep heeft. Bij de locatie van het kunstwerk gaat het om de bewegende delen zoals sluisdeuren en stuwbogen.
- Kleine roostercellen in combinatie met hoge stroomsnelheden moeten zo veel mogelijk vermeden worden vanwege de tijdstapbeperking door de expliciete afhandeling van advection. Dit vereist specifieke aandacht bij de modellering van bijvoorbeeld kunstwerken (zie ook vorige punt), kleinere stroomgeulen en drempels en overlaten.
- De orthogonaliteit van het rooster moet een waarde hebben die in het interessegebied kleiner is dan 0.02, wat overeenkomt met een hoek die maximaal 2 graden afwijkt van 90 graden.
- De aspect ratio van het rooster moet zo veel mogelijk gelijk aan 1.0 zijn en het liefst niet groter dan 2.0 tot 5.0. Dit hangt sterk van de toepassing af. Bij rechte kanalen lijkt een factor vijf haalbaar, terwijl in bochtige rivieren een lage aspect ratio de voorkeur verdient.
- Aan de gladheid (smoothness) worden geen stringente eisen gesteld, omdat bijvoorbeeld een twee bij twee roosterverfijning niet mogelijk zou zijn. Dit laatste is juist een van de meerwaarden bij de zesde-generatie modellering (Kernkamp, 2017). Dit neemt niet weg dat in de praktijk geprobeerd moet worden om roosterovergangen zo geleidelijk mogelijk te laten verlopen.
- Er is een sterke wens om de rekenroosters indien nodig automatisch te kunnen verfijnen. Waar mogelijk moet met deze wens rekening gehouden worden, maar niet ten koste van andere eisen.
- Daarnaast moet zoveel mogelijk hetzelfde rooster kunnen worden gebruikt voor zowel het modelleren van waterstanden, morfologie, waterkwaliteit en golven, zolang dit geen nadelige consequenties heeft op andere aspecten.

### 4.2.1 Algemene opzet

Bij de opzet van het rooster wordt gebruik gemaakt van polygonen. Voor zeeën, kusten en meren worden deze polygonen gebruikt om de overgang naar een fijnere of grovere resolutie te definiëren.

De ligging van de polygonen wordt hier bepaald op basis van:

- Isobaths (lijnen met gelijke diepte): in diepere delen kan een grovere resolutie worden gebruikt, of
- Afstand uit de kust: dichterbij de kust wordt een fijnere resolutie gebruikt.
- Variabiliteit in de waterdiepte: bij veel variabiliteit wordt een hogere resolutie gebruikt.

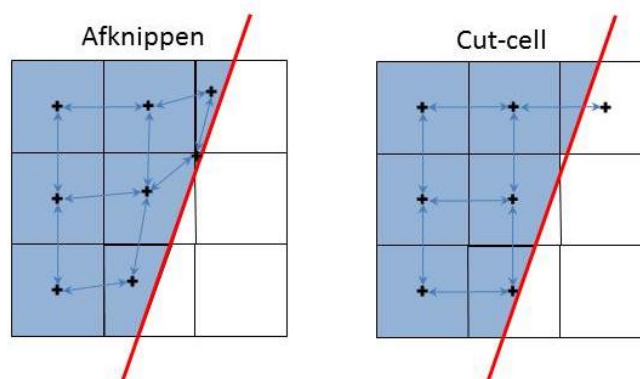
Voor ondiepe meren is de eerste optie namelijk niet erg nuttig, aangezien de diepte in het hele meer ongeveer overal gelijk kan zijn en in het midden van het meer toch een grovere resolutie gebruikt kan worden.

In rivieren wordt een multiblok aanpak gebruikt. Hierbij wordt eerst een rooster voor het zomerbed gemaakt. Vervolgens worden de overige gebieden opgedeeld in blokken, waarbinnen roosters worden gegenereerd die onderling op elkaar aansluiten. Het is nuttig bij de roosteropzet gebruik te maken van debietlijnen. Dit geeft eenvoudig inzicht in locaties waar de hoge roosternauwkeurigheid gewenst is en waar dit gerelaxed kan worden.

#### 4.2.2 Afhandeling van gesloten randen

Er zijn verschillende manieren om met de randen van het rooster om te gaan:

- 1 Boundary-fitted: het rooster wordt volledig uitgelijnd met de randen van het model. Dit is de beste oplossing, maar kan onevenredig veel tijd kosten voor de roostergeneratie en een negatief effect op de kwaliteit van het volledige rooster.
- 2 Land-water masker: afhankelijk van welk percentage van een cel nat is, wordt deze wel of niet meegenomen. Normaalgesproken wordt hier de scheiding gelegd bij 50%. Deze werkwijze kan echter resulteren in zogeheten 'trapjeslijnen', die een ongewenste invloed kunnen hebben op het stromingspatroon.
- 3 Afknippen rooster: het rooster wordt afgeknipt op de rand. Op deze manier kunnen er echter roostercellen ontstaan die niet voldoen aan de eisen voor een goed rooster (o.a. orthogonaliteit en smoothness) en daardoor een negatieve invloed hebben op de resultaten (zie Figuur 4.2 – links).
- 4 Cut-cell-techniek: alleen de volumes van de roostercellen en de doorstroomoppervlakken worden aangepast. Verder worden cellen die kleiner zijn dan een vooraf opgegeven waarde niet meegenomen (zie Figuur 4.2 – rechts). Op deze manier wordt wel het correcte volume meegenomen van de cel, maar zijn er geen problemen met orthogonaliteit<sup>4</sup>.



Figuur 4.2 Verschil tussen afknippen van het rooster (links) en het gebruik van de cut-cell techniek (rechts)

<sup>4</sup> Dit is een simpele versie van de cut-cell techniek. Alleen de continuïteitsvergelijking wordt correct aangepast. Om de stroming volledig correct weer te geven zijn echter ook aanpassingen aan de momentumvergelijking noodzakelijk.

In meren worden alleen driehoeken gebruikt voor het rooster en daardoor is het relatief makkelijk om een boundary-fitted rooster te genereren. Voor de Noordzee wordt gebruik gemaakt van een land-water masker. De resulterende trapjeslijnen zijn voor waterstanden van minder invloed. Daarnaast speelt dit minder bij een toenemende horizontale resolutie, zeker als het ook nog om ondiepe gebieden gaat met veel dissipatie en lage stroomsnelheden. Voor rivieren wordt onderzocht of de cut-cell techniek kan worden ingezet langs specifieke randen van het model. Hierdoor wordt het namelijk relatief makkelijk om om te gaan met eventuele veranderingen in de locatie van de randen.

#### 4.2.3 1D-2D-koppelingen

Naast een volledig 2D-rooster kan er ook gebruik gemaakt worden van een zogeheten 1D-2D-koppeling binnen de modellen (zie ook voetnoot in paragraaf 2.4.4). Een embedded koppeling kan worden gebruikt om kleine waterlopen die niet goed in het rooster passen, maar wel cruciaal zijn voor de werking van het systeem, mee te nemen. De longitudinale koppeling kan worden toegepast om eventuele beken en zijrivieren toe te voegen, zodat randvoorwaarden beter kunnen worden opgelegd. Op dit moment is hier echter nog maar beperkte functionaliteit voor beschikbaar binnen de D-HYDRO Suite, maar hier vindt nu volop ontwikkeling in plaats.

### 4.3 Numerieke aspecten

Er zijn verschillende (numerieke) parameters die gekozen kunnen worden. Vanuit Deltares is er een lijst beschikbaar met de standaardinstellingen die worden aangeraden. Zie voor de volledige lijst Bijlage C. Deze instellingen worden zo veel mogelijk aangehouden voor de op te zetten modelschematisaties voor RWS. Op een aantal belangrijke parameters wordt in deze paragraaf nog verder ingegaan.

#### 4.3.1 Tijdstap

In D-Flow FM wordt de berekening van de advectieterm expliciet uitgevoerd. Dit introduceert een beperking van de rekentijdstap die automatisch wordt ingesteld op basis van het Courant criterium. De modelleur heeft de mogelijkheid om aanpassingen te doen aan de instellingen van de maximale rekentijdstap (DTMAX) en het maximaal toelaatbare Courant criterium (CFLMAX)<sup>5</sup>. Voor een expliciet rekenschema mag het Courantgetal nooit groter dan 1 worden, anders wordt het schema instabiel met grote onnauwkeurigheden tot gevolg. Omdat er in de praktijk meestal veel dynamiek en variabiliteit is in modelberekeningen, wordt een waarde onder de 1 toegepast. Voor D-Flow FM modelschematisaties wordt een Courantgetal waarde van 0,7 bij 2D-toepassingen geadviseerd. Dit is ook de defaultwaarde.

Daarnaast wordt ervoor gezorgd dat 'flooding and drying' met maximaal één cel per tijdstap plaatsvindt. Dit is vrijwel altijd van toepassing bij hydrodynamische software, zo ook bij Simona en Delft3D 4. We merken op dat dit ook voor vlakke gebieden, zoals polders, geldt. Daarom wordt het aanbevolen om simulaties te beginnen in 'natte' toestand; dat wil zeggen met waterdieptes groter dan de droogvaldrempel. Dan treedt het probleem niet op dat per tijdstap maar één extra roostercel nat kan worden. Bij D-Flow FM is de standaardinstelling van de droogvaldrempel overigens 0,0001 m; zie Bijlage C.

In gebieden met hogere snelheden (bijv. riviermodellen) is de automatische tijdstapbepaling meestal voldoende. Voor andere gebieden kan het nodig zijn de tijdstap te beperken door een bovengrens in te stellen. Dit hangt ook samen met de tijdschalen van de processen die door het model moeten kunnen worden weergegeven.

---

<sup>5</sup> Dit geldt alleen bij de initiële opzet van het model. Daarna mogen deze waarden niet meer gewijzigd worden.

Tot nu toe is hier echter in de pilot-applicaties en de eerste zesde-generatie modellen nog geen noodzaak voor gevonden. Verder is het altijd zaak om een convergentieonderzoek te doen naar de tijdstap, door handmatig de maximale tijdstap te verkleinen, totdat de resultaten niet meer significant veranderen.

#### 4.3.2 Projectie van de bodem

Een belangrijk onderdeel van het model betreft de schematisatie van de bodemhoogte in het model. D-HYDRO werkt met bodemhoogtes en niet met bodemdieptes, zoals in Delft3D 4. In Simona kan de oriëntatie opgegeven worden (default is positieve downwards). D-HYDRO werkt met bodemhoogtes en dus met een 'positive upward' oriëntatie.

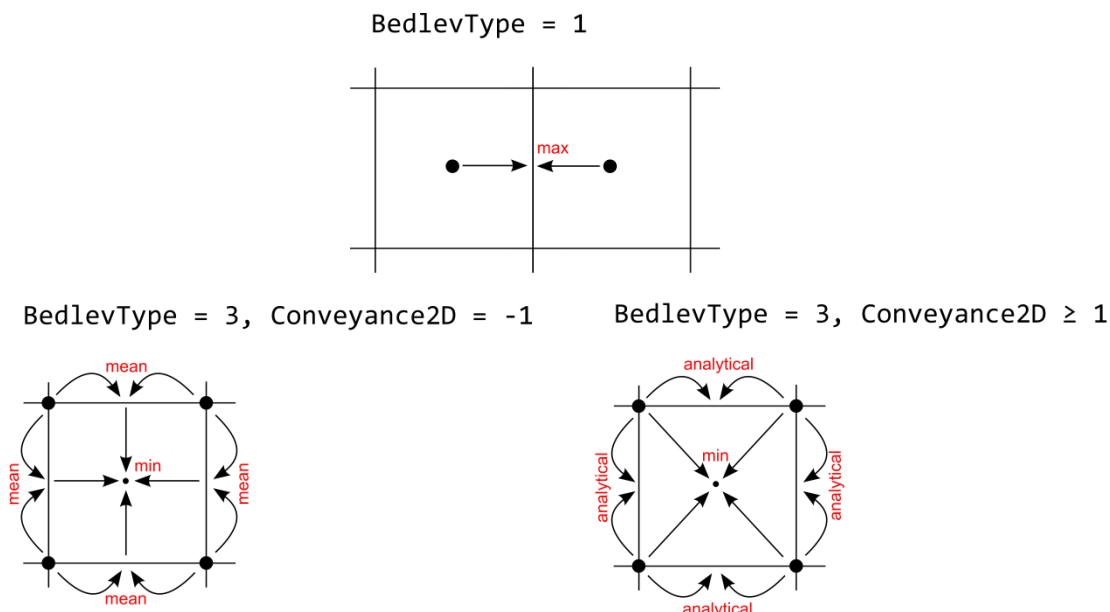
Er zijn verschillende parameters die hierbij een rol spelen:

- Middelingstype: Hoe worden de gridonafhankelijke samples met een hoge resolutie geprojecteerd op het rekenrooster? Hier wordt onderscheid gemaakt in:
  - Gemiddelde
  - Dichtstbijzijnde
  - Diepste punt
- Bedleveltype: Waar wordt de bodemhoogte geprojecteerd op het rekenrooster? Hier wordt onderscheid gemaakt in:
  - Bodemhoogte in grid celmidden (BedlevType=1)
  - Bodemhoogte in hoekpunten (BedlevType=3)
- Conveyance: Hoe wordt het doorstroomoppervlak berekend op de edges? Binnen de bodemhoogte discretisatie op hoekpunten wordt hier onderscheid gemaakt in:
  - Gemiddelde van de hoekpunten
  - Analytische doorstroming met uniforme stroomsnelheid
  - Analytische doorstroming met stroomsnelheid op basis van de analytische waterdiepte

In D-HYDRO zijn diverse instellingen mogelijk voor de locatie van de bodemhoogtes (zie de BedlevTypes in Figuur 4.3). Voor toepassing van morfologie is alleen voor 'bodemhoogtes in grid cellen' een volledige en gevalideerde implementatie van de morfologie beschikbaar. Deze aanpak is overgenomen uit Delft3D. Voor hydrodynamische modelschematisaties zijn beide aanpakken (BedlevType=1 of 3) mogelijk. De verschillen in resultaten zijn voor rivieren niet erg groot voor de verschillende opties en zijn weg te kalibreren. De ervaring bij zeeën en kusten is dat de verschillen groter zijn (met name vanwege de grovere resolutie) en daarom is besloten om bij zesde-generatie hydrodynamische modellen gebruik te maken van een discretisatie van de *bodemhoogte in hoekpunten (BedlevType=3)*. Voor morfologie is deze optie niet mogelijk. Daarom staat in Bijlage G beschreven hoe uitgaande van een hydrodynamisch model met de bodemhoogte op hoekpunten een morfologiemodel kan worden afgeleid.

Aangezien voor de meeste modellen (behalve op dit moment voor een groot deel van de Noordzee) de bodem al rechtstreeks vanuit Baseline op de hoekpunten van het rooster wordt gegenereerd (en niet via sample-files wordt aangemaakt) is het middelingstype nu niet meer van belang. In Baseline wordt daarbij de waarde van de bodem in het hoekpunt geprikt uit het hoogtemodel in Baseline.

Naast de bodemhoogtes in hoekpunten (BedlevType=3) wordt Conveyance2D = -1 toegepast. Deze goed werkende optie is gekozen omdat de overige opties voor Conveyance2D niet beschikbaar zijn in 3D-modellen en we ook de instellingen voor 2D en 3D modellen zo veel mogelijk op elkaar willen laten aansluiten.



Figuur 4.3 Schematische weergave hoe voor verschillende combinaties van BedlevType en Conveyance2D de bodemhoogte op de verschillende locaties van het rekenrooster wordt geprojecteerd

#### 4.3.3 Horizontale turbulentie

D-HYDRO lost de ondiep watervergelijkingen op voor een niet-samendrukbare vloeistof. Over het algemeen is het rooster te grof en de tijdstap te groot om alle turbulente bewegingen te kunnen vatten. De turbulente processen zijn dan 'sub-grid'.

De horizontale eddy viscositeit en eddy diffusiteit wordt meestal geassocieerd met de bijdrage van horizontale turbulente bewegingen en forceringen die niet worden weergegeven op het rooster of door de Reynolds-gemiddelde ondiep-watervergelijkingen. De horizontale coëfficiënten worden verondersteld te bestaan uit drie delen:

- i. Een deel door moleculaire viscositeit
- ii. Een deel door '2D-turbulentie'
- iii. Een deel door '3D-turbulentie'

Voor de horizontale eddy viscositeit en eddy diffusiteit kan een constante (of ruimtelijke) achtergrondwaarde worden opgegeven. Het is binnen D-HYDRO nog niet mogelijk om gebruik te maken van HLES (Horizontal Large Eddy Simulation), een sub-grid model voor 2D-turbulentie. Wel is er een simpeler model beschikbaar, het zogeheten Smagorinsky model. Hiermee is het mogelijk om automatisch om te gaan met grote verschillen in celgrootte en mogelijk daarbij behorende stroomsnelheidsverschillen.

Voor 3D-modellen kan er voor de verticale 3D-turbulentie gebruik gemaakt worden van een  $k-\epsilon$ -model. Daarnaast kan de constante achtergrondwaarde worden gebruikt om het effect van een 3D snelheidsprofiel mee te nemen in 2D dieptegemiddelde modellen. Daarom wordt in de zesde-generatie modellen gebruik gemaakt van de Smagorinsky-formulering (met constante  $C_s = 0.20$ ) samen met de constante achtergrondviscositeit (waarde van 0.1) in 2D dieptegemiddelde modellen en het  $k-\epsilon$ -model in 3D modellen. In bijlage H wordt deze keuze verder onderbouwd. Hier wordt met name ingegaan op het effect binnen 2D rivieroepassing, omdat bij het testen was geconcludeerd dat de keuze van de horizontale turbulentie weinig effect heeft op waterstanden bij het 2D Noordzeemodel.



#### 4.3.4 Implicietheid van de tijdsintegratie

De parameter Teta0 geeft de waarde van  $\theta$  aan die gebruikt wordt in de numerieke tijdsintegratie en moet een waarde hebben tussen de 0.5 en 1. De waarde van  $\theta$  geeft aan in hoeverre de numerieke oplossing met een impliciete ( $\theta=1$ ) of expliciete ( $\theta=0$ ) methode wordt afgehandeld. Een waarde van  $\theta=0.5$  geeft in theorie de meest nauwkeurige oplossing. Echter voor de stabiliteit is het gewenst om de waarde net iets hoger te kiezen. De default waarde van D-Flow FM is 0.55. Voor zesde-generatie modellen in D-Flow FM wordt dan ook de waarde van  $\theta=0.55$  toegepast.

#### 4.3.5 Wandruwheid

Wanneer er geen stroming is door een celwand (edge), dan kan de diffusie van de ruwheid van deze celwand niet worden uitgerekend op basis van de stroomsnelheid en wordt er gebruik gemaakt van een slip-randvoorwaarde. Er zijn drie instellingen mogelijk:

- Vrije slip
- Gedeeltelijke slip
- Geen slip

Bij vrije slip is er geen wandwrijving en dus een lagere weerstand, terwijl een simulatie zonder slip (geen slip) zal zorgen voor een grotere weerstand. Vrije slip komt overeen met de aanpak in WAQUA.

Rapporten van eerdere onderzoeken benadrukken de noodzaak van deze instelling voor een juiste berekening van de circulatie in kribvakken bij gebruik van een rekenrooster met een hogere resolutie in deelmodellen (Yossef, 2005 en Platzek & Patzwahl, 2015b). Door gebruik te maken van gedeeltelijke slip wordt de fysica beter gerepresenteerd en kan de instelling gelijk blijven voor verschillende resoluties.

Omdat we bij de opzet van de zesde-generatie uitgaan van overzichtsmodellering is het effect echter zeer klein en wordt in de zesde-generatie modellen (net als in de vijfde generatie) gebruik gemaakt van ruwheid op basis van de vrije slip ( $i_{rov}=0$ ).

### 4.4 Kunstwerken en overlaten

#### 4.4.1 Kunstwerken

Binnen het beheergebied van RWS zijn de nodige kunstwerken aanwezig. Deze moeten ook worden meegenomen in de hydraulische modellen, aangezien ze grote invloed kunnen hebben op de verdeling van water.

Voorbeelden van kunstwerken in het RWS beheergebied zijn:

- Stuwen
- Stormvloedkeringen
- Hoogwaterkeringen
- Regelwerken
- Scheepvaartsluizen
- Spuisluizen
- Schutsluizen
- Inlaatkunstwerken
- Uitwateringssluizen

Bij de opzet van de zesde-generatie modellen wordt eerst bekeken welke kunstwerken noodzakelijk zijn om mee te nemen gezien de beoogde toepassingen van het model en de functie van het kunstwerk hierin. In 2015 en 2016 is al gewerkt aan een inventarisatie van de kunstwerken en hun implementatie in de vijfde-generatie modellen van RWS (Groenenboom & Kerkhoven, 2016) en op dit moment wordt binnen het Kennisprogramma Natte Kunstwerken ook expliciet gekeken naar schematisatie van Kunstwerken in (netwerk)modellen<sup>6</sup>.

De te gebruiken coëfficiënten en de beoogde werking van kunstwerken dienen van te voren te worden besproken met experts. Zo worden de kunstwerken op een betere manier in de modellen meegenomen dan in de vijfde generatie het geval is, waar meestal default instellingen zijn toegepast of instellingen uit voorgaande versies van modellen zijn overgenomen. Dit hangt ook samen met de wens om de dimensies van de kunstwerken op te nemen in Baseline 6 (zie paragraaf 3.2.1.4).

Aangezien er met de modellen steeds extremere omstandigheden doorgerekend moeten kunnen worden, moet het ook mogelijk zijn om zowel overstort als onderdoorstroming van kunstwerken te kunnen modelleren in D-HYDRO modelschematisaties (o.a. voor de Maeslantkering). Hier dient per kunstwerk in relatie tot de toepassing naar gekeken te worden.

#### 4.4.2 Sturing kunstwerken

Binnen D-HYDRO Suite wordt de sturing van kunstwerken afgehandeld binnen D-Real Time Control (D-RTC)<sup>7</sup>. Kunstwerken moeten op verschillende manieren aangestuurd kunnen worden in de modellen:

- Aansturing via een beoogd beheer (bv. stuwprogramma),
- Aansturing via een gerealiseerd beheer (in het geval van een kalibratie of validatie). Dus ook sturing op bijvoorbeeld gemeten waterstanden/afvoeren of openen/sluiten op werkelijke tijdstippen op basis van tijdreeksen.
- In crisis situaties moet het mogelijk zijn om de kunstwerken (tijdelijk) anders te sturen dan volgens het officiële stuurprogramma, bijvoorbeeld een noodsluiting bij een aanvankelijk mislukte sluiting
- In het kader van WBI moet er ook gerekend kunnen worden met falende keringen (zowel onterecht open als dicht) en partiële sluitingen.
- Er moet ook rekening worden gehouden met eventuele lekdebieten.

De wens is om de sturing van kunstwerken vanuit D-RTC in de toekomst als aparte module mee te kunnen nemen. Op deze manier wordt het mogelijk om sturingen van kunstwerken te hergebruiken in verschillende modellen. Dit heeft als voordeel dat de consistentie tussen de modellen wordt vergroot en de kans op fouten wordt verminderd.

Daarnaast moeten kunstwerken, daar waar dit noodzakelijk is, ook kunnen worden gestuurd op verwachting. Dit kan niet via D-RTC, maar zal via scripting geregeld moeten worden. Bij voorkeur wordt hier aangesloten bij de ontwikkelingen die in het kader van de ontwikkeling van de nieuwe MHW-processor plaatsvinden.

---

<sup>6</sup> Projectleider bij RWS: Herbert Berger

<sup>7</sup> Binnen de sturingsmodule D-RTC (Real Time Control) wordt gebruik gemaakt van feedback functionaliteit die beschikbaar is in het rekenhart van FBCTools.

Hierbij moet er voor worden gezorgd dat het keringenscript robuust en rekenefficiënt (niet teveel iteraties) wordt opgezet en geschikt is voor de extreme omstandigheden, zoals deze ondermeer bij toepassing binnen WBI voorkomen.

#### 4.4.3 Overlaten

Vanwege de gebruikte roosterresolutie kunnen niet alle lijnelementen in de bodem worden meegenomen. Er wordt daarom, net als in de vijfde generatie, een subgrid aanpak toegepast waarin vaste kunstwerken (o.a. kribben en overlaten) als zogeheten 'weirs' in het model worden opgenomen. Bij de opbouw van het rooster dient er voor gezorgd te worden dat deze elementen zo goed mogelijk op het rooster geprojecteerd kunnen worden.

Het gebruik van de numerieke overlaatformulering (`FixedWeirScheme=6`) wordt afgeraden omdat deze methode zorgt voor minder nauwkeurige resultaten wanneer er meerdere overlaten aansluiten op één gridcel. In de opzet van de zesde-generatie modellen wordt gebruik gemaakt van de zogeheten 'Villemonte' formulering (`FixedWeirScheme=9`), omdat deze meer flexibiliteit biedt in de modellering van overlaten dan de 'Tabellenboek'-formulering (`FixedWeirScheme=8`), die tot nu toe standaard in WAQUA wordt toegepast.

#### 4.4.4 Bruggen

De pijlers van bruggen kunnen onder bepaalde stromingscondities voor significante extra stromingsweerstand zorgen. Om de waterstanden goed te kunnen modelleren is het daarom wenselijk dat dit opstuwend effect ook meegenomen kan worden in de hydraulische modellen van RWS. In de huidige WAQUA-modellen worden brugpijlers meegenomen in de bodemruwheid. Er wordt extra bodemruwheid toegepast, waarbij de grootte afhangt van de blokkeringsgraad door de brugpijler(s). Dit levert echter in de praktijk een veel te laag waterstandsverhang op. In Delft3D-FLOW wordt een andere aanpak toegepast, waarbij een kwadratische term is toegevoegd aan de impulsvergelijking met een coëfficiënt die afhangt van de blokkade van de rekencel. Deze 'porous plate'-aanpak levert wel realistische resultaten op. Er ligt nu een voorstel om de implementatie van Delft3D-FLOW over te nemen in D-Flow FM, maar dit onderwerp is op dit moment nog niet geagendeerd.

#### 4.4.5 Primaire keringen en hoge gronden

De begrenzing van de modellen wordt in veel gevallen gevormd door primaire waterkeringen. De bandijken worden vanaf de zesde generatie in het hoogtemodel meegenomen (zie ook paragraaf 3.8). In de actuele modellen worden de primaire waterkeringen (en met name de hoogte hiervan) opgenomen zoals deze er in werkelijkheid bijliggen. Voor de beleidsmatige beno-modellen (o.a. voor WBI) worden de volgende criteria gehandhaafd voor de primaire waterkeringen<sup>8</sup>:

- Primaire keringen (direct buitenwater kerend): niet overstroombaar
- Voorliggende waterkeringen (o.a. afsluitdammen en stormvloedkeringen):
  - Vast (bijv. Afsluitdijk): niet overstroombaar
  - Beweegbaar (bijv. Maeslantkering): overstroombaar
- Compartimenterende waterkeringen (alleen de Diefdijk): niet overstroombaar
- Regionale keringen<sup>8</sup>: overstroombaar

Niet alle gebieden worden echter begrensd door primaire keringen. De grens van het model wordt dan gegeven door de zogeheten hoge gronden.

<sup>8</sup> Per 1 januari 2017 is de Waterwet gewijzigd. Hierin wordt geen onderscheid meer gemaakt tussen categorie A, B, C en D keringen, maar tussen primaire en regionale keringen.

Hierbij moet er voor worden gezorgd dat de ligging van de hoge gronden zodanig wordt gekozen dat voor extreem hoge bereiken het modeldomein voldoende groot is, zodat er geen sprake is van zogenoemde 'glazen wanden' aan de rand van het model.

#### 4.5 3D-modellering

Voor de meeste gebieden (met uitzondering misschien van de rivieren), is het vanuit de toepassingen gewenst om 3D te rekenen. Bij de opzet van de eerste (meestal in 2D) modellen dient hiermee rekening gehouden te worden. Omdat de fysica in principe beter wordt gerepresenteerd in een 3D-model, wordt aanbevolen om voor deze gebieden, indien mogelijk, te starten met een (grof opgezet) 3D-model en hiervan het 2D-model af te leiden.

Er zijn momenteel echter nog wel een paar kanttekeningen met betrekking tot de software. In het huidige D-HYDRO pakket heeft de 3D-hydrodynamica nog een bèta-status. Voordat hier officiële 3D-modellen voor RWS mee gemaakt kunnen worden, dient 3D-hydrodynamica nog uitvoerig getest te worden, alvorens dit in de standaard release wordt opgenomen.

Daarnaast geldt dat er afhankelijk van de toepassing een andere gewenste laagverdeling voor 3D geldt:

- Morfologie: logaritmisch profiel met grootste dichtheid vlakbij de bodem (met name voor zand-morfologie)
- Waterkwaliteit: voor diepe wateren meer verticale resolutie rond de stratificatie/spronglaag en bij het oppervlak (dit zijn de interessante gebieden waar de meeste processen plaatsvinden).
- Wind/golven: grootste verticale resolutie aan het wateroppervlak.

Omdat de modellen in principe voor alle toepassingen geschikt moeten zijn, wordt aanbevolen om in eerste instantie bij de opzet van de zesde-generatie modellen uit te gaan van een equidistante laagverdeling. Per gebied dient echter de afweging te worden gemaakt welke toepassing het zwaarst weegt. In de nog uit te voeren validatie m.b.t. de laagverdeling in D-Flow FM zal blijken wat de 'gevoeligheid' is van de toegepaste numerieke discretisatie op de nauwkeurigheid. Deze informatie is vereist om te zijner tijd een definitieve aanbeveling te kunnen doen voor de toe te passen laagverdeling.

#### 4.6 Overige aspecten

##### 4.6.1 Stabiliteit en nauwkeurigheid

Het is van belang dat de zesde-generatie modellen resultaten geven die voldoende stabiel en nauwkeurig zijn. Dit geldt niet alleen voor stationaire berekeningen, maar ook voor o.a. de tijdseries in WBI-uitvoerlocaties. Mogelijke oorzaken van oscillaties in de resultaten zijn:

- Droogval en onderlopen: het droogvallen en onderlopen van roostercellen is een discontinu proces wat inherent is aan het gebruik van een rekenrooster. De eventuele oscillaties die hierdoor worden veroorzaakt kunnen alleen worden verkleind door het rekenrooster te verfijnen in combinatie met een (automatische) verkleining van de tijdstap, of door het numerieke schema meer impliciet te maken op dit punt.
- Overlaten: Ook het overstromen van overlaten is een discontinu proces, waarbij oscillaties kunnen optreden.
- Translatiegolven: het in korte tijd open of sluiten van keringen kan een translatiegolf als gevolg hebben die door het systeem loopt en eventueel op een modelrand reflecteert. Dit kan een fysisch fenomeen zijn, maar bij de opzet van de sturing van kunstwerken dient er voldoende aandacht te zijn om ongewenste oscillaties te voorkomen.

- Toestandsovergangen bij kunstwerken: bij de kunstwerken kunnen ook oscillaties optreden door overgang naar een andere toestand, bijvoorbeeld als de stroming overgaat van subkritisch naar kritisch of dat er naast onderstromen ook overstort plaats gaat vinden.
- Randvoorwaarden: oscillaties kunnen ook worden veroorzaakt door de opgelegde randvoorwaarden als deze niet goed overeenstemmen met de toestand in het model zelf.
- Ruwheid: abrupte overgangen in ruwheid kunnen ook een bron zijn voor oscillaties. Dit geldt met name als er gebruik wordt gemaakt van afvoerafhankelijke ruwheden (ook ebnen vloed) of verschillende ruwheidssecties. Hierbij moet er voor worden gezorgd dat het verschil tussen opeenvolgende waarden niet te groot is.
- Numerieke instabiliteit: het gebruik van een te grote tijdstap kan ervoor zorgen dat het model numeriek instabiel wordt. Aangezien in D-Flow FM gebruik wordt gemaakt van een automatische tijdstapcorrectie, is dit minder een issue in de opzet van de zesde-generatie modellen. Dit hangt echter wel samen met de tijdschalen van de processen die door het model moeten kunnen worden weergegeven. Ook kan deze automatische procedure ervoor zorgen dat de rekentijd onevenredig veel toeneemt als met een heel kleine tijdstap gerekend wordt. .

Voor de analyse van het optreden van oscillaties in een model moet gekeken worden naar uitvoer per rekentijdstap. Voor WBI zijn met name oscillaties rond de maximale waterstanden ongewenst, maar in een stabiel model mogen deze in principe ook niet voorkomen op andere momenten (indien niet fysisch verklaarbaar). Daarnaast moet het model nauwkeurig zijn over de hele range waarvoor het wordt toegepast.

#### 4.6.2 Initiële condities

Bij het opzetten van een berekening is het noodzakelijk dat de initiële condities passen bij de initiële toestand van het model. Hierbij moet men denken aan:

- Waterstanden;
- Stroomsnelheden
- Toestand van keringen;
- Concentraties (o.a. zout, temperatuur).

Daarnaast is het altijd zaak om een model lang genoeg te laten inspelen, zodat de invloed van onvolkomenheden in de initiële condities verdwenen is tijdens de periode van de simulatie waarin men geïnteresseerd is. De inspeeltijd kan verkort worden door de initiële condities zo veel mogelijk aan te laten sluiten bij de toestand van het systeem tijdens het begin van de berekening.

Verkeerde initiële condities kunnen de uitkomst van een berekening negatief beïnvloeden, zoals retentiegebieden die al vol zijn en daarom geen berging meer genereren of te hoge concentraties die maar heel langzaam uit het systeem verdwijnen.

Binnen D-Flow FM kunnen initiële condities worden opgegeven via een constante waarde, sample files of een restart-file. De restart-file bevat alle grootheden die van belang zijn voor de simulatie en is niet gekoppeld aan een bepaald tijdstip. Deze file kan worden gegenereerd door het draaien van een inspeelberekening. Op dit moment bevat de restart-file echter nog geen toestandsinformatie van kunstwerken, omdat dit via de aparte D-RTC module wordt geregeld. Deze functionaliteit zal worden toegevoegd.

In de volgende paragrafen volgt nog een aantal aandachtspunten voor specifieke gebieden.

#### 4.6.2.1 Rivieren

Voor rivieren geldt over het algemeen dat initieel alleen het zomerbed (gedeeltelijk) gevuld moet zijn samen met de plassen in de uiterwaarden. Bij een volledig gevuld winterbed verlies je namelijk het bergend effect van de uiterwaarden. Als de plassen in het winterbed echter niet gevuld zijn, is er juist teveel berging in het systeem. Binnen Baseline 6 is hiervoor de tool 'create water level model' beschikbaar (vergelijkbaar met WaqINI voor WAQUA). Deze tool genereert een waterstandsveld op basis van de land/water grens zoals deze is opgeslagen in de Baseline-database. Dit waterstandsveld kan dan als basis worden gebruikt om goede initiële condities te genereren. Hierbij dient een initiële (stationaire) berekening plaats te vinden met de randcondities zoals die aan het begin van de uiteindelijke (eventuele dynamische) simulatie gebruikt gaan worden. Deze initiële berekening dient voldoende lang te zijn, zodanig dat er een stationaire toestand wordt bereikt (orde 5 dagen).

#### 4.6.2.2 Meren

Voor meren is een goede waterbalans cruciaal. Het is dan ook belangrijk dat het initiële meerpeil correct wordt opgegeven. Daarnaast moet rekening worden gehouden met inspeeltijd voor wind.

De gehanteerde procedure voor het maken van een initieel meerpeil is als volgt:

- Begonnen wordt met een waterstand lager dan het laagste punt waar water kan komen.
- Er wordt een constant debiet opgelegd op een aantal lokaties langs het gebied. De verdeling hangt af van de lokale geometrie (met name bij kleine vaargeulen een wat lagere waarde kiezen om instabiliteiten te voorkomen).
- Laat de simulatie vervolgens zo ver doorlopen totdat het gewenste initiële meerpeil bereikt is.
- Start de simulatie door maar dan zonder de eerder opgelegde constante debieten om de waterstand gelijk te krijgen (3 tot 5 dagen).
- Als er toch nog oneffenheden zijn in de waterstand en deze het gewenste initiële meerpeil nog niet heeft bereikt, voeg een klein beetje constante debieten toe om dat alsnog te bereiken.

Aan het einde van de procedure: draai de simulatie zonder debieten voor een aantal dagen om te zorgen dat de waterstand aan de ene kant van het meer hetzelfde is als die aan de andere kant.

#### 4.6.2.3 Zeeën en Estuaria

Het is van belang om een model lang genoeg te laten inspelen, zodat de invloed van onvolkomenheden in de initiële condities verdwenen is tijdens de periode van de simulatie waarin men geïnteresseerd is. De inspeeltijd kan verkort worden door de initiële condities zo veel mogelijk aan te laten sluiten bij de toestand van het systeem tijdens het begin van de berekening. In barotrope modellen worden initieel vaak een uniforme waterstand en stagnante condities opgelegd, waarna het model in enkele dagen (maximaal orde 1 week) inspeelt. Alleen bij gebruik in operationele systemen worden opeenvolgende berekeningen gestart met initiële condities afkomstig uit de voorgaande berekening.

Indien ook temperatuur en (vooral) zout prognostisch worden meeberekend zijn de benodigde inspeeltijden veelal een stuk langer en afhankelijk van de lokale verblijftijd. Voor de Noordzee is minimaal een jaar inspelen vereist, vanaf uniforme condities die ongeveer overeenkomen met het volume-gemiddelde zoutgehalte en temperatuur ten tijde van het begin van de berekening.

#### 4.6.3 Rekentijd en parallelisatie

De reketijden van de zesde-generatie modellen zijn grotendeels afhankelijk van de resolutie van het rekenrooster en de gebruikte hardware. De te verwachten reketijden van de nieuwe modellen moeten worden afgezet tegen de reketijden van de vijfde-generatie modellen en de wensen vanuit de verschillende toepassingen. Absolute grenzen aan reketijden zijn op voorhand niet te geven. Wat wel en niet haalbaar is moet in overleg met RWS kerngebruikers worden vastgesteld.

De reketijd kan worden gereduceerd door gepartitioneerd te rekenen over meerdere nodes of cores. De schaling van de rekenperformance van D-Flow FM is in principe goed. Dit is echter sterk afhankelijk van het aantal cores dat gebruikt wordt, de grootte van het model, de hoeveelheid rekenwerk per rekenpunt en het wegschrijven en inlezen van data (I/O). Een klein model op veel cores zal bijvoorbeeld niet zo goed schalen. Tijdens het opzetten van de zesde-generatie modellen moet duidelijk worden gemaakt hoe de performance van de individuele modellen zich gedraagt als er gepartitioneerd wordt gerekend op moderne hardware in combinatie met een typische simulatieperiode en hoeveelheid I/O.

Bij het vergelijken van reketijden tussen modellen, dient dit op een eenduidige manier te gebeuren. Er moet hier onderscheid worden gemaakt tussen:

- 1 Pre-processing
- 2 Communicatie (in het geval van gepartitioneerd rekenen)
- 3 Daadwerkelijke reketijd
- 4 I/O
- 5 Post-processing

Deze verschillende waarden zijn beschikbaar in de log-files van de simulaties.

Daarnaast is het evident dat de modellen die met elkaar worden vergeleken op dezelfde hardware en met hetzelfde aantal partities gedraaid moeten worden en ongeveer dezelfde output moeten genereren.

Als op termijn de rekencapaciteit van computers voldoende is toegenomen, moet het zesde-generatie model als één landelijk model van Nederland kunnen rekenen.

#### 4.6.4 Gebruiksvriendelijkheid en presentatie

In het algemeen geldt voor de gebruiksvriendelijkheid en presentatiemogelijkheden dat de zesde-generatiemodellen minimaal gelijk en bij voorkeur beter moeten presteren dan de vijfde-generatie modellen. Hierbij gelden nog de volgende specifieke eisen:

- De modellen moeten bij oplevering door Deltares onder het DeltaShell UI kunnen draaien.
- Daarnaast moeten de modellen bij oplevering ook zonder het DeltaShell UI kunnen draaien (via de DIMR) op zowel Windows als Linux omgevingen.

D-Flow FM schrijft de data weg in NETCDF-formaat volgens internationale standaarden en deze data is ook direct te bekijken en te verwerken via MATLAB- en Python-scripts. Voor de postprocessing moeten voldoende mogelijkheden beschikbaar zijn om voor RWS goed met de resultaten van de modellen te kunnen werken. Naast visualisatie in DeltaShell is QUICKPLOT hiervoor het standaard postprocessingspakket dat voor D-Flow FM beschikbaar is. In 2015 is er al een bijeenkomst geweest met RWS over de wensen met betrekking tot de post-processing in D-Flow FM (De Goede, 2015) en deze zullen nog een keer worden nagelopen worden voordat RWS daadwerkelijk met de zesde-generatie modellen aan de slag gaat.





## 5 Kalibratie en validatie

### 5.1 Algemeen

Een model is een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. Er worden namelijk bepaalde aannames gedaan met betrekking tot het meenemen van o.a. fysische processen, geometrie en randvoorwaarden, om zo tot een bruikbare en werkbare oplossing te komen. Dit betekent dat er, nadat een modelschematisatie is opgezet, vervolgens een kalibratie- en validatieslag dient plaats te vinden om voor eventuele afwijkingen in het model te verdisconteren.

Voor kalibratie en validatie worden de volgende definities gehanteerd (zie ook bijlage E):

#### *Kalibratie*

De kalibratie bestaat uit het afregelen van onzekere of meest bepalende parameters, zodat modelresultaten overeenkomen met gemeten data. Kalibratie vindt doorgaans plaats onder (een aantal) representatieve omstandigheden (storm, hoog water, laag water, etc.), maar het kunnen ook dagelijkse omstandigheden zijn (getij, gemiddelde afvoer, etc) waarvoor gekalibreerd wordt. De mate van overeenkomst tussen modelresultaten en data wordt weergegeven door de Goodness-of-fit criteria. Uit de kalibratie volgt een set gekalibreerde parameters.

#### *Validatie*

De validatie bestaat uit het toetsen van de gekalibreerde parameters in een andere situatie, dan gebruikt is tijdens de kalibratie gebruikte periode. Een succesvolle validatie geeft vertrouwen in de mate waarin de gekalibreerde parameters ook goede resultaten geven in andere situaties. Validatie is een wezenlijk onderdeel van het kalibratieproces. Er kunnen namelijk meerdere parametersets aan de kalibratiecriteria voldoen. De beste set is dan degene die tijdens de validatie het beste presteert. Na de validatie wordt bepaald of het model geschikt is voor de toepassing. Validatie kan ook plaatsvinden in dezelfde periode als de kalibratie, maar op andere locaties of op andere grootheden. Bijvoorbeeld op tussenliggende meetpunten, of op stroomsnelheden i.p.v. waterstanden.

De volgende algemene richtlijnen en eisen gelden voor de kalibratie en validatie:

- Kalibratie en validatie moet waar mogelijk plaatsvinden over het hele toepassingsbereik van het model.
- Voor de kalibratie en validatie worden zo recent mogelijke perioden gekozen. Deze perioden moeten de omstandigheden waaronder het model goed moet werken afdekken. Hierbij dient vaak de afweging te worden gemaakt welk aspect zwaarder weegt: actualiteit of bereik. Daarnaast dient ook de betrouwbaarheid van de metingen in deze afweging te worden meegenomen.
- Voor de verschillende watersystemen dienen zoveel mogelijk dezelfde perioden te worden gekozen.
- Voordat met de kalibratie en validatie wordt begonnen dient eerst de te gebruiken data zo goed mogelijk op orde te worden gebracht (geometrie, fysische ruwheid, randvoorwaarden, meetdata etc.).
- Kalibratie vindt plaats met behulp van kalibratiefactoren en bij voorkeur niet direct op de te kalibreren grootheid zelf.
- Er vindt bij voorkeur geen kalibratie van geometrische informatie (zoals de bodem) plaats.

- Bij kalibratie bepaalt als eerste de automatische procedure (OpenDA) het resultaat. Er worden in deze fase zo weinig mogelijk begrenzings meegegeven aan de waarden voor de parameter waarmee wordt gekalibreerd. Vervolgens worden de gevonden waarden beoordeeld en vindt in overleg met RWS zo nodig bijstelling plaats naar realistische waarden. Hierbij wordt ook gekeken naar de consistentie met ander modellen in de keten (zoals meteorologische- en golfmodellen). Dit punt is strikt genomen geen functionele eis maar wel een belangrijk/gewenst punt.
- Er dient voor te worden gezorgd dat er geen onrealistisch verloop van de kalibratiefactoren optreedt en dat de overgang tussen gebieden glad verloopt.
- Er dient ook te worden gevalideerd voor extreme omstandigheden (WBI-condities). Hiervoor zijn geen metingen beschikbaar, maar er kan wel iets worden gezegd over de plausibiliteit van de resultaten, de robuustheid van het model en het verschil ten opzichte van de vorige generatie modellen. Hierbij dient ook expliciet aandacht te zijn voor de keuze van parameterwaarden voor deze extreme condities (gelijk aan laatste waarde binnen het bereik of extrapolatie).
- Bij validatie en kalibratie niet alleen kijken naar waterstanden, maar indien mogelijk, ook naar debieten en stroomsnelheden.
- Niet alleen kijken naar statistiek en tijdseries, maar ook naar het totale stroombeeld. Indien hier geen of onvoldoende data voor beschikbaar is, dient een vergelijking met bestaande modellen te worden uitgevoerd.
- Bij voorkeur wordt er gebruik gemaakt van tenminste 3-5 onafhankelijke (extreme) events

Bij het bouwen en opzetten van geavanceerde modellen is het vooral belangrijk om goed te kunnen valideren en om voldoende metingen daarvoor te hebben. Geavanceerdere modellen vragen andere kalibratiemethodieken en meer aandacht voor de metingen. De kalibratie hangt vooral op de beschikbaarheid van metingen. Bij de opzet van de zesde-generatie worden geen nieuwe metingen verzameld, maar gebruik gemaakt van al beschikbare data. Er worden bij voorkeur echter wel aanbevelingen gedaan voor de (betere) inzameling van (extra) metingen, zodat in de toekomst verdere validatie (en eventuele herkalibratie) van de modellen kan worden uitgevoerd.

## 5.2 Nauwkeurigheid

De hoofdeis is dat de zesde-generatie modellen minimaal gelijk en bij voorkeur beter presteren dan de vijfde-generatie modellen. Om dit op een eenduidige manier te kwantificeren zijn verschillende Goodness-of-Fit (GOF) criteria gedefinieerd (zie bijlage E), waarvan de belangrijkste de bias, standaarddeviatie en RMSE zijn. Deze criteria kunnen op een groot aantal verschillende (bewerkte/gefilterde) grootheden worden toegepast, zoals:

- waterstand,
- snelheid,
- debiet,
- zoutgehalte,
- watertemperatuur,
- timing en hoogte van hoogwaters
- timing en hoogte van laagwaters
- getijamplitude en fase (per component),
- scheve opzet,
- etc.

Het nauwkeurigheidscriterium bepaalt welke waarde voor de GOF-criteria gehaald moet worden om te kunnen spreken van een geslaagde kalibratie of validatie. Afhankelijk van het model, toepassing, grootte en periode kan er worden gekeken naar de GOF-criteria voor verschillende situaties, zoals:

- Stormpiek;
- Hoge afvoer;
- Lage afvoer;
- Gemiddeld getij;
- Springvloed;
- Hoogwater seizoen;
- Heel jaar.

### 5.3 Onzekerheidsanalyse

Hier wordt expliciet een onzekerheidsanalyse bedoeld die gericht is op modelonzekerheden (bijv. ruwheid en andere parametersettings) en niet op onzekerheden in randvoorwaarden of andere externe forceringen.

Er wordt sterk aangeraden om een onzekerheidsanalyse als integraal deel van het opzetten en bouwen van de zesde-generatie modellen op te nemen (naast de gevoeligheidsanalyse die standaard wordt uitgevoerd). Vaak wordt men met deze vraag geconfronteerd, nadat de modellen al zijn gemaakt en al zijn opgeleverd (specifiek vanuit het WBI-project). In zulke gevallen wordt de analyse op een versimpelde ad-hoc manier opgepakt (cf. Yossef, 2011<sup>9</sup>; Thijssen et al. 2013<sup>10</sup>, en van der Mheen et al. 2014<sup>11</sup>), of er is een significant budget gemoeid voor een grondige analyse. Het is efficiënter om de onzekerheidsanalyse uit te voeren direct na de kalibratie van het model. Dit verbetert tevens het inzicht in de mogelijkheden en gevoeligheden van het model. Hierbij is het cruciaal modelonzekerheden niet uit één extreem event te bepalen, maar tenminste een 3/5-tal van dergelijke events, omdat de bias in modeloutput sterk afhangt van keuzes/uitgangspunten

De noodzaak om een onzekerheidsanalyse uit te voeren is reeds in grote lijnen besproken met belanghebbenden tijdens verschillende werksessies. Er is een gedeelde veronderstelling dat een onzekerheidsanalyse een belangrijk onderdeel is bij modelontwikkeling en geïntegreerd dient te worden in de modelcyclus. In Spruyt et al. (2016) is een eerste verkenning uitgevoerd naar de mogelijkheden om onzekerheidsanalyse te adresseren met name voor rivieren. In een vervolgtraject wordt in de komende maanden een verdere inventarisatie gedaan naar wat er al wordt gedaan en is gezegd hierover, ook voor de overige gebieden, om zo te komen tot een plan van aanpak voor vervolg.

---

<sup>9</sup> Yossef 2011 *Behaviour of compound channel when predicting flood levels* (Deltares memo)

<sup>10</sup> Thijssen Annegien [et al.] *Quantification of model uncertainty for WAQUA for the Upper Rivier Area - Deltares report 1207807-002-HYE [Report]. - 2013.*

<sup>11</sup> Mheen, M., Yossef M., Becker A. 2015 "Model uncertainty of IJVD WAQUA Model – WTI applications" (ref. 1209433-008)



## 6 Beheer schematisaties en data

### 6.1 Algemeen

Algemeen geldt dat voor RWS consistentie en reproduceerbaarheid van modelschematisaties van belang zijn. Daarnaast is het van belang dat kan worden aangetoond hoe tot resultaten is gekomen en dat volstrekt inzichtelijk is of/hoe er met verschillende zaken rekening is gehouden. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op een aantal aspecten die hier mee te maken hebben.

### 6.2 Naamgeving

Om tot een goed beheer van schematisaties en onderliggende data te komen is het belangrijk dat er een eenduidige en volledige naamgeving wordt gehanteerd. Met een eenduidige naamgeving kunnen direct van de naam van een schematisatie of schematisatie-onderdeel de belangrijkste eigenschappen (type, gebied, situatie, generatie, versie) worden afgeleid. Voor de naamgeving van de modellen wordt gebruik gemaakt van het document Naamgeving conventies modellen RWS versie 2.0 (RWS, 2017, zie bijlage I). *NB: Dit document is echter op dit moment nog in ontwikkeling en er volgt binnenkort nog een update van het huidige document (RWS, 2012).*

De afspraken in dit document betreffen o.a.:

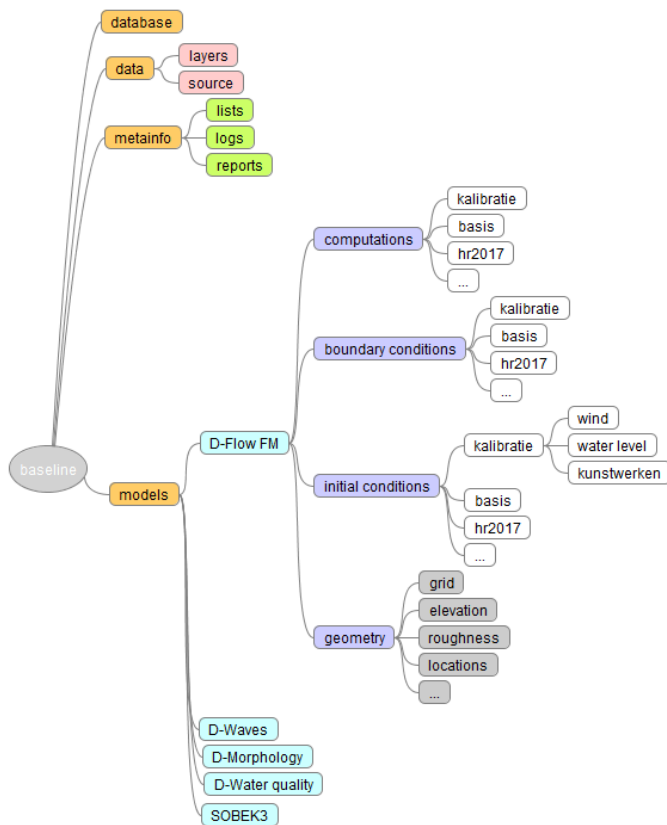
- Schematisaties (Baseline, WAQUA, SOBEK 3, D-Flow FM, SWAN, etc.)
- Schematisatie-onderdelen, zoals:
  - Meetpunten
  - Uitvoerlocaties
  - Lateralen
  - Kunstwerken
- Baseline-maatregelen
- Maatregellijsten
- Rekenroosters
- Standaardrandvoorwaarden
- Qh-relaties
- Ruwheidsdefinities

In de naamgeving van schematisaties die afgeleid zijn uit andere onderdelen (zoals een SWAN schematisatie afgeleid uit een specifieke Baseline-schematisatie), moet ook nadrukkelijk terug te vinden zijn uit welke versie van de onderliggende gebiedsschematisaties deze afleiding heeft plaatsgevonden.

In het kader van LSM-RWS vindt er op dit moment (zomer 2017) een discussie plaats over o.a. de naamgeving van lateralen en uitvoerlocaties voor verschillende toepassingen zoals VONK (Vervangingsopgave Natte Kunstwerken), Bivas (Binnenvaart analyse systeem), Wabes (Waterbeschikbaarheid) en LHM (Landelijk Hydrologisch Model). Binnen WBI (Wettelijk Beoordelings Instrumentarium) zijn ook specifieke afspraken gemaakt voor de naamgeving van uitvoerlocaties (Deltares, 2015; HKV, 2016). Deze dienen voor de 'zoete' en 'zoute' wateren nog wel op elkaar te worden afgestemd, zodat een consistente landelijke set kan worden gegenereerd.

## 6.3 Modelstructuur

Het is ook belangrijk om de modelstructuur van de zesde-generatie modellen op een eenduidige en consistente manier op te zetten, zodanig dat alle modelschematisaties, gebiedsschematisaties en de onderliggende data goed kunnen worden opgeslagen en eenvoudig te beheren en terug te vinden zijn. De beoogde uiteindelijke structuur voor opslag van modelschematisaties is afhankelijk van het (in ontwikkeling zijnde) Baseline 6 dataprotocol en de mogelijkheden hiervoor binnen D-Flow FM en de DeltaShell UI. Daarnaast dient de structuur waarmee modelschematisaties en de bijbehorende data wordt opgeslagen, te faciliteren dat er makkelijk en snel verschillende berekeningen gestart kunnen worden. Dit hangt ook samen met de opzet van een methode en omgeving, ook wel bekend als Sommengenerator, om binnen het NWM (Nationaal Water Model) Waterveiligheid op een flexibele, schaalbare en gecontroleerde wijze productiesommen te kunnen uitvoeren voor waterveiligheidsvraagstukken. Deze methode dient idealiter ook toepasbaar te zijn voor WBI-productiesommen en het eenvoudig opnieuw uitvoeren van kalibratie/validatie sommen en het testen van modelschematisaties voor verschillende toepassingen (hier ligt duidelijk een relatie met de standaardrandvoorwaarden, zie paragraaf 6.4).



Figuur 6.1 Voorbeeld opzet structuur voor opslag van modelschematisaties en onderliggende data voor de zesde generatie modelschematisaties

Een eerste voorbeeld van een dergelijke structuur voor opslag van modelschematisaties en onderliggende data is weergegeven in Figuur 6.1. Hier wordt duidelijk een onderscheid gemaakt tussen 'vaste' data van een modelschematisatie (o.a. rooster en geometrie) en de 'veranderlijke' data van een model (randvoorwaarden en initiële condities). Deze structuur moet in de komende maanden verder worden uitgewerkt, zodat de eerste zesde-generatie modelschematisaties volgens een onderling vastgestelde modelstructuur kunnen worden opgeleverd.

#### 6.4 Standaardrandvoorwaarden

Met de Standaard Randvoorwaarden wordt gegarandeerd dat er een overzicht is van de verschillende in gebruik zijnde sets van randvoorwaarden voor verschillende typen berekeningen. Voor de vastgelegde typen berekeningen zijn de berekeningen gedefinieerd en opgeslagen bij de modelschematisatie en kunnen daarmee zeer eenvoudig herhaald worden. Hiervoor wordt een standaard format afgesproken, dat voor alle zesde-generatie modellen wordt toegepast.

Het gaat hier onder andere om sets voor (zie ook Figuur 6.1 onder “boundary conditions”):

- Ontwikkeling (kalibratie/validatie)
- Kwaliteitsborging (aanvullende verificatie)
- Actualisatie
- Beheer en onderhoud (toetsen en toepassing)
- Specifieke toepassingen
  - Wettelijk Beoordelingskader
  - Nationaal Watermodel
  - ....

#### 6.5 Datamanagement

Binnen de zesde-generatie modellen wordt zoveel mogelijk aangesloten bij bestaande en lopende initiatieven op het gebied van datamanagement. In de volgende paragrafen wordt een aantal kort benoemd:

##### 6.5.1 Informatiehuis Water

Het Informatiehuis Water (IHW) is een samenwerkingsprogramma binnen de watersector ([www.informatiehuwater.nl](http://www.informatiehuwater.nl)). Samen met waterbeheerders (het Rijk, de provincies en de waterschappen) wordt gewerkt aan uniforme, toegankelijke en bruikbare informatie over water. Op dit moment is het IHW vooral ingericht voor waterkwaliteit, maar er wordt ook gewerkt aan waterveiligheid en waterkwantiteit. Het IHW beheert ook het Waterveiligheidsportaal ([www.waterveiligheidsportaal.nl](http://www.waterveiligheidsportaal.nl)) ([www.waterveiligheidsportaal.nl](http://www.waterveiligheidsportaal.nl)), waar onder andere het Nationaal Basisbestand Primaire Waterkeringen (NBPW) onder valt. De ligging van de keringen in de zesde-generatie modellen dient uiteindelijk overeen te stemmen met de definitieve versie van het NBPW (Nationale Basisbestanden Primaire Waterkeringen).

##### 6.5.2 Informatiehuis Marien

Het Informatiehuis Marien (IHM) is een samenwerkingsverband van de ministeries van Infrastructuur en Milieu en Economische Zaken ([www.informatiehuismarien.nl](http://www.informatiehuismarien.nl)). Tevens biedt het IHM een platform voor het vinden en delen van gegevens over de Noordzee. Het doel is om alle data, informatie en onderzoeksgegevens over de Noordzee met behulp van OpenEarth technologie op één plek toegankelijk te maken voor belangstellenden, overheden en professionals. Op de website is een viewer beschikbaar waarin bepaalde mariene (project)data wordt ontsloten. De data blijft daarbij echter bij de bron.

##### 6.5.3 INSPIRE

De Europese kaderrichtlijn INSPIRE staat voor ‘Infrastructure for spatial information in Europe’ en is een initiatief om een data infrastructuur voor de EU op te zetten ten behoeve van milieubeleid en beleid of activiteiten die invloed hebben op het milieu (<http://inspire.ec.europa.eu/>). INSPIRE verplicht de Europese lidstaten om geo-informatie te harmoniseren en openbaar te maken.

INSPIRE zorgt ervoor dat geo-informatie van goede kwaliteit beschikbaar, vindbaar en bruikbaar is en bestaat onder andere uit richtlijnen voor de eenduidige opslag van data.

#### 6.5.4 Deltares Data Portal

Binnen Deltares loopt een proces om datamanagement beter in het kwaliteitssysteem (DQMS) te borgen. Het gaat hierbij om data die een fundamentele rol speelt in het onderbouwen van resultaten of advies (computermodellen, veldmetingen, laboratoriumexperimenten, externe dataservices) en deze zodanig op te slaan, te gebruiken en te beschrijven, dat de gebruikte data traceerbaar, herleidbaar en reproduceerbaar is. Binnen dit proces is een tool ontwikkeld (Metadata Management Environment, afgekort MME) die kan worden ingezet om op een eenvoudige manier goede metadata toe te voegen aan een dataset, en deze dataset vindbaar te maken via de Deltares Data Portal.

### 6.6 Versiebeheer

Deltares gebruikt voor het beheer van software en modelschematisaties het versiebeheersysteem Tortoise Subversion. Alle Baseline-schematisaties en de bijbehorende maatregelen en maatregellijsten worden, na acceptatie door RWS, in dit versiebeheersysteem bij Deltares opgenomen. Dit garandeert dat er maar één officiële versie van een schematisatie in omloop is en deze kan op eenvoudige wijze worden gereproduceerd vanuit de basisschematisatie. Dit geldt ook voor alle afgeleide modellen (SOBEK 3, D-Flow FM, SWAN, etc.) en bijbehorende modelonderdelen (rekenroosters, randvoorwaarden, etc.).

Alle onderdelen die in versiebeheer worden opgenomen, worden voorzien van voldoende meta-informatie, zodat te achterhalen valt op welke onderliggende data ze gebaseerd zijn en welke wijzigingen tussen versies onderling zijn doorgevoerd. Daarnaast worden in een issue-tracking systeem (JIRA) niet alleen alle uitleveringen van de modelschematisaties geregistreerd, maar worden hierin ook bugs en gewenste verbeteringen van de modelschematisaties zelf bijgehouden.

### 6.7 Helpdesk Water en Dataportaal overheid

De Helpdesk water bevat een overzicht van de watergerelateerde applicaties en schematisaties van Rijkswaterstaat die ook buiten Rijkswaterstaat gebruikt worden. Alle definitieve zesde-generatie modellen zullen hier uiteindelijk ook in worden opgenomen, samen met een factsheet waarin een korte beschrijving van de schematisatie is opgenomen. De schematisaties zijn vervolgens via de Helpdesk Water aan te vragen door derden. Na goedkeuring door de verantwoordelijke kerngebruiker(s) bij RWS kan de betreffende schematisatie vervolgens worden uitgeleverd.

In de toekomst zal een deel van de schematisaties ook beschikbaar worden gesteld via het open dataportaal van de Nederlandse overheid ([www.data.overheid.nl](http://www.data.overheid.nl)). De precieze invulling hiervan is echter op dit moment nog niet helemaal duidelijk.



## 7 Conclusies en aanbevelingen

Dit rapport beschrijft landelijk afgestemde generieke technische en functionele specificaties voor alle nieuwe zesde-generatie modelschematisaties voor RWS op basis van de D-Flow Flexible Mesh module binnen de D-HYDRO Suite. Deze specificaties dienen te worden gebruikt als input bij het opstellen en afregelen van de modelschematisaties vanaf 2017.

Voorliggend rapport is een vervolg op het adviesrapport uit december 2016 (Spruyt et al., 2016). Dit adviesrapport was gebaseerd op de uitkomsten van een aantal werksessies en de opzet van een drietal pilotschematisaties. De werksessies waren gehouden met verschillende betrokkenen om de eisen, wensen en verwachtingen van de zesde-generatie modelschematisaties van eindgebruikers en andere stakeholders in beeld te brengen. In dit adviesrapport werd een eerste ruwe schets gegeven van mogelijke technische en functionele specificaties

Tijdens het opzetten van deze eerste zesde-generatie modelschematisaties zijn de technische en functionele specificaties verder aangescherpt. Ook zijn een aantal generieke D-HYDRO vraagstukken, zoals onder andere roosteropbouw, bodemschematisatie en viscositeit-instellingen, nader onderzocht en zijn de bevindingen verwerkt in de specificaties. Daarnaast is gelijktijdig vanuit RWS een Programma van Eisen (PvE) voor de zesde-generatie watermodellen 2D en 3D opgesteld en ook deze is verwerkt in voorliggende technische en functionele specificaties voor de ontwikkeling van de zesde-generatie modellen.

Deze conceptspecificaties zijn in juni 2017 besproken tijdens een algemene klankbordgroepbijeenkomst met verschillende stakeholders van binnen en buiten RWS. Aan de hand hiervan is een eerste definitieve versie van dit rapport opgesteld, waarin de resultaten en aanbevelingen uit deze bijeenkomst zijn verwerkt.

Hieronder volgt per hoofdstuk uit dit rapport een beknopte samenvatting. Voor de specifieke informatie wordt verwezen naar de hoofdstukken in dit rapport zelf. Daarnaast wordt ingegaan op de prioritering en planning voor de zesde-generatie modelschematisaties.

### 7.1 Conceptueel raamwerk functionele specificaties

In het conceptueel raamwerk wordt met name ingegaan op de gedachte van één landelijk-dekkend model voor heel Nederland. Hierbij zijn de watersystemen leidend en niet de modellen of RWS-beheergrenzen. Er is bewust gekozen om niet te gaan voor het omzetten van de vijfde-generatie modellen. Wel is er voor gekozen om de leerpunten en aandachtspunten, opgedaan tijdens de ontwikkeling en gebruik van de vijfde generatie, mee te nemen bij het opzetten van de nieuwe zesde-generatie modelschematisaties. Verder houdt de overgang naar nieuwe modelschematisaties en nieuwe software in, dat er gebruik kan worden gemaakt van nieuwe beschikbare mogelijkheden en concepten, maar ook dat er nieuwe methodieken voor modelontwikkeling kunnen worden toegepast.

Daarnaast worden als startpunt voor de ontwikkeling van de zesde generatie de toepassingsgebieden binnen de primaire processen van RWS genomen. Op deze manier staat het gebruik voor de toepassingen van RWS vanaf het begin van de ontwikkeling centraal. De zesde-generatie modellen worden afgestemd op de functionele behoeften vanuit de praktijk, iets wat in het verleden niet altijd het geval was.

Er dient daarbij ook rekening te worden gehouden met het feit dat de overgang naar de nieuwe generatie modellen (en de bijbehorende nieuwe software) consequenties kan hebben voor modelgebruik binnen de verschillende toepassingsgebieden.

Er dient gelijktijdig met de opzet van de zesde-generatie modellen gekeken te worden op welke wijze het hele instrumentarium van modellen in de toekomst het beste beheerd en onderhouden kan worden. Dit in verband met de behoeften tot het onderling koppelen van modellen (ook 1D-2D-3D), lokale aanpassingen of verfijningen en ook de link met o.a. waterkwaliteit en morfologie.

Verder wordt er ingegaan op de wettelijke en bestuurlijke kaders waarin de modellen en modelresultaten worden gebruikt. Hiermee dient namelijk rekening te worden gehouden bij de opzet van de zesde-generatie modellen.

## 7.2 Koppeling met andere modellen

De eis aan de opzet van de zesde-generatie modellen voor de waterbeweging is dat deze voor zoveel mogelijk toepassingen geschikt dienen te zijn. Er dient daarom al bij ontwerp en opzet rekening te worden gehouden met de koppeling met andere modellen. In dit rapport wordt de relatie met de belangrijkste modellen en de eventuele voorwaarden die deze stellen aan de zesde-generatiemodellen voor de waterbeweging geadresseerd. Er kan hierbij grofweg een onderscheid worden gemaakt in:

- 1 modellen die met name gebruik maken van de modellen voor de waterbeweging (golven, morfologie en waterkwaliteit) en
- 2 modellen die toeleverend zijn aan de modellen voor de waterbeweging (o.a. meteorologie, Baseline 6, data-assimilatie, globale, regionale en buitenlandse modellen)

De voorwaarden aan de modellen voor de waterbeweging die volgen vanuit de koppeling met andere modellen worden zoveel mogelijk overgenomen in de technisch specificaties.

## 7.3 Technische specificaties

Naast de eisen en wensen aan het conceptueel ontwerp zijn er verschillende algemene technische specificaties opgesteld voor de zesde-generatie modelschematisaties. Er is hierbij ingegaan op de volgende aspecten:

- Roostergeneratie
- Numerieke aspecten
  - Tijdstap
  - Bodemprojectie
  - Horizontale turbulentie
  - Implicietheid tijdsintegratie
  - Wandruwheid
- Kunstwerken en overlaten
- 3D-modellering
- Overige aspecten
  - Stabiliteit en nauwkeurigheid
  - Initiële condities
  - Rekentijd en parallelisatie
  - Gebruiksvriendelijkheid en presentatie

Voor al deze aspecten is er consensus over de te gebruiken instellingen of werkwijze. Ook voor de te gebruiken bodemprojectie is er een algemene aanpak vastgesteld.

Het punt is namelijk dat voor morfologie het noodzakelijk is om de bodem in het centrum van de roostercellen te definiëren, terwijl voor hydrodynamica een definitie in hoekpunten het beste resultaat oplevert. Aangezien de modellen vooral voor hydrodynamische toepassingen worden ingezet, is er daarom voor gekozen om de bodem in hoekpunten te definiëren. Er is daarnaast een procedure voorgesteld hoe, uitgaande van een hydrodynamisch model met de bodemhoogte op hoekpunten, een morfologiemodel kan worden afgeleid met een bodem in celmiddens.

Voor de roostergeneratie is er wel consensus over de algemene aanpak, maar hiervoor dient nog een globaal overzicht te komen voor toepassing over het hele beheergebied van RWS, waarbij met name in wordt gegaan op de overgang en aansluiting van verschillende watersystemen.

Verder is er een lijst opgesteld met numerieke basisinstellingen voor de zesde-generatie modelschematisaties. Deze instellingen komen grotendeels overeen met de default-instellingen voor D-Flow Flexible Mesh. De basisinstellingen zijn toepasbaar voor alle gebieden, alleen in enkele uitzonderlijke gevallen hoeft hier van te worden afgeweken. Daarnaast wordt er aandacht besteed aan "Good Modelling Practice". Voor de specifieke specificaties wordt verwezen naar de eerdere hoofdstukken in dit rapport.

#### **7.4 Kalibratie en validatie**

Nadat een model is opgezet dient er vervolgens een kalibratie- en validatieslag plaats te vinden om voor eventuele afwijkingen in het model te verdisconteren. Hiervoor zijn een aantal algemene richtlijnen en eisen opgesteld. De hoofdeis is dat de zesde-generatie modellen minimaal gelijk en bij voorkeur beter presteren dan de vijfde-generatie modellen. Om dit op een eenduidige manier te kwantificeren zijn verschillende Goodness-of-Fit (GOF) criteria gedefinieerd. De belangrijkste zijn de bias, standaarddeviatie en RMSE en kunnen op een groot aantal verschillende (bewerkte/gefilterde) grootheden worden toegepast. Het nauwkeurigheidscriterium bepaalt welke waarde voor de GOF-criteria gehaald moet worden om te kunnen spreken van een geslaagde kalibratie of validatie. Afhankelijk van het model, toepassing, grootheid en periode kan er worden gekeken naar de GOF-criteria voor verschillende situaties.

Er wordt sterk aangeraden om een onzekerheidsanalyse als integraal deel van het bouwen van de zesde-generatie modellen op te nemen (naast de gevoeligheidsanalyse die standaard wordt uitgevoerd). In 2016 is een eerste verkenning uitgevoerd naar de mogelijkheden om onzekerheidsanalyse te adresseren met name voor rivieren. In een vervolgtraject is een verdere inventarisatie gedaan naar wat er al wordt gedaan en is gezegd hierover, ook voor de overige gebieden, en aan de hand hiervan kan een plan van aanpak voor het vervolg worden opgesteld.

#### **7.5 Beheer schematisaties en data**

Algemeen geldt dat voor RWS consistentie en reproduceerbaarheid van modelschematisaties van belang zijn. Daarnaast is het van belang dat kan worden aangetoond hoe tot resultaten is gekomen en dat volstrekt inzichtelijk is of/hoe er met verschillende zaken rekening is gehouden.

In dit rapport wordt ingegaan op een aantal aspecten die hier mee te maken hebben:

- Naamgeving: eenduidig, consistent en volledig.
- Modelstructuur: eenvoudig beheer en simpel sommen kunnen starten.
- Standaardrandvoorwaarden: overzicht van beschikbare randvoorwaarden (kalibratie/validatie, toepassingen)
- Datamanagement: aansluiten bij bestaande initiatieven, zoals Informatiehuizen en INSPIRE
- Versiebeheer: één officiële versie van schematisaties centraal beschikbaar en een trackingsysteem voor bugs en gewenste verbeteringen
- Helpdesk Water en Dataportaal overheid: overzicht, aanvraag en uitlevering van schematisaties door derden.

## 7.6 Prioritering en planning zesde generatie

De belangrijkste randvoorwaarde voor de prioritering van zesde-generatie modelschematisaties komt vanuit WBI2023, waarin de wens is uitgesproken om modellen voor alle watersystemen uiterlijk 2020 in D-HYDRO ter beschikking te hebben. Deze expliciete wens komt voort uit het feit dat het WBI vanaf 2023 nog maar eens in de twaalf jaar zal gaan worden vastgesteld (i.p.v. eens in de zes jaar zoals nu het geval is). Indien de zesde-generatie modellen niet tijdig klaar en toepasbaar zijn, dan zal er tot 2035 met de Simona software in dit kader moeten worden gerekend. Dit zou een efficiënte overgang naar D-HYDRO modellen en het uit beheer en onderhoud nemen van vijfde-generatie software en modelschematisaties in de weg staan. Momenteel (medio 2017) is nog geen prioritering van watersystemen bekend vanuit WBI2023.

Voor het opzetten van de modellen zal per watersysteem eerst een Plan van Aanpak (PvA) worden opgesteld. Hierin worden o.a. de definitieve keuzes voor de instellingen en de keuzes voor de kalibratiemethodiek en kalibratieperiode vastgelegd. Aan de hand van dit PvA kan worden gestart met de echte modellering.

De huidige planning voor het opzetten van de zesde-generatie modelschematisaties wordt hieronder weergegeven. In 2017 is gestart met de volgende modelschematisaties:

- Noordzee
- Oosterschelde (+ Veerse Meer)
- Maas
- Markermeer + Veluwerandmeren

Op deze manier wordt er vanuit elk van de pilotgebieden een model opgezet. Aan de hand van de ervaringen die hier worden opgedaan, kunnen de generieke technische en functionele specificaties eventueel verder worden aangepast en worden verfijnd.

Voor 2018 staan vervolgens de modelschematisaties (voorlopig) voor de volgende watersystemen op het programma:

- Rijntakken
- Rijn-Maasmonding
- IJsselmeer, IJssel-Vecht Delta
- Grevelingen
- Volkerak Zoommeer
- Westerschelde

Voor de eerste twee watersystemen in deze lijst wordt het PvA voor het opzetten van deze modellen al in 2017 gemaakt.

De hierboven genoemde planning gaat over de kalibratie en validatie van de modellen. In het vervolgtraject zullen deze modelschematisaties ook nog moeten worden geactualiseerd en moeten er eventueel ook nog beleidsmatige varianten (zogenoemde B&O-versies) worden gemaakt.

Hierbij moet wel worden opgemerkt dat er met de vijfde-generatie aanpak en de bijbehorende Simona software al jarenlang ervaring is opgebouwd. Met de overgang naar een nieuwe aanpak en software hopen we de nodige verbeteringen te kunnen doorvoeren. Hier is echter nog geen uitgebreide ervaring mee opgebouwd en er kan daarom een aantal verfijningsslagen nodig zijn om tot hetzelfde niveau te komen. Verder moet er nog een aantal aanpassingen/verbeteringen worden gedaan in de te gebruiken software en tools (D-HYDRO, Baseline 6, OpenDA, etc.), voordat met de uiteindelijke modellering kan worden begonnen. Daarnaast zijn deze softwarepakketten nog volop in ontwikkeling. Dit zal allebei van invloed zijn op de uiteindelijke planning van de oplevering van de modelschematisaties.



## 8 Referenties

- Deltares (2015): Naamgeving uitvoerlocaties WTI. Deltares memo 1220072-009-ZWS-0003, 16 november 2015
- Deltares (2016a). D-Flow Flexible Mesh – D-Flow FM in Delta Shell, User Manual, Versie 1.1.0, 24 juni 2016
- Deltares (2016b). D-Flow Flexible Mesh – Technical Reference Manual. Versie 1.1.0, 24 juni 2016
- Deltares (2016c). D-Flow Flexible Mesh – Validation Document. Versie 1.1.148, 11 maart 2016
- Goede, E. de (2015): Stand van zaken postprocessing voor D-Flow Flexible Mesh per april 2015. Deltares memo 1205718-000-DSC-0123
- HKV (2016): Naamgeving locaties zoute wateren. Memo HKV PR3367.10, 29 juni 2016
- Jong, J.S. de (2016). Aanbevelingen op bodemhoogteschematisatie in D-HYDRO. Deltares memo 11200569-003-ZWS-0012. 19 mei 2016
- Jong, J.S. de en Yossef, M. 2016. Riviermodellen in D-HYDRO - Pilot-applicatie Rijntakken: Advies voor algemeen functioneel ontwerp voor de zesde-generatie modellen van RWS. Deltares rapport 1230071-011-ZWS-0017
- Kernkamp, H. (2017): D-Flow Flexible Mesh quality criteria for unstructured meshes. Deltares memo 9 januari 2017
- Madsen, P. A., Rugbjerg, M., & Warren, I. R. (1988). Subgrid Modelling in Depth Integrated Flows. Paper presented at the Coastal Engineering 1988, Costa del Sol-Malaga, Spain. <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780872626874.036>
- Platzek, F., Patzwahl, R. (2015a). Advection and grid effects in river computations: selling some error. Presentatie 12<sup>th</sup> UnTRIM User Workshop, 19 mei 2015
- RWS (2012): Memo Naamgeving conventies modellen Rijkswaterstaat, Versie 1,0, februari 2012
- RWS (2014): Rivierkundig Beoordelingskader versie 3.0, 1 januari 2014.
- Smith, S. D. and E. G. Banke, 1975. "Variation of the sea surface drag coefficient with wind speed." Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Vol. 101, 665-673
- Spruyt, A. T. Minns, M. Yossef, D. Kerkhoven, F. Zijl, M. Genseberger (2016): Advies voor algemeen functioneel ontwerp voor de 6e-generatie modellen van RWS. Deltares rapport 1230071-011-ZWS-0009
- STOWA, 1999, Good Modelling Practice Handbook; STOWA report 99-05, Dutch Dept. of Public Works, Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment, report 99.036, ISBN 90-5773-056-1
- Vossen, B. van, & Uittenbogaard, R. E. (2004): Subgrid-scale model for quasi-2D turbulence in shallow water Shallow Flows (pp. 575-582): Taylor & Francis.
- Uittenbogaard, R.E.; Stolker, C.; Goede, E.D. de; Kester, J.A.T.M. van; Jagers, H.R.A. ; Wijbenga, J.H.A. (2005). Eddy viscositeit in WAQUA modellen voor Rijntakken en Maas. WL Delft Hydraulics, Report Q3846.
- Yossef, M. F. M. (2005). Morphodynamics of rivers with groynes. (Ook verschenen als proefschrift Technische Universiteit Delft, 2005 PhD), DUP Science, Delft





## A Bijlage: Programma van eisen zesde generatie Watermodellen 2D en 3D

**Versie 2, na verwerking van opmerkingen van: Deltares en Rijkswaterstaat: Jan Rolf Hendriks, Siebolt Folkertsma, Yann Friocourt, Dénes Beyer, Hans Hartholt, Aad Dollee, Arthur Kors**

In september 2015 is het D-HYDRO Suite softwarepakket door Deltares opgeleverd. Deze software lijn gaat de WAQUA en TRIWAQ software lijn en de SOBEK RE software lijn van RWS vervangen. Dit betekent dat voor alle RWS beheergebieden waar momenteel WAQUA, TRIWAQ en SOBEK RE modellen worden gebruikt, de bestaande modellen moeten worden vervangen door nog te ontwikkelen/in ontwikkeling zijnde modellen gebaseerd op de D-HYDRO Suite. Voor een aantal toepassingen, met name waterkwaliteit, is het noodzakelijk om nog enige tijd Delft2d/3d software toe te passen. De D-HYDRO Suite lijn moet in de toekomst echter ook deze schematisaties gaan vervangen. Dat biedt de mogelijkheid om alle gebieden goed op elkaar te laten aansluiten, zowel qua gebied en toepassing als ook in te hanteren uitgangspunten en aannames. Het resultaat is een nieuwe lijn modellen, de zogenoemde zesde-generatie Watermodellen.

In dit memo worden de eisen benoemd die RWS aan de nieuwe modellen stelt. De hier genoemde eisen hebben alleen betrekking op de 2D en 3D modellen. De 1D modellen zijn hier buiten beschouwing gelaten.

In principe wordt er één model gemaakt voor het gehele RWS beheergebied. Het is echter nog niet mogelijk om met behulp van één 2d/3d model van het gehele beheergebied effectief door te rekenen. Daarom wordt het totale RWS beheergebied opgeknipt in meerdere modellen. Samen vormen deze modellen één logisch aan elkaar passend modelsysteem voor het totale RWS beheergebied wat in de toekomst, als de rekencapaciteit toeneemt en/of code verder geoptimaliseerd is, als één model kan functioneren

Hieronder volgen eerst de eisen die voor het gehele modelsysteem gelden, daarna volgt een verdere specificatie per deelmodelgebied.

### Algemeen

- De hoofdeis: de zesde-generatie modellen presteren minimaal gelijk en bij voorkeur beter dan de vijfde generatie modellen. Dit geldt voor zowel de nauwkeurigheid van de rekenresultaten, de gebruiksvriendelijkheid en de presentatiemogelijkheden.
- De modellen moeten bij oplevering door Deltares onder het DeltaShell UI kunnen draaien.
- De modellen moeten bij oplevering ook zonder het DeltaShell UI kunnen draaien op zowel Windows als Linux omgevingen.
- Als op termijn de computer rekencapaciteit voldoende is toegenomen, moet het zesde-generatie model als één landelijk model van Nederland kunnen rekenen.
- Bij de ontwikkeling dient rekening gehouden te worden met de actuele situatie, de situatie tijdens kalibratie en validatie en met reeds bekende toekomstige ontwikkelingen.

## Gebiedsdekking

- De modellen dekken minimaal het beheergebied van RWS.
- Indien het voor het verkrijgen van goede begincondities en resultaten noodzakelijk is om een groter gebied te bestrijken dan wordt het gebied uitgebreid.
- De modellen zijn gebaseerd op de Baseline 6-gebiedsbeschrijving en beschrijven zoveel mogelijk een vergelijkbare actuele situatie.
- De modellen worden gevuld vanuit de gebiedsbeschrijving in Baseline. Buiten de kustzone is nog geen Baseline gebied beschrijving aanwezig. Deze moet worden toegevoegd. De Baseline data van het Nederlandse deel is in het RD coördinatenstelsel, het deel buiten de kustzone wordt opgeslagen in een nog af te stemmen coördinatenstelsel.
- Modelgrenzen van de individuele watersystemen moeten zodanig worden geplaatst dat er een naadloze koppeling tussen de modelsystemen mogelijk is.

## Rekenrooster

- Het rekenrooster bedekt het te modelleren gebied, waarbij rekening wordt gehouden met de actuele situatie, de situaties tijdens kalibratie en validatie en de situatie van reeds bekende toekomstige gebiedsontwikkelingen.
- Kunstwerken in het RWS beheergebied moeten precies op de roosterlijnen kunnen worden geschematiseerd. Minimaal 1 roostercel per kunstwerk, tenzij dit onevenredig veel invloed op de minimale rekentijdstep gaat hebben.
- Belangrijke stroombepalende elementen moeten op roosterlijnen kunnen worden geschematiseerd.
- Er dient een logische verklaring te worden gegeven indien er verschillende soorten roosters (curvi linear, driehoeken, veelhoeken) worden gebruikt.
- Het rekenrooster bevat voldoende resolutie in de interessegebieden. De rekentijden zijn grotendeels afhankelijk van de resolutie van het rekenrooster. De te verwachten rekentijden van de nieuwe roosters moeten worden afgezet tegen de rekentijden van de vijfde generatie modellen. Absolute rekentijden zijn op voorhand niet te geven. Wat wel en niet haalbaar is moet in overleg worden vastgesteld.
- Er is een sterke wens om rekenroosters, indien nodig, automatisch te kunnen verfijnen. Waar mogelijk moet met deze wens rekening gehouden worden, maar niet ten koste van andere eisen.

## Kunstwerken

- Kunstwerken in het RWS beheergebied moeten precies op de roosterlijnen kunnen worden geschematiseerd. Minimaal één roostercel per kunstwerk, tenzij dit onevenredig veel invloed op de minimale rekentijdstep gaat hebben. Bij de locatie van het kunstwerk gaat het om de bewegende delen zoals sluisdeuren en stuwbogen.
- Kunstwerken die op de rand van het beheergebied zijn gelegen kunnen via puntlozingen en onttrekkingen worden gemodelleerd.
- Kunstwerken in het RWS beheergebied zijn: stuwen, stormvloedkeringen, hoogwaterkeringen, regelwerken, scheepvaartsluizen, spuisluisen, schutsluizen, inlaatkunstwerken, uitwateringssluizen e.d.
- Kunstwerken dienen, indien relevant, te kunnen overstorten
- Kunstwerken moeten aangestuurd kunnen worden via een beoogd beheer (bv. stuwprogramma), maar ook via een gerealiseerd beheer (in het geval van een kalibratie of validatie). Dus ook sturing op bijvoorbeeld gemeten waterstanden/afvoeren of openen / sluiten op werkelijke tijdstippen.
- In crisis situaties moet het mogelijk zijn om de kunstwerken anders te sturen dan volgens het officiële stuurprogramma.

#### Kalibratie, validatie en verificatie (en modelonzekerheid)

- Voor het beoordelen van modelschematisaties worden de termen kalibratie, validatie en verificatie gebruikt en hier wordt het volgende onder verstaan:
  - De kalibratie bestaat uit het afregelen van onzekere of meest bepalende parameters, zodat modelresultaten overeenkomen met gemeten data. Kalibratie vindt doorgaans plaats onder (een aantal) representatieve omstandigheden (storm, hoog water, laag water, etc.), maar het kunnen ook dagelijkse omstandigheden zijn (getij, gemiddelde afvoer, etc) waarvoor gekalibreerd wordt. De mate van overeenkomst tussen modelresultaten en data wordt weergegeven door de Goodness-of-fit criteria. Uit de kalibratie volgt een set gekalibreerde parameters.
  - De validatie bestaat uit het toetsen van de gekalibreerde parameters in een andere situatie dan de tijdens de kalibratie gebruikte periode. Een succesvolle validatie geeft vertrouwen in de mate waarin de gekalibreerde parameters ook goede resultaten geven in andere situaties. Validatie is een wezenlijk onderdeel van het kalibratieproces. Na de validatie wordt bepaald of het model geschikt is voor de toepassing. Validatie kan ook plaatsvinden in dezelfde periode als de kalibratie, maar op andere locaties of op andere grootheden. Bijvoorbeeld op tussenliggende meetpunten, of gemeten stroomsnelheden.
  - Tijdens de verificatie wordt nagegaan of het geoperationaliseerde model nog steeds consistente uitkomsten geeft. Het model wordt beoordeeld op de resultaten van de eerder gekalibreerde en gevalideerde parameters. Voorbeeld hiervan zijn de jaarsommen voor het Rin Maasmonding gebied.
- Voor de kalibratie en validatie worden zo recent mogelijke perioden gekozen. Deze perioden moeten de omstandigheden waaronder het model goed moet werken afdekken.
- Voor de verschillende watersystemen moeten zoveel mogelijk dezelfde perioden worden gekozen. Er moet een overzicht worden gemaakt van alle in Nederland te gebruiken perioden voor kalibratie en validatie en per gebied aangeven welke periode in het gebied wordt gebruikt.
- Bij kalibratie bepaalt als eerste de automatische procedure (OpenDA) het resultaat. Er worden in deze fase zo weinig mogelijk begrenzings meegegeven aan de waarden voor de parameter waarmee wordt gekalibreerd. Vervolgens worden de gevonden waarden beoordeeld en vind in overleg met RWS zo nodig bijstelling plaats naar realistische waarden. Dit punt is strikt genomen geen functionele eis maar wel een belangrijk/gewenst punt.

#### Goodness-of-Fit criteria

- Het beoordelen van de nauwkeurigheid van de modellen wordt uitgedrukt in zogenaamde Goodness-of-Fit criteria. Het verschil in meting en berekening moet worden weergegeven voor:
  - De gemiddelde afwijking (GV of Bias)
  - De root mean square error (RMSE)
  - De standaard deviatie (SD)
  - Het verschil in het maximum (Dmax)
  - Het verschil in het minimum (Dmin)
  - Het verschil in het tijdstip van het maximum (Dtmax)
  - Het verschil in het tijdstip van het minimum (Dtmin)

- Voor deze criteria moet eenmalig de definitie worden beschreven en vervolgens dient deze voor de beoordeling van alle modellen te worden gebruikt. Afhankelijk van de beschikbare metingen of het type parameter of het modelgebied, kan het zijn dat niet alle criteria van toepassing zijn.

#### Geschiktheid voor koppeling met andere modellen

- De nu te ontwikkelen D-HYDRO modellen moeten geschikt zijn om middels uitvoerresultaten dan wel middels een directe koppeling een verbinding te leggen met andere modellen. Beoogde koppelingsmogelijkheden: Met golven (D-Wave), met morfologie (D-Morphology), met waterkwaliteit inclusief sediment (D-Water Quality), sturing van kunstwerken (D-RTC).

#### Rapportage en presentatie

- De rapportages van de verschillende watersystemen moeten zoveel mogelijk een gelijke opbouw en presentatie hebben. Dit geldt ten aanzien van onder meer: Hoofdstuk indeling, kaarten, grafieken, tabellen ed. Uiteraard heeft elk gebied zijn eigen accenten. Denk daarbij aan een hoofdrapport van één landelijk model met daaronder onderling vergelijkbare deelrapporten voor de modellen van de afzonderlijke gebieden.

Het toetsen van eisen kan afhankelijk zijn van metingen. Indien er geen metingen aanwezig zijn, kan er ook niet getoetst worden aan de meting. Wel kan er iets gezegd worden over de plausibiliteit van de resultaten.

#### Gebiedsindeling

De hoofdindeling is gebaseerd op de indeling volgens het Beheer- en ontwikkelplan voor de Rijkswateren 2016-2021 (BPRW) in zes hoofdgebieden; Rivieren, Kanalen, Waddenzee, Noordzee en kust, IJsselmeergebied en Zuidwestelijke Delta. Indien nodig wordt een hoofdgroep verder onderverdeeld in watersystemen.

In de tabel hieronder wordt per hoofdgroep en watersysteem een nadere detaillering van de eisen en wensen gegeven. De onderwerpen en de weergegeven punten zijn mede weergegeven op "Bijlage B\_Samenvatting\_sheets\_RWS toepassingen.xlsx" .

**Rivieren: Maas**

Onderwerp	Eisen
Toepassing	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vergunningverlening</li> <li>Planologische scenario's: Effectstudies, verkenningen, toetsen maatregelen</li> <li>Waterveiligheid: HR, OR, instellen kunstwerken, advies hoogwaterveiligheid</li> <li>Waterverdeling: inzet retentiegebieden, instellen kunstwerken</li> <li>Scheepvaart: baggerstrategie, dwarsstroming, vaardiepte</li> <li>Afleiden basisgegevens waterbeheer, zoals betrekkinglijnen.</li> <li>Beantwoorden dagelijkse vragen</li> <li>In de toekomst wellicht operationele verwachtingen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Interessegebied</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Het gehele gebied</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Processen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debiet (waterbalans)</li> <li>Waterstand: dagelijks, hoog, extreem hoog, laag, extreem laag (if data permits)</li> <li>Stroomsnelheid en -richting</li> <li>Zowel afvoergolven als stationaire afvoeren</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Rekenrooster</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resolutie zomerbed ongeveer 40 meter in lengte</li> <li>Inlaat retentie gebieden</li> <li>Stroomgeleidingskaden</li> <li>Invaart van aangetakte plassen</li> <li>Het moet mogelijk zijn om het gebied automatisch met een factor te kunnen verfijnen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Kalibratieperioden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zo recent mogelijke perioden</li> <li>Zo veel mogelijk rekening houden met, dezelfde, perioden in andere gebieden</li> <li>In ieder geval de hoog waters van 1995 (kalibratie) en 1993 (validatie)</li> <li>Lage en hoge afvoer omstandigheden</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Kalibratie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen.</li> <li>Waterstanden kalibreren op basis van een kalibratiefactor over de ruwheden van delen van het gebied. Nog vaststellen welke dat zijn, maar hoogstwaarschijnlijk het zomerbed van de rivier.</li> <li>Kalibreren op verschillende omstandigheden (van een lage tot hoge afvoer).</li> <li>Als eerste de gemiddelde afwijking (GV of BIAS) per station van de waterstand in de te beschouwen periode tussen -0,005 en 0,005 m op de top van een afvoergolf, of op een periode met gelijkblijvende afvoer</li> <li>Wens: gelijkmatig verloop van kalibratiefactoren</li> <li>Na eventuele aanpassingen van de gekalibreerde factoren de gemiddelde afwijking per station van de waterstand in de te beschouwen periode tussen -0,05 en 0,05 m. De categorie hoog water (1995 en 1993) is bijzonder, aangezien er voor afvoeren hoger dan 1995 en 1993 in alle toepassingen geëxtrapoleerd wordt. Wel bekijken op gelijkmatig verloop en in overleg aanpassen.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Validatie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen.</li> <li>Een gemiddelde afwijking (GV of BIAS) per station van plus of min 0,05 meter is heel goed, 0,10 meter is goed.</li> </ul>

Onderwerp	Eisen
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Een gemiddelde afwijking (GV of BIAS) over alle stations van pluso f min 0,05 meter is heel goed, 0,10 meter is goed.</li> <li>• Afvoeren</li> <li>• Stroomsnelheden</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berekening</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actueel en robuust zijn van belang en nauwkeurigheid iets minder en rekensnelheid nog iets minder</li> <li>• Maximaal 10 uur voor een deelmodelgebied (eis voor vergunningverlening)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Overig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geschikt voor zout</li> <li>• geschikt voor temperatuur</li> <li>• geschikt voor 3d toepassingen door middel van hetzelfde rooster waaraan het benodigde aantal lagen worden toegevoegd</li> <li>• geschikt voor koppeling met morfologie</li> <li>• geschikt voor koppeling met stofverspreiding</li> <li>• geschikt voor koppeling met waterkwaliteit</li> </ul>

**Noordzee en kust: Noordzee**

Onderwerp	Eisen
Toepassing	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Waterveiligheid: HR, OR, advies hoogwaterveiligheid, hoogwaterberichtgeving, beheer en onderhoud kust</li> <li>• Scheepvaart: baggerstrategie, dwarsstroming, vaardiepte, tijpoorten, baggeren en storten</li> <li>• Calamiteit: overstroming, verontreiniging, Search and Rescue</li> <li>• Planologische scenario's: Effectstudies, verkenningen, toetsen maatregelen</li> <li>• Beantwoorden dagelijkse vragen</li> </ul>
• Interessegebied	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De Nederlandse kustzone, Waddenzee, Eems-Dollard, Westerschelde, Oosterschelde, Nieuwe Waterweg</li> </ul>
• Processen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Waterstand: getij, dagelijks, hoog, extreem hoog, laag, extreem laag</li> <li>• Stroming (snelheid en richting)</li> <li>• Wind</li> <li>• Golven</li> <li>• Zout</li> </ul>
• Rekenrooster	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolutie in Waddenzee en Eems-Dollard voldoende om water en sedimentuitwisseling op de platen te laten plaatsvinden, orde 100-200 meter</li> <li>• Voor WBI toepassingen is een fijnere resolutie noodzakelijk, nog af te stemmen</li> <li>• Inlaat retentie gebieden</li> <li>• Locatie Oosterscheldekering, Haringvlietsluizen, Maeslantkering, Hartelkering, Hollandsche-IJsselkering, Ems-Sperwerk</li> <li>• Het moet mogelijk zijn om het gebied automatisch met een factor te kunnen verfijnen</li> </ul>
• Kalibratieperioden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zo recent mogelijke perioden</li> <li>• Zo veel mogelijk rekening houden met, dezelfde, perioden in andere gebieden</li> <li>• In ieder geval de Sinterklaasstorm van december 2013</li> </ul>
• Kalibratie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eerst het noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen (denk ook aan zoetwater)</li> <li>• Reststroom (richting en ordegrootte)</li> <li>• Kalibratie van het getij, over een geheel jaar</li> <li>• Waterstanden kalibreren op basis van een kalibratiefactor over de ruwheden van delen van het gebied. Nog vaststellen welke delen dat zijn</li> <li>• Kalibreren op verschillende omstandigheden.</li> <li>• Als eerste de gemiddelde afwijking per station van de waterstand in de te beschouwen periode tussen -0,05 en 0,05 m.</li> <li>• Wens: gelijkmatig verloop van kalibratiefactoren</li> <li>• Na eventuele aanpassingen van de gekalibreerde factoren de gemiddelde afwijking per station van de waterstand in de te beschouwen periode tussen -0,05 en 0,05 m.</li> </ul>
• Validatie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen.</li> <li>• Een gemiddelde afwijking per station van 0,05 meter is heel goed, 0,10 meter is goed.</li> <li>• Een gemiddelde afwijking over alle stations van 0,05 meter is heel goed, 0,10 meter is goed.</li> </ul>

Onderwerp	Eisen
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Validatie getij</li> <li>• Validatie stormen</li> <li>• Validatie stroomsnelheden en richting</li> <li>• Validatie laag- en hoogwater</li> </ul>
• Berekening	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actueel en robuust zijn van belang en nauwkeurig en snelheid iets minder</li> </ul>
• Overig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geschikt voor 3d toepassingen door middel van hetzelfde rooster waaraan het benodigde aantal lagen worden toegevoegd</li> <li>• geschikt voor temperatuur</li> <li>• geschikt voor koppeling met golven</li> <li>• geschikt voor koppeling met morfologie</li> <li>• geschikt voor koppeling met stofverspreiding</li> <li>• geschikt voor koppeling met waterkwaliteit</li> <li>• Jaarlijkse variaties gemiddelde waterstand tussen Kanaal en Atlantische randen van de Noordzee en Nederlandse kust t.b.v. nutriëntinvoer vanuit het oceaan</li> <li>• Estuariene circulatie t.b.v. zoutverspreiding en slibverspreiding</li> <li>• Opbouw (temperatuur- en zoutgelaagdheid als gevolg van estuariene circulatie en opwarming wateroppervlak) en afbouw gelaagdheid als gevolg van menging (wind, waar relevant ook golven (Waddenzee)) t.b.v. zout- en/of temperatuurgelaagdheid, groei algen, zuurstofloosheid</li> </ul>



**IJsselmeergebied: Markermeer en Veluwerandmeren**

Onderwerp	Eisen
Toepassing	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Waterveiligheid: HR, OR, advies hoogwaterveiligheid, hoogwaterberichtgeving</li> <li>• Waterverdeling: peilbeheer, instellen kunstwerken</li> <li>• Scheepvaart: baggerstrategie,</li> <li>• Calamiteit: overstroming, verontreiniging</li> <li>• Planologische scenario's: Effectstudies, verkenningen, toetsen maatregelen</li> <li>• Beantwoorden dagelijkse vragen</li> </ul>
• Interessegebied	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Het Markermeer (met nadruk de oeverzones), IJmeer, Eemmeer en Eem, Veluwerandmeren</li> </ul>
• Processen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen</li> <li>• Waterstand: dagelijks, hoog, extreem hoog, laag, extreem laag</li> <li>• Stroomsnelheid</li> <li>• Wind</li> <li>• Golven</li> <li>• Waterbalans</li> </ul>
• Rekenrooster	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolutie in midden Markermeer kan minder dan de oeverzones,</li> <li>• Het moet mogelijk zijn om het gebied automatisch met een factor te kunnen verfijnen</li> <li>• Locatie kunstwerken: Houtribspuisluis, .....</li> </ul>
• Kalibratieperioden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zo recent mogelijke perioden</li> <li>• Zo veel mogelijk rekening houden met, dezelfde, perioden in andere fysisch vergelijkbare(?) gebieden</li> <li>• In ieder geval de Sinterklaasstorm van december 2013</li> </ul>
• Kalibratie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eerst debiet en waterbalans zo goed mogelijk op orde brengen</li> <li>• Stroomsnelheden bij verschillende windperioden (afhankelijk van beschikbare metingen)</li> <li>• Waterstanden beoordelen tijdens stormperioden</li> <li>• Indien nodig, waterstanden als gevolg van storm kalibreren op basis van een kalibratiefactor over de ruwheden van delen van het gebied. Nog vaststellen welke delen dat zijn</li> <li>• Kalibreren op verschillende stormen.</li> <li>• Als eerste de gemiddelde afwijking per station van de waterstand in de te beschouwen periode tussen -0,05 en 0,05 m.</li> <li>• Wens: gelijkmatig verloop van kalibratiefactoren</li> <li>• Na eventuele aanpassingen van de gekalibreerde factoren de gemiddelde afwijking per station van de waterstand in de te beschouwen periode tussen -0,05 en 0,05 m.</li> </ul>
• Validatie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen.</li> <li>• Een gemiddelde afwijking per station van 0,10 meter is heel goed, 0,20 meter is goed.</li> <li>• Een gemiddelde afwijking over alle stations van 0,10 meter is heel goed, 0,20 meter is goed.</li> <li>• Validatie stormen</li> <li>• Validatie stroomsnelheden</li> <li>• Validatie laag water</li> </ul>
• Berekening	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actueel, robuust en nauwkeurig zijn van belang, rekensnelheid iets minder</li> </ul>

<b>Onderwerp</b>	<b>Eisen</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Overig</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• geschikt voor 3d toepassingen door middel van hetzelfde rooster waaraan het benodigde aantal lagen worden toegevoegd</li><li>• geschikt voor temperatuur</li><li>• geschikt voor koppeling met golven</li><li>• geschikt voor koppeling met morfologie</li><li>• geschikt voor koppeling met stofverspreiding</li><li>• geschikt voor koppeling met waterkwaliteit</li></ul>

**Zuidwestelijke Delta: Oosterschelde**

Onderwerp	Eisen
Toepassing	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Waterveiligheid: Peilbeheer en aansturing kunstwerken, HR, OR, advies hoogwaterveiligheid, hoogwaterberichtgeving, beheer en onderhoud kunstwerken</li> <li>• Calamiteit: overstroming, verontreiniging, Search and Rescue</li> <li>• Waterverdeling: instellen kunstwerken, hoogwater</li> <li>• Scheepvaart: baggerstrategie, baggeren en storten</li> <li>• Planologische scenario's: Effectstudies, verkenningen, toetsen maatregelen</li> <li>• Beantwoorden dagelijkse vragen</li> </ul>
• Interessegebied	• Gehele gebied met extra nadruk op de Oosterscheldekering
• Processen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen.</li> <li>• Waterstand: getij, dagelijks, hoog, extreem hoog, laag, extreem laag</li> <li>• Stroomsnelheid</li> <li>• Wind</li> <li>• Golven</li> <li>• Zout</li> </ul>
• Rekenrooster	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Locatie Oosterscheldekering</li> <li>• Het moet mogelijk zijn om het gebied automatisch met een factor te kunnen verfijnen</li> <li>• Verbinding met Veerse Meer via de Katse Heule</li> <li>• Kanaal door Zuid Beveland</li> <li>• Krammersluizen, Bergse Diepsluis(?), Flakkeese spuisluis (?), Rammegors</li> <li>•</li> </ul>
• Kalibratieperioden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zo recent mogelijke perioden</li> <li>• Zo veel mogelijk rekening houden met, dezelfde, perioden in andere gebieden</li> <li>• In ieder geval de Sinterklaasstorm van december 2013</li> <li>• Een periode met een sluiting van de Oosterscheldekering</li> <li>• Oostenwind is ook relevant, WBI</li> </ul>
• Kalibratie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen (denk ook aan zoet water)</li> <li>• Reststroom (kalibreren op richting en ordegrootte)</li> <li>• Kalibratie van het getij</li> <li>• Kalibratie van lekopening</li> <li>• Waterstanden kalibreren op basis van een kalibratiefactor over de ruwheden van delen van het gebied. Nog vaststellen welke delen dat zijn</li> <li>• Kalibreren op verschillende omstandigheden.</li> <li>• Als eerste de gemiddelde afwijking per station van de waterstand in de te beschouwen periode tussen -0,05 en 0,05 m.</li> <li>• Na eventuele aanpassingen van de gekalibreerde factoren de gemiddelde afwijking per station van de waterstand in de te beschouwen periode tussen -0,05 en 0,05 m.</li> <li>• Wens: gelijkmatig verloop van kalibratiefactoren</li> </ul>
• Validatie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen (denk ook aan zoet water)</li> <li>• Een gemiddelde afwijking per station van 0,05 meter is heel goed,</li> </ul>

Onderwerp	Eisen
	<p>0,10 meter is goed.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Een gemiddelde afwijking over alle stations van 0,05 meter is heel goed, 0,10 meter is goed.</li> <li>• Validatie getij</li> <li>• Validatie stormen</li> <li>• Validatie stroomsnelheden</li> <li>• Validatie laag water</li> <li>• Validatie sluiting</li> </ul>
• Berekening	• Actueel, robuust en nauwkeurig zijn van belang boven rekensnelheid
• Overig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geschikt voor 3d toepassingen door middel van hetzelfde rooster waaraan het benodigde aantal lagen worden toegevoegd</li> <li>• geschikt voor temperatuur</li> <li>• geschikt voor koppeling met golven</li> <li>• geschikt voor koppeling morfologie</li> <li>• geschikt voor koppeling met stofverspreiding</li> <li>• geschikt voor koppeling waterkwaliteit</li> </ul>

## Antwoorden op gestelde vragen en aandachtspunten

OR betekent Ontwerp Randvoorwaarden (SF en AS)

De Maas kalibreren we tot nog toe op het verminderen van het gemiddelde verschil van de waterstand. Dan moet de hoofd beoordeling ook op dit criterium. Een overgang naar RMSE met een criterium kan ik niet geven. (AS)

Maas. Na de beoordeling van de kalibratie kan het zijn dat er een andere keuze voor de gekalibreerde waarden wordt gemaakt. Indien dat het geval is kan de waardering van de uitkomsten niet gelijk worden gehouden aan de opdracht voor de kalibratie en wordt een grotere afwijking nog als goed beoordeeld. (SF)

Brugpijlers worden in de ruwheden opgenomen (SF)

Zijn instromende dijkringen voldoende bekend om mee genomen te kunnen worden in het rooster ontwerp (SF)

Bij de eisen per deelgebied staat dat debieten eerst zo goed mogelijk op orde gebracht dienen te worden. Indien lozingen en onttrekkingen van belang zijn op de resultaten van de kalibratie dan moeten deze indien mogelijk (beschikbaar) worden meegenomen voordat wordt aangevangen met de kalibratie. Bij een korte kalibratieperiode (vaak stormen) kan het niet noodzakelijk zijn om de complete waterbalans van de watersysteem op orde te brengen. (JRH en AS en DB)

Nutriënttransport en slibverspreiding zijn afhankelijk van een goede beschrijving van de stroming (snelheid en richting) (YF)

Het kan nodig zijn om voor specifieke toepassingen nog andere Goodness Of Fit criteria te benoemen (YF)

De opsomming van de toepassingen staat in grote lijnen op volgorde van prioriteit (AS)

Bij de huidige Noordzee modellen (DCSM en DCSM/ZUNO) zijn delen van estuaria aanwezig in het model. Indien dat bij de D-Flow modellen ook zo is dan moet er rekening worden gehouden met de kunstwerken die in deze estuaria aanwezig zijn (DK)

In het algemene deel is vastgelegd welke onderdelen tot de GoF worden gerekend en dat deze moeten worden toegepast. Afhankelijk van beschikbare metingen, type parameter of modelgebied kan het zijn dat niet alle criteria zinvol zijn om mee te nemen in de beschouwing. (FZ)

## Openstaande vragen

Moeten we in dit document iets met onzekerheden (MY):

- Uncertainty analysis:
  - After the model has been calibrated, a quantification of the model uncertainty will be carried out.
  - For practical reasons, the analysis can be limited to 'model-uncertainty', viz. the uncertainty in boundary conditions is not part of this analysis.
  - The model-uncertainty may include i) uncertainty due to calibration, and ii) uncertainty due to model update to final schematisation.
  - ... other things?
  -

en kwaliteit van meetdata? (MY)

An assessment of the quality of data will be included in this analysis; the assessment may include:

- Consistency of data, particularly the water balance
- Scatter in water level measurements (for the same discharge)
- Accuracy of measurements (of stations)

OR: simply we ask RWS to take care of this

## Publicaties

Scientific publications are stimulated. To share knowledge and experience and promote the Dutch know-how in the water sector! (MY) Before publishing one should contact RWS for permission and to check the potential political risks of publishing.

Tabel Noordzee: Eis YF en antwoord FZ

- Jaarlijkse variaties gemiddelde waterstand tussen Kanaal en Atlantische randen van de Noordzee en Nederlandse kust t.b.v. nutriëntinvoer vanuit het oceaan (YF)
- Hoewel in het ZUNO-DD model de kanaalrand opgetild wordt om een realistisch resttransport door het kanaal te krijgen, ben ik er niet van overtuigd dat dit het juiste mechanisme is. Alternatief voorstel: Realistische restdebiet door het Kanaal. Aanvullend: validatie van stofverspreiding op de Noordzee (bijvoorbeeld door vergelijking met radioactieve tracers). (antwoord FZ)

## Rekentijden

Wat zijn de eisen ten aanzien van de reketijden? Bij hetzelfde rekeninstrumentarium van de operationele toepassingen (RWsOS) moeten de reketijden vergelijkbaar zijn met de huidige modellen. Maar voordat de nieuwe modellen geschikt zijn voor operationele toepassingen zijn we ook wat verder in de tijd en kan het zijn dat de rekenomgeving is gewijzigd. Reketijden moeten nadrukkelijk in het oog worden gehouden en met elkaar besproken worden wat wel en niet kan. Hierover contact houden tussen modelontwikkelaar en latere modelgebruiker is beslist noodzakelijk. Ondertussen moeten we bij RWS nagaan wat de voorziene ontwikkeling m.b.t. de RWS-rekenomgeving is.

## **B Bijlage: Wettelijke en bestuurlijke kaders**

### **B.1 Waterwet**

Op 22 december 2009 is de Waterwet in werking getreden. Een achttal wetten is samengevoegd tot één wet, de Waterwet. De Waterwet regelt het beheer van oppervlaktewater en grondwater, en verbetert ook de samenhang tussen waterbeleid en ruimtelijke ordening. Daarnaast levert de Waterwet een belangrijke bijdrage aan kabinetsdoelstellingen zoals vermindering van regels, vergunningstelsels en administratieve lasten. Totdat de Omgevingswet in werking treedt- voorzien voor 2018 - blijft de Waterwet van kracht.

In het Waterbesluit wordt onder meer de vaststelling van een landelijke rangorde bij watertekorten, de zogenaamde verdringingsreeks, vastgelegd. Ook regelt het Waterbesluit procedurele en inhoudelijke aspecten van het nationale waterplan en het beheerplan voor de rijkswateren en enkele inhoudelijke aspecten van de plannen in verband met implementatie van de Kaderrichtlijn water en de Richtlijn overstromingsrisico's. Ook geeft het Waterbesluit aan voor welke oppervlaktewaterlichamen in beheer bij RWS er geen leggerplicht geldt. Een vergunningsplicht en algemene regels zijn uitgewerkt voor het gebruik van rijkswaterstaatswerken, het onttrekken van grondwater en voor het lozen of onttrekken van water aan oppervlaktewater in beheer bij het Rijk.

De Waterregeling bevat regels over de organisatie van het waterbeheer, een aantal kaarten over de toedeling van beheer, de begrenzing van oppervlaktewaterlichamen en de aanwijzing van de drogere oevergebieden, alsmede regels voor gegevensverstrekking aan het Rijk op grond van Europese verplichtingen.

De Waterwet kent één watervergunning. Dit betekent dat één aanvraag volstaat, ook al zijn er verschillende overheden in beeld.

Ook het ontwikkelen van vegetatie valt onder de Waterwet vergunningsplicht. In principe wordt voor de watervergunning getoetst en beoordeeld in de ruimte van redelijkheid en billijkheid.

Daarnaast heeft RWS de wettelijke taak om operationele verwachtingen te maken voortvloeiend uit de taak dat burgers tijdig geïnformeerd moeten worden (zorgplicht). Impliciet is dit onderdeel van de Waterwet.

### **B.2 Omgevingswet**

Met de Omgevingswet wil de overheid de regels voor ruimtelijke ontwikkeling vereenvoudigen en samenvoegen. De Omgevingswet wordt in 2018 van kracht. Er zijn wel voorbereidingen aan de gang en RWS is penvoerder daarin. Er wordt toegewerkt naar Informatiehuizen, waarin de informatiestromen worden georganiseerd. Deltares is met RWS-Corporate in overleg om ook de kennis binnen deze Informatiehuizen te borgen.

### **B.3 Nieuwe normering**

Vanaf 1 januari 2017 wordt de nieuwe normering vastgesteld. Dit heeft ook invloed op de manier waarop de beoordeling van plannen en vergunningen met behulp van modelschematisaties wordt uitgevoerd. Op dit moment wordt binnen RWS nog gekeken wat de nieuwe normering betekent in het kader van het Beheer- en Onderhoudsproces van RWS. Het kan zijn dat daar aanbevelingen uit voortkomen, waarmee rekening moet worden gehouden in de modellen. Mogelijk gaan stijgende en dalende waterstanden daarbij een rol spelen.

## B.4 Kader Toepassing Netwerkmodellen Water en Scheepvaart

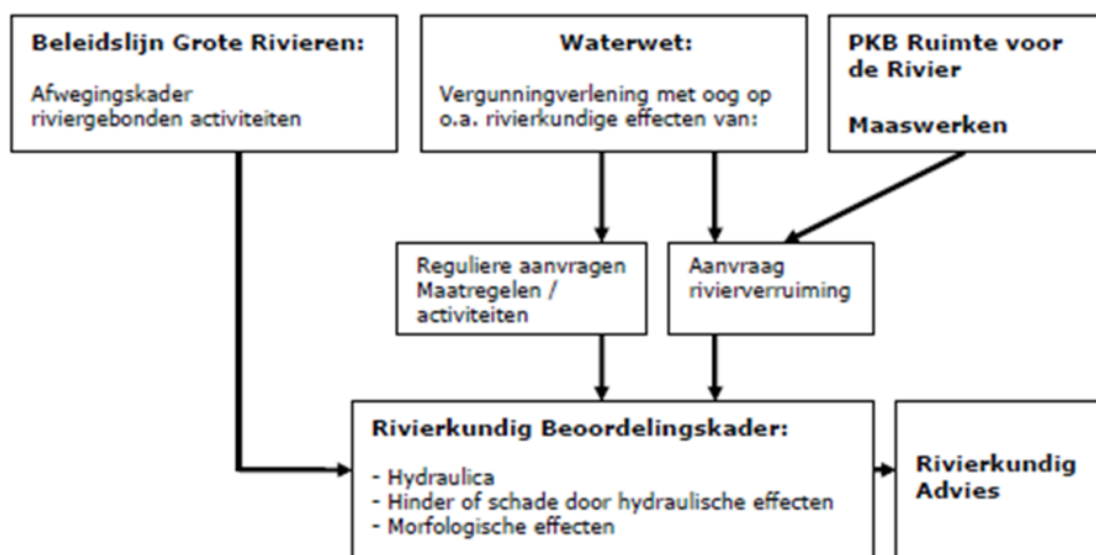
Dit kader schrijft voor welke modellen er voor de processen van RWS gebruikt moeten worden. Hieronder vallen de modellen voor WBI, maar ook voor de vergunningverlening. De lijst wordt jaarlijks aangepast. De frequentie van deze aanpassing moet eigenlijk worden verhoogd en de modellen die in dit kader worden genoemd, moeten beschikbaar gemaakt worden via de Helpdesk Water. Daarnaast wordt via de SLA Modelinstrumentarium en crisismanagement (overeenkomt tussen I&M en Deltares) vastgesteld welke modellen en software er beheerd en onderhouden worden bij Deltares.

## B.5 Beleidslijn Grote Rivieren

Doelstelling van de Beleidslijn is om de beschikbare afvoer- en bergingscapaciteit van het rivierbed te behouden en ontwikkelingen tegen te gaan die de mogelijkheid tot rivierverruiming door verbreding en verlaging nu en in de toekomst feitelijk onmogelijk maken. De Beleidslijn stelt regels aan de toelaatbaarheid van activiteiten en indien toelaatbaar, aan de voorwaarden aan de uitvoering van deze activiteiten. Het Rivierkundig Beoordelingskader is deels een uitwerking van deze voorwaarden voor activiteiten die toelaatbaar én vergunningplichtig zijn.

## B.6 Rivierkundig Beoordelingskader (RBK)

Initiatiefnemers die maatregelen willen nemen in het zomer- of winterbed van de Rijntakken, de Maas, de Rijn-Maasmonding, de IJsseldelta of het Zwarte Water moeten hiervoor bij Rijkswaterstaat een vergunning aanvragen in het kader van de Waterwet (en soms de Ontgrondingenwet). Het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) voor ingrepen in de Grote Rivieren beoogt om ingrepen in de rivier in het kader van de Waterwet op een eenduidige en uniforme manier rivierkundig te kunnen beoordelen (RWS, 2014). Dit beoordelingskader beperkt zich tot de aspecten water en sediment. De vigerende versie is 4.0 uit 2017.



Figuur B.1 Het Rivierkundig Beoordelingskader sluit aan op de Beleidslijn Grote Rivieren en is een handleiding bij het toetsen van maatregelen/activiteiten waarvoor in het kader van de Waterwet vergunningen worden aangevraagd (Bron: RWS, 2014)



Rivierkundige effecten worden beoordeeld op 3 hoofdthema's:

- 1 Hoogwaterveiligheid
- 2 Hinder of schade door hydraulische effecten
- 3 Morfologische effecten

Voor de verschillende gebieden wordt echter op verschillende effecten beoordeeld al naar gelang het fysisch karakter van het systeem. Een aandachtspunt hierbij is dat één van de beoordelingscriteria bij vergunningen de dwarsstroom op schepen is. Het gaat hierbij om de absolute getallen en niet om het verschil. Dit betekent dat naast waterstanden de zesde-generatie modellen voor RWS ook stromingen goed moeten kunnen berekenen.

Enkele aanmerkingen op het huidige RBK:

- Berg- en retentie-effecten komen nu niet tot uiting in het RBK. Het zou mogelijk goed zijn om ook meer dynamische condities door te rekenen.
- Peilbesluiten zitten niet in het RBK, waardoor je dergelijke effecten nu niet doorrekent.

## B.7 Leggers

Om Nederland te kunnen beschermen tegen hoogwater moeten rijkswaterstaatswerken als dijken, sluizen en vaarwegen aan bepaalde normen voldoen. Deze normen zijn vastgelegd in zogenoemde leggers.

- Legger rijkswaterstaatswerken  
De Legger rijkswaterstaatswerken is een verzameling van kaarten waarop de normen voor rijkswaterstaatswerken staan beschreven. Bijvoorbeeld eisen voor de ligging, vorm, afmeting en constructie van deze objecten.
- Vegetatielegger  
De Vegetatielegger bestaat uit overzichtskaarten en regels, die samen aangeven welke type begroeiing waar is toegestaan vanuit het oogpunt van hoogwaterveiligheid. De vegetatielegger is al opgenomen in de vijfde-generatie modelschematisaties van de Rijntakken, Maas, Rijn-Maasmonding en IJsselmeer, IJssel-Vecht Delta.

## B.8 Ontgrondingenwet

De Ontgrondingenwet regelt het winnen van zand, grind, klei en andere materialen uit de Nederlandse bodem. Bedrijven die voor dat doel uit de rivierbedding of Noordzee grond willen winnen moeten bij Rijkswaterstaat een vergunning aanvragen op basis van de Ontgrondingenwet. Dit stelt geen specifieke eisen aan de modellen. Wel moet het mogelijk zijn om iets te kunnen zeggen in relatie tot de risico's van ontgroning. Beoordeling hiervan vindt niet alleen plaats bij RWS maar ook bij de Provincie.

## B.9 Natuurwet

In het kader van de Natuurwet zijn er de Vogelrichtlijn, Habitatrichtlijn (en zwemwaterrichtlijn). Binnen dit kader worden modellen toegepast. Het is echter niet geheel duidelijk welke eisen dit aan de modellen stelt en of dit relevant is voor de zesde-generatie modelschematisaties.

**B.10 Overige protocollen en besluiten**

Naast de hierboven genoemde algemene wettelijke en bestuurlijke kaders gelden er ook kaders die op een meer lokaal niveau van kracht zijn. Hierbij moet worden gedacht aan:

- Peilbesluiten
- Sluitprotocollen voor kunstwerken en stormvloedkeringen
- Inlaatprotocollen voor overlaten/bergingsgebieden
- Waterakkoorden en bijbehorende maal- en lozingsstopniveaus
- Afspraken ter voorkoming van overschrijding temperatuurcriteria

Deze kaders moeten ook worden meegenomen in de opzet van de modellen indien van toepassing

**B.11 Verdragen met het buitenland**

Het water trekt zich niets aan van landsgrenzen, dus zijn er door RWS ook afspraken gemaakt met het buitenland over waterbeheer. Een voorbeeld hiervan is het Maasafvoeroverdrag tussen Nederland en Vlaanderen. Met dit verdrag wordt het beschikbare Maaswater zo goed mogelijk verdeeld bij lage afvoeren. Deze afspraken moeten ook terugkomen in de modellen.

**B.12 Europese kaders**

Naast Nederlandse kaders zijn er ook Europese kaders waarvoor verplichtingen gelden. Hieronder worden er een aantal genoemd:

- Kaderrichtlijn Water (KRW)
  - bescherming en verbetering van aquatische ecosystemen
  - duurzaam gebruik van water
  - Tot 2021 gaan er zeker alleen al in de Rijntakken 30 gebieden op de schop om te kunnen voldoen aan de KRW.
  - Noodzakelijk om te kunnen achterhalen waar de KRW-prioritaire en zwartelijststoffen vandaan komen. De vraag is of de huidige KRW-verkenner ruimtelijk fijn genoeg is om alle stoffen mee door te kunnen rekenen
- Kaderrichtlijn Mariene Strategie
  - bescherming en instandhouding van het mariene milieu
  - De meststoffenwetgeving komt vooral vanuit EZ. Hier is mogelijk een rol voor RWS in relatie tot lozingen en de gevolgen voor waterkwaliteit.
- Richtlijn Overstromingsrisico's
  - Europese Hoogwater richtlijnen
  - Opgenomen in de Waterwet
- OSPAR, Richtlijn Marine Spatial Planning
- INSPIRE (zie ook paragraaf 6.5.3)
  - Richtlijn voor de eenduidige opslag voor data.
  - Alle modeluitvoer zou in principe daar al zo veel mogelijk in moeten voorzien

## C Bijlage: Lijst van numerieke basisinstellingen

In de D-Flow Flexible Mesh modelschematisaties worden voor de zesde-generatie modellering basisinstellingen gebruikt. Dit betreft zowel numerieke als fysische parameters. Alleen met goede argumentatie mag hiervan afgeweken worden bij het opzetten van D-Flow Flexible Mesh modelschematisaties voor de zesde generatie. Afwijkingen worden zo veel mogelijk beperkt. Hierdoor zal er een zo groot mogelijke consistentie in modelinvoer tussen de verschillende D-Flow Flexible Mesh modelschematisaties zijn. Bovendien is de doelstelling om één landsdekkend model als uitgangspunt te hebben, wat een (bijna) volledige uniformiteit van de modelinvoer vereist. Tevens wordt getracht de basisinstellingen van de zesde-generatie modelschematisaties zo veel mogelijk identiek te laten zijn aan de default waarden van de D-Flow Flexible Mesh software. Dit zijn default waarden in de software die (hopelijk) overal ter wereld toegepast worden, terwijl de basisinstellingen voor de zesde-generatie modelschematisaties specifiek voor Nederland zijn. Ter illustratie, de default waarde voor de breedtegraad in D-Flow Flexible Mesh (Anglat) is  $0.0^\circ$ , wat correspondeert met de evenaar. Voor de zesde-generatie modelschematisaties wordt als basisinstelling  $52.0^\circ$  toegepast.

De lijst in deze bijlage heeft alleen betrekking op 2D modellering. Voor 3D modellering zijn er nog aanpassingen in het numerieke schema mogelijk en is dus nog niet volledig duidelijk wat de basisinstellingen zullen zijn.

De basisinstellingen bestaan uit voornamelijk fysische en numerieke parameters. De basisinstellingen voor de fysische parameters (dichtheid van lucht, referentiedichtheid van water, ...) zijn overgenomen uit Simona en Delft3D 4. De basisinstellingen voor de numerieke parameters (drempel voor droogval/onderlopen, advectieschema voor impulsvergelijkingen, ...) zijn bepaald op basis van de ervaringen die in de afgelopen jaren met de D-Flow FM software is opgedaan. Zo wijken deze parameters niet of nauwelijks af van de toegepaste parameters in het NGHS-project.

Het verleden met Simona en Delft3D 4 heeft aangetoond dat het gebruik van basisinstellingen zeer goed werkt. In de praktijk blijken de basisinstellingen vrijwel nooit aangepast te worden. Uitzondering daarop zijn de bodemruwheid en de windforcering. Per applicatie blijkt hiervoor vaak een andere instelling nodig te zijn. Dit is ook geconstateerd bij de zesde-generatiemodellering. In Bijlage C.1 is beschreven dat per applicaties (Noordzee, rivieren en meren) andere keuzes gemaakt zijn op deze twee onderdelen. Daarnaast zijn er detailverschillen zoals het al dan niet toepassen van getijopwekkende krachten en een inverse barometercorrectie.

## C.1 Afwijkingen van de default waarden van D-Flow Flexible Mesh

Bij de huidige zesde-generatie modelschematisaties (Noordzee, rivieren en meren) zijn er de volgende afwijkingen in de basisinstellingen ten opzichte van de default waarden van de D-Flow Flexible Mesh software voor wereldwijde toepassingen:

- Getijopwekkende krachten (**tidalforcing**) worden toegepast voor de Noordzee, maar niet voor rivieren en meren. Dit is een toegestane afwijking, omdat het voor de Noordzee de modelresultaten verbetert en het voor rivieren en meren niet van toepassing is.
- Inverse barometercorrectie op open randen (**PavBnd**) wordt toegepast voor de Noordzee maar niet voor rivieren en meren. Dit is een toegestane afwijking, omdat het voor de Noordzee de modelresultaten verbetert en het voor rivieren en meren niet van toepassing is.
- Vegetatie (**Trachytopes**) toepassen waar hiervoor informatie in Baseline beschikbaar is (voor rivieren en meren) en dus niet voor de Noordzee. Dit is een toegestane afwijking.
- De wind drag-formulering is nu verschillend per toepassing. Voor de Noordzee wordt de Charnock-formule toegepast, terwijl bij rivieren en meren de Smith & Banke formulering toegepast wordt.
- De wind drag-coëfficiënten (**Cdbreakpoints**) voor de Noordzee wijken af van de default, omdat hiermee betere resultaten verkregen worden. Dit is een toegestane afwijking.
- Breedtegraad (**Anglat**) van 52.0°.
- De uniforme bodemwrijving (**UniFrictCoef**) is nu per toepassing verschillend. Voor een landsdekkend model zal dit in een in de plaats variërend veld opgeslagen moeten worden, waardoor de modelresultaten niet zullen veranderen.
- Voor de berekening van de horizontale viscositeit/diffusie **Smagorinsky** aanzetten met een coëfficiënt van 0.2, en tegelijk vicouv en dicouv op een achtergrondswaarde van 0.1 te zetten; zie Bijlage H voor de verdere details.
- De implicietheid van de tijdsintegratie (**Teta0**) staat op 0.55. Voor de Noordzeetoepassing zou wellicht een iets kleinere waarde, maar nog steeds groter dan 0.5, mogelijk zijn; bijvoorbeeld 0.51.

No.	MduGroup	MduName	Caption	Type	Default	Description
1	model	Program		String	D-Flow FM	Program name
2	model	Version		String		FM kernel Version
3	model	MDUFormatVersion		String	1.02	File format version (do not edit this)
4	model	GuiVersion		String		DeltaShell FM suite version
5	model	AutoStart	AutoStart: 0 1 2	0 1 2	0	Autostart simulation after loading MDU (0: no, 1: autostart, 2: autostartstop)
6	geometry	NetFile		FileName		Unstructured grid file *_net.nc

No.	MduGroup	MduName	Caption	Type	Default	Description
7	geometry	BathymetryFile		FileName		Bathymetry points file *.xyb
8	geometry	DryPointsFile		FileName		Dry points file *.xyz (third column dummy z values), or dry areas polygon file *.pol (third column 1/-1: inside/outside)
9	geometry	WaterLevIniFile		FileName		Initial water levels sample file *.xyz
10	geometry	LandBoundaryFile		FileName		Land boundaries file *.ldb, used for visualization
11	geometry	ThinDamFile		FileName		Polyline file *_thd.pli, containing thin dams
12	geometry	FixedWeirFile		FileName		Polyline file *_fxw.pliz, containing fixed weirs with rows x, y, crest level, left ground level, right ground level
13	geometry	StructureFile		FileName		File *.ini containing list of structures (pumps, weirs, gates and general structures)
14	geometry	VertplizFile		FileName		Vertical layering file *_vlay.pliz with rows x, y, Z, first Z, nr of layers, second Z, layer type
15	geometry	ProflocFile		FileName		Channel profile location file *_proflocation.xyz with rows x, y, z, profile number ref
16	geometry	ProfdefFile		FileName		Channel profile definition file *_profdefinition.def with definition for all profile numbers
17	geometry	ProfdefxyzFile		FileName		Channel profile definition file _profdefinition.def with definition for all profile numbers
18	geometry	Uniformwidth1D	Default 1D channel width	Double	2	Uniform width for channel profiles not specified by profloc
19	geometry	ManholeFile		FileName		File *.ini containing manholes
20	geometry	WaterLevIni	Initial water level	Double	0	Initial water level at missing s0 values
21	geometry	Bedlevuni	Uniform bed level	Double	-5	Uniform bed level used at missing z values if BedlevType > 2
22	geometry	Bedslope	Bed slope	Double	0	Bed slope inclination if BedlevType > 2
23	geometry	BedlevType	Bed level locations: cells faces nodes/MeanLev nodes/MinLev nodes/MaxLev nodes/MaxLevAtFaces	1 2 3 4 5 6	3	Bathymetry specification (1: at cell centers (from BathymetryFile), 2: at faces (from BathymetryFile), 3: at nodes, face levels mean of node values, 4: at nodes, face levels min. of node values, 5: at nodes, face levels max. of node values, 6: at nodes, face levels max. of cell center values)
24	geometry	Blmeanbelow		Double	-999	If not -999d0, below this level the cell center bed level is the mean of surrounding net nodes

No.	MduGroup	MduName	Caption	Type	Default	Description
25	geometry	Blminabove		Double	-999	If not -999d0, above this level the cell center bed level is the min. of surrounding net nodes
26	geometry	PartitionFile		FileName		Domain partition polygon file *_part.pol for parallel run
27	geometry	AngLat	Angle of latitude	Double	0	Angle of latitude S-N (deg), 0: no Coriolis
28	geometry	AngLon	Angle of longitude	Double	0	Angle of longitude E-W (deg), 0: Greenwich
29	geometry	Conveyance2D	Conveyance-2D type: R=HU R=H R=A/P K=analytic-1D conv K=analytic-2D conv	-1 0 1 2 3	-1	-1: R,H,U,0: R,H, 1: R,A/P, 2: K,analytic-1D conv, 3: K,analytic-2D conv
30	geometry	Nonlin2D		0 1	0	Non-linear 2D volumes, only used if ibedlevtype=3 and Conveyance2D>=1
31	geometry	Sillheightmin	Weir treatment threshold	Double	0	Weir treatment only if both sills larger than this value (m)
32	geometry	Makeorthocenters	From circum- to orthocenters?	0 1	0	Switch from circumcentres to orthocentres in geominit (1: yes, 0: no)
33	geometry	Dcenterinside	Limit cell center	Double	1	Limit cell center (1.0: in cell, 0.0: on c/g)
34	geometry	Bamin		Double	1.e-6	Minimum grid cell area, in combination with cut cells
35	geometry	OpenBoundaryTolerance		Double	3	Search tolerance factor between boundary polyline and grid cells, in cell size units
36	geometry	RenumberFlowNodes	Renumber Flow Nodes?	0 1	1	Renumber the flow nodes (1: yes, 0: no)
37	geometry	Kmx	Max nr of vertical layers	Integer	0	Maximum number of vertical layers
38	geometry	Layertype	Layer type: Sigma Z Mixed	1 2 3	1	Vertical layer type (1: all sigma, 2: all z, 3: use VertplizFile)
39	geometry	Numtopsig	Nr of sigma layers in Z top layer	Integer	0	Number of sigma layers in top of z-layer model
40	geometry	SigmaGrowthFactor	Layer thickness growth factor	Double	1	Layer thickness growth factor from bed up
41	numerics	CFLMax	Max Courant nr	Double	0.7	Maximum Courant number for 2D modelling
42	numerics	AdvecType	Advection type: None Wenneker Wenneker/q(uio-u)	0 1 2 3 4 5 33	33	Advection type (0: none, 1: Wenneker, 2: Wenneker q(uio-u), 3: Perot q(uio-u), 4: Perot q(ui-u), 5: Perot q(ui-u) without itself, 33: scheme 3 accelerated)

No.	MduGroup	MduName	Caption	Type	Default	Description
			Perot q(ui-u)  Perot q(ui-u)  Perot/q(ui-u)-without itself  Perot q(ui-u) accelerated			
43	numerics	TimeStepType	Time step type: Transport Transport+vel. update full impl. step reduce Step Jacobi explicit	0 1 2 3 4	2	Time step handling (0: only transport, 1: transport + velocity update, 2: full implicit step-reduce, 3: step-Jacobi, 4: explicit)
44	numerics	Limtyphu	Water depth limiter type: None MinMod Van Leer Kooren Monotone Central	0 1 2 3 4	0	Limiter type for waterdepth in continuity eqn. (0: none, 1: minmod, 2: van Leer, 3: Kooren, 4: monotone central)
45	numerics	Limtypmom	Advection velocity limiter type: None MinMod Van Leer Kooren Monotone Central	0 1 2 3 4	4	Limiter type for cell center advection velocity (0: none, 1: minmod, 2: van Leer, 3: Kooren, 4: monotone central)
46	numerics	Limtypsa	Salinity transport limiter type: None MinMod Van Leer Kooren Monotone Central	0 1 2 3 4	4	Limiter type for salinity transport (0: none, 1: minmod, 2: van Leer, 3: Kooren, 4: monotone central)
47	numerics	TransportMethod		0 1	1	Transport method (0: Herman's method, 1: Sander's method)
48	numerics	Vertadvtypsal	Vertical salinity advection: None Upwexpl Centrale xpl Upwimpl CentraLimpL CentraLimpL/Upwimpl-neg. higher order expl	0 1 2 3 4 5 6	5	Vertical advection type for salinity (0: none, 1: upwind explicit, 2: central explicit, 3: upwind implicit, 4: central implicit, 5: central implicit but upwind for neg. stratif., 6: higher order explicit, no Forester)
49	numerics	Icgsolver	Solver type: sobekGS_OMP sobekGS_OMPthreadsafe sobekGS sobekGS +	1 2 3 4 5 6 7	4/6/7	Solver type (1: sobekGS_OMP, 2: sobekGS_OMPthreadsafe, 3: sobekGS, 4: sobekGS + Saadilud, 5: parallel/global Saad, 6: parallel/Petsc, 7: parallel/GS) 4=default voor sequentieel, 6=default voor parallel op Linux en

No.	MduGroup	MduName	Caption	Type	Default	Description
			Saadilud parallel/Uniform Saad parallel/Petsc parallel/GS			7=default voor parallel op Windows, omdat Petsc niet op Windows beschikbaar is.)
50	numerics	Maxdegree	Max degree in Gauss elimination	Integer	6	Maximum degree in Gauss elimination
51	numerics	FixedWeirScheme	Fixed weir scheme: None Scheme1 Scheme2 Scheme3 Scheme4 Scheme5 Scheme6 Scheme8 Scheme9	0 1 2 3 4 5 6 8 9	9	Fixed weir scheme (0: none, 1: compact stencil, 2: whole tile lifted, full subgrid weir + factor, 6: semi-subgrid scheme, 8: tabellenboek, 9. Villemonte)
52	numerics	FixedWeirContraction	Fixed weir contraction	Double	1	Fixed weir flow width contraction factor
53	numerics	FixedWeirfrictscheme	Fixed weir friction scheme: hu Subgrid Weir	0 1	1	Fixed weir friction scheme (0: friction based on hu, 1: friction based on subgrid weir friction scheme)
54	numerics	Fixedweirtopwidth	Fixed weir top width	Double	3	Uniform width of the groyne part of fixed weirs
55	numerics	Fixedweirtopfrictcoef	Fixed weir top friction	Double	-999	Uniform friction coefficient of the groyne part of fixed weirs
56	numerics	Fixedweirtalud	Fixed weir talud	Double	0.25	Uniform talud slope of fixed weirs
57	numerics	Izwndpos	Position of z boundary: D3Dflow On net boundary On specified polyline	0 1 2	0	Position of z boundary (0: D3Dflow, 1: on net boundary, 2: on specified polyline)
58	numerics	Tlfsmo	Boundary smoothing time	Double	3600	Fourier smoothing time (s) on water level boundaries
59	numerics	Slopedrop2D	Drop losses threshold	Double	0	Apply drop losses only if local bed slope > Slopedrop2D, (<=0: no drop losses)
60	numerics	Chkadvd	Advection checks depth	Double	0.1	Check advection terms if depth < chkadvd, => less setbacks
61	numerics	Teta0	Time integration theta	Double	0.55	Theta of time integration (0.5 < theta < 1)
62	numerics	Qhrelax	Relaxation on h(Q) boundaries	Double	1.d-2	Relaxation on Q-h open boundaries
63	numerics	Jbasqbwnddownwindhs	Downwind cell h on Q-boundaries?	0 1	0	Water depth scheme at discharge boundaries (0: original hu, 1: downwind hs)



No.	MduGroup	MduName	Caption	Type	Default	Description
64	numerics	cstbnd	Use Delft-3D velocity handling	0 1	0	Delft-3D type velocity treatment near boundaries for small coastal models (1: yes, 0: no)
65	numerics	Maxitverticalforester rsal	Max vertical Forester iterations for salinity	Integer	0	Forester iterations for salinity (0: no vertical filter for salinity, > 0: max nr of iterations)
66	numerics	Maxitverticalforester rtem	Max vertical Forester iterations for temperature	Integer	0	Forester iterations for temperature (0: no vertical filter for temperature, > 0: max nr of iterations)
67	numerics	Jaorgsethu	Velocity reconstruction order	0 1	1	Velocity reconstruction scheme (0 : setumod, sethu, setau sequence, 1 : sethu, setau, setumod sequence (standard))
68	numerics	Turbulencemodel	Turbulence model: None Constant Algebraic  k-eps k-tau	0 1 2 3 4	3	Turbulence model (0: none, 1: constant, 2: algebraic, 3: k-epsilon, 4: k-tau)
69	numerics	Turbulenceadvection	Turbulence advection: None horizontally explicit and vertically implicit	0 3	3	Turbulence advection (0: none, 3: horizontally explicit and vertically implicit)
70	numerics	AntiCreep	Use anti-creep	0 1	0	Include anti-creep calculation (0: no, 1: yes)
71	numerics	Maxwaterleveldiff	Water level threshold	Double	0	Upper bound (in m) on water level changes (<=0: no bounds)
72	numerics	Maxvelocitydiff	Velocity threshold	Double	0	Upper bound (in m/s) on velocity changes (<=0: no bounds)
73	numerics	Epslu	Dry cell threshold	Double	1 . d-4	Threshold water depth for wet and dry cells
74	numerics	SobekDFM_umin	Sobek-DFM umin	Double	0	Minimal velocity treshold for weir losses in Sobek-DFM coupling.
75	physics	UnifFrictCoef	Uniform friction coefficient	Double	2 . 3d-2	Uniform friction coefficient (0: no friction)
76	physics	UnifFrictType	Uniform friction type: Chezy Manning WhiteCo leBrook Z0	0 1 2 3	1	Uniform friction type (0: Chezy, 1: Manning, 2: White-Colebrook, 3: idem, WAQUA style)
77	physics	UnifFrictCoef1D	Uniform 1D friction coefficient	Double	2 . 3d-2	Uniform friction coefficient in 1D links (0: no friction)
78	physics	UnifFrictCoefLin	Uniform linear friction coefficient	Double	0	Uniform linear friction coefficient for ocean models (m/s) (0: no friction)
79	physics	Umodlin	Linear friction Umod	Double	0	Linear friction umod, for ifrctyp=4,5,6
80	physics	Vicouv	Uniform horizontal eddy	Double	1	Uniform horizontal eddy viscosity (m2/s)

No.	MduGroup	MduName	Caption	Type	Default	Description
			viscosity			
81	physics	Dicouv	Uniform horizontal eddy diffusivity	Double	1	Uniform horizontal eddy diffusivity (m2/s)
82	physics	Vicoww	Uniform vertical eddy viscosity	Double	5.e-5	Uniform vertical eddy viscosity (m2/s)
83	physics	Dicoww	Uniform vertical eddy diffusivity	Double	0	Uniform vertical eddy diffusivity (m2/s)
84	physics	Vicwminb	Minimum buoyancy viscosity	Double	0	Minimum viscosity in prod and buoyancy term (m2/s)
85	physics	Smagorinsky	Smagorinsky factor	Double	0	Smagorinsky factor in horizontal turbulence
86	physics	Elder	Elder factor	Double	0	Elder factor in horizontal turbulence
87	physics	irov	Wall behaviour: Free Slip Partial Slip No slip	0 1 2	0	Wall roughness type (0: free slip, 1: partial slip using wall_ks)
88	physics	wall_ks	Wall ks for partial slip	Double	0	Nikuradse roughness for side walls
89	physics	Rhomean	Default water density	Double	1000	Average water density (kg/m3)
90	physics	Idensform	Density formula: Uniform Eckhart Unesco Baroclinic	0 1 2 3	1	Density calculation (0: uniform, 1: Eckard, 2: Unesco, 3: baroclinic case)
91	physics	Ag	Gravity	Double	9.813	Gravitational acceleration
92	physics	TidalForcing	Tide generating forces	0 1	0	Tidal forcing, if jsferic = 1 (0: no, 1: yes)
93	physics	Doodsonstart	Doodson start	Double	55.565	TRIWAQ: 55.565, D3D: 57.555
94	physics	Doodsonstop	Doodson stop	Double	375.575	TRIWAQ: 375.575, D3D: 275.555
95	physics	Doodsoneps	Doodson epsilon	Double	0	TRIWAQ = 0.0 400 cm/s , D3D = 0.03 60 cm/s
96	physics	Salinity	Salinity	0 1	0	Include salinity, (0: no, 1: yes)
97	physics	InitialSalinity	Initial salinity	Double	0	Uniform initial salinity concentration (ppt)
98	physics	Sal0abovezlev	Salt water level threshold	Double	-999	Vertical level (m) above which salinity is set 0 for testcases
99	physics	DeltaSalinity	TODO	Double	-999	for testcases
100	physics	Backgroundsalinity	Background salinity	Double	30	Background salinity for eqn. of state (ppt)
101	physics	Temperature	Heat flux model:	0 1 3 5	0	Include temperature (0: no, 1: only transport, 3: excess model of

No.	MduGroup	MduName	Caption	Type	Default	Description
			None Transport only Excess temperature Composite model			D3D, 5: composite (ocean) model)
102	physics	InitialTemperature	Initial temperature	Double	6	Uniform initial water temperature (degC)
103	physics	Secchidepth	Secchi depth	Double	2	Water clarity parameter (m)
104	physics	Stanton	Stanton number	Double	0.0013	Coefficient for convective heat flux
105	physics	Dalton	Dalton number	Double	0.0013	Coefficient for evaporative heat flux
106	physics	Backgroundwatertemperature	Background temperature	Double	6	Background water temperature for eqn. of state (deg C)
107	physics	SecondaryFlow	Secondary flow	0 1	0	Secondary flow (0: no, 1: yes)
108	physics	EffectSpiral	Spiral flow effect factor	Double	0	Weight factor of the spiral flow intensity on transport angle
109	physics	BetaSpiral	Spiral flow beta factor	Double	0	Weight factor of the spiral flow intensity on flow dispersion stresses
110	wind	ICdtyp	Wind drag coefficient type: Constant Smith & Banks (2 break points) Smith & Banke (3 break points) Charnock 1955 Whang 2005	1 2 3 4 5 6 7	2	Wind drag coefficient type (1: constant, 2: S&B 2 breakpoints, 3: S&B 3 breakpoints, 4: Charnock constant, 5: Whang,6:Wuest, 7Hersbach)
111	wind	Cdbreakpoints	Break points wind drag coefficient	DoubleArray	6.3d-4 7.23d-3	Wind drag coefficient break points
112	wind	Windspeedbreakpoints	Break points wind speed	DoubleArray	0.100.	Wind speed break points (m/s)
113	wind	Rhoair	Air density	Double	1.205	Air density (kg/m3)
114	wind	PavBnd	Average air pressure on bounds	Double	0	Average air pressure on open boundaries (N/m2) (only applied if > 0)
115	wind	PavIni	Average initial air pressure	Double	0	Average air pressure for initial water level correction (N/m2) (only applied if > 0)
116	waves	Wavemodelnr	Wave model: None Fetch/depth limited hurdlestive Young-	0 1 2 3 4	0	Wave model nr. (0: none, 1: fetch/depth limited hurdlestive, 2: Young-Verhagen, 3: SWAN, 4: wave group forcing)

No.	MduGroup	MduName	Caption	Type	Default	Description
			Verhagen SWAN Wave group forcing			
117	waves	WaveNikuradse	Wave friction Nikuradse ks coefficient	Double	0.01	Wave friction Nikuradse ks coefficient (m), used in Krone-Swart
118	waves	Rouwav	Friction model for wave stress: None Fredse (1984) Myrhaug and Slaattelid (1990) Huynh-Thanh and Temperville (1991) Grant and Madsen (1979) Davies et al. (1988) Bijker (1967) Christoffersen and Jonsson (1985) O'Connor and Yoo (1988) Van Rijn et al. (2004)	No FR84 MS90 HT91 GM79 DS88 BK67 CJ85 OY88 VR04	FR84	Friction model for wave induced shear stress
119	waves	Gamax	Max. wave/depth ratio	Double	1	Maximum wave height/water depth ratio
120	time	RefDate	Reference date	DateTime	20010101	Reference date (yyyymmdd)
121	time	Tzone	Time zone	Double	0	Time zone assigned to input time series
122	time	DtUser	User time step	Interval	300	Time interval (s) for external forcing update
123	time	DtNodal	Nodal update interval	Interval	0	Time interval (s) for updating nodal factors in astronomical boundary conditions
124	time	DtMax	Max. time step (s)	Double	30	Maximal computation timestep (s)
125	time	DtInit	Initial time step (s)	Double	1	Initial computation timestep (s)
126	time	Tunit	Time unit: hours minutes seconds	H M S	S	Time unit for start/stop times (H, M or S)
127	time	TStart	Start time	Double	0	Start time w.r.t. RefDate (in TUnit)
128	time	TStop	Stop time	Double	86400	Stop time w.r.t. RefDate (in TUnit)
129	restart	RestartFile		FileName		Restart netcdf-file, either *_rst.nc or *_map.nc

No.	MduGroup	MduName	Caption	Type	Default	Description
130	restart	RestartDateTime	Restart Time	DateTime		Restart date and time (YYYYMMDDHHMMSS) when restarting from *_map.nc
131	external forcing	ExtForceFile		FileName		Old format for external forcings file *.ext, link with tim/cmp-format boundary conditions specification
132	external forcing	ExtForceFileNew		FileName		New format for external forcings file *.ext, link with bc-format boundary conditions specification
133	trachytopes	TrtRou	Include trachytopes?: Yes (Y) No (N)	Y N	N	Include alluvial and vegetation roughness (trachytopes) (Y: yes, N: no)
134	trachytopes	TrtDef		FileName		File (*.ttd) containing trachytopo definitions
135	trachytopes	TrtL		FileName		File (*.arl) containing distribution of trachytopo definitions
136	trachytopes	TrtDt		Double	60	Trachytopo roughness update time interval (s)
137	****					
138	*					
139	GUIOnly	StartTime	Start Time	DateTime		Begin of simulation period
140	GUIOnly	StopTime	Stop Time	DateTime		End of simulation period
141	GUIOnly	UseTemperature	Temperature	0 1	0	Include temperature
142	*					
143	GUIOnly	WriteHisFile	Write His File	0 1	0	Write a history file
144	GUIOnly	HisOutputDeltaT	His output Interval	Interval		Interval for writing His Output
145	GUIOnly	SpecifyHisStart	Specify His output start time	0 1	0	Start writing his output later then start of simulation
146	GUIOnly	HisOutputStartTime	His output start time	DateTime		No his output will be written before this time stamp
147	GUIOnly	SpecifyHisStop	Specify His output stop time	0 1	0	Stop writing his output before of simulation
148	GUIOnly	HisOutputStopTime	His output stop time	DateTime		No his output will be written after this time stamp
149	*					
150	GUIOnly	WriteMapFile	Write Map file	0 1	0	Write a map file
151	GUIOnly	MapOutputDeltaT	Map output interval	Interval		Interval for writing Map Output
152	GUIOnly	SpecifyMapStart	Specify Map output start	0 1	0	Start writing map output later then start of simulation

No.	MduGroup	MduName	Caption	Type	Default	Description
			time			
153	GUIOnly	MapOutputStartTime	Map output start time	DateTime		No map output will be written before this time stamp
154	GUIOnly	SpecifyMapStop	Specify Map output stop time	0 1	0	Stop writing map output before of simulation
155	GUIOnly	MapOutputStopTime	Map output stop time	DateTime		No map output will be written after this time stamp
156	*					
157	GUIOnly	WriteRstFile	Write Rst file	0 1	0	Write restart files
158	GUIOnly	RstOutputDeltaT	Rst output interval	Interval		Interval for writing Rst Output
159	GUIOnly	SpecifyRstStart	Specify Rst output start time	0 1	0	Start writing restart files later then start of simulation
160	GUIOnly	RstOutputStartTime	Rst output start time	DateTime		No restart files will be written before this time stamp
161	GUIOnly	SpecifyRstStop	Specify Rst output stop time	0 1	0	Stop writing restart files before of simulation
162	GUIOnly	RstOutputStopTime	Rst output stop time	DateTime		No restart files will be written after this time stamp
163	*					
164	output	OutputDir	Output directory	String		Output directory of map-, his-, rst-, dat- and timings-files, default: DFM_OUTPUT_<modelname>. Set to . for current dir.
165	output	FlowGeomFile		FileName		Flow geometry NetCDF *_flowgeom.nc
166	output	ObsFile		FileName		Points file *.xyn with observation stations with rows x, y, station name
167	output	CrsFile		FileName		Polyline file *_crs.pli defining observation cross sections
168	output	HisFile		FileName		History output file *_his.nc in NetCDF format
169	output	HisInterval	His output interval	DoubleArray	300	History output times, given as 'interval' 'start period' 'end period' (s)
170	output	XLSInterval	XLS output interval	Interval	0	Interval (s) between XLS history
171	output	MapFile		FileName		Map file output file *_map.nc in NetCDF format
172	output	MapInterval	Map output interval	DoubleArray	1200	Map file output times, given as 'interval' 'start period' 'end period' (s)
173	output	RstInterval	Restart output interval	DoubleArray	86400	Restart file output times, given as 'interval' 'start period' 'end period' (s)

No.	MduGroup	MduName	Caption	Type	Default	Description
174	output	SlinInterval		Interval	0	Interval (m) in incremental file for water levels s1
175	output	WaqInterval	WAQ output interval	Interval	0	Interval (in s) between DELWAQ file outputs
176	output	StatsInterval	Statistics output interval	Interval	0	Interval (in s) between simulation statistics output
177	output	Writebalancefile	Write water balance file	0 1	0	Write balance file (1: yes, 0: no)
178	output	TimingsInterval	Timing statistics output interval	Interval	0	Timings statistics output interval
179	*output	TimeSplitInterval	Time splitting interval	Interval	0X	Time splitting interval, after which a new output file is started. value+unit, e.g. '1 M', valid units: Y,M,D,h,m,s.
180	output	MapFormat	Map file output format: NetCDF  Tecplot Both U GRID(beta)	1 2 3 4	1	Map file format (1: NetCDF, 2: Tecplot, 3: NetCFD and Tecplot)
181	output	Wrihis_balance	Write mass balance totals	0 1	1	Write mass balance totals to his file (1: yes, 0: no)
182	output	Wrihis_structure_gen	Write general structure parameters	0 1	1	Write general structure parameters to his file (1: yes, 0: no)
183	output	Wrihis_structure_dam	Write dam parameters	0 1	1	Write dam parameters to his file (1: yes, 0: no)
184	output	Wrihis_structure_pump	Write pump parameters	0 1	1	Write pump parameters to his file (1: yes, 0: no)
185	output	Wrihis_structure_gate	Write gate parameters	0 1	1	Write gate parameters to his file (1: yes, 0: no)
186	output	Wrimap_waterlevel_s0	Write water levels for previous time step	0 1	1	Write water levels for previous time step to map file (1: yes, 0: no)
187	output	Wrimap_waterlevel_s1	Write water levels	0 1	1	Write water levels to map file (1: yes, 0: no)
188	output	Wrimap_velocity_component_u0	Write velocity component for previous time step	0 1	1	Write velocity component for previous time step to map file (1: yes, 0: no)
189	output	Wrimap_velocity_component_ul	Write velocity component	0 1	1	Write velocity component to map file (1: yes, 0: no)
190	output	Wrimap_velocity_vector	Write cell-center velocity vectors	0 1	1	Write cell-center velocity vectors to map file (1: yes, 0: no)
191	output	Wrimap_upward_velocity_component	Write upward velocity component	0 1	0	Write upward velocity component on cell interfaces (1: yes, 0: no)

No.	MduGroup	MduName	Caption	Type	Default	Description
192	output	Wrimap_density_rho	Write flow density	0 1	1	Write flow density to map file (1: yes, 0: no)
193	output	Wrimap_horizontal_viscosity_viu	Write horizontal viscosity	0 1	1	Write horizontal viscosity to map file (1: yes, 0: no)
194	output	Wrimap_horizontal_diffusivity_diu	Write horizontal diffusivity	0 1	1	Write horizontal diffusivity to map file (1: yes, 0: no)
195	output	Wrimap_flow_flux_q1	Write flow flux	0 1	1	Write flow flux to map file (1: yes, 0: no)
196	output	Wrimap_spiral_flow	Write spiral flow	0 1	1	Write spiral flow to map file (1: yes, 0: no)
197	output	Wrimap_numlimdt	Write the number of times a cell was Courant limiting	0 1	1	Write the number times a cell was Courant limiting to map file (1: yes, 0: no)
198	output	Wrimap_taucurrent	Write the shear stress	0 1	1	Write the shear stress to map file (1: yes, 0: no)
199	output	Wrimap_chezy	Write the chezy roughness	0 1	1	Write the chezy roughness to map file (1: yes, 0: no)
200	output	Wrimap_turbulence	Write vicww k and eps	0 1	1	Write vicww, k and eps to map-file (1: yes, 0: no)
201	output	Wrimap_wind	Write wind velocities	0 1	1	Write wind velocities to map file (1: yes, 0: no)
202	output	Wrimap_heat_fluxes	Write heat fluxes	0 1	0	Write heat fluxes to map file (1: yes, 0: no)
203	output	Richardsononoutput	Write Richardson numbers?	0 1	1	Write Richardson numbers (1: yes, 0: no)
204	output	MapOutputTimeVector	Specific Map output times	FileName		File (*.mpt) containing fixed map output times (s) w.r.t. RefDate
205	output	FullGridOutput	Full grid output	0 1	0	Full grid output mode (0: compact, 1: full time-varying grid data)
206	output	EulerVelocities	Full grid output	0 1	0	Euler velocities output (0: GLM, 1: Euler velocities)



## D Good Modelling Practice

Foremost in Good Modelling Practice (GMP) is the question the model has to address, or better: What is the answer the model has to provide or support (remembering that the professional judgement is the ultimate assessment)?

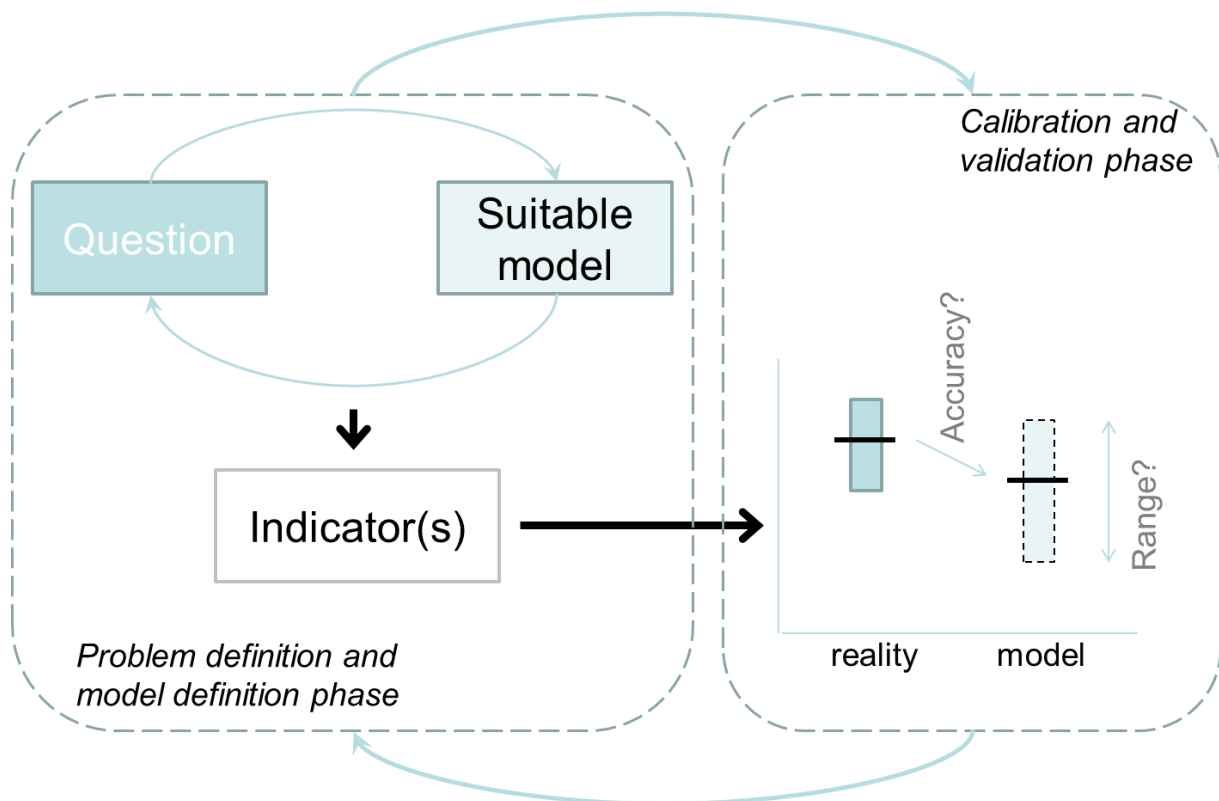
Each indicator that the model has to generate, is defined by six characteristics (note that there may be multiple indicators):

- Parameter and unit e.g. Suspended Particulate Matter in  $\text{g/m}^3$
- Time e.g. "2014" or "May 12, 2014 14:15"
- Horizontal location e.g. (x, y)
- Vertical location e.g. "1 m below water surface" or "-3 m CD"
- Statistics e.g. "Annual average" or "90% exceedance"
- Required accuracy e.g. "trend plus or minus" or "<0.2 m/s"

GMP distinguishes three phases in each study that makes use of predictive models:

- 1) The problem definition and model definition phase
- 2) The model calibration and validation phase
- 3) The scenario phase

The problem definition and model definition phase and the model calibration and validation phase are schematically shown in Figure 1.



Figuur D.1 Schematic representation of the first two phases of a modelling study according to Good Modelling Practice

The key in the problem definition and model definition phase is the interaction between the party with the question and the party with the modelling tool. Together, these parties have to identify and define indicators that fulfil both the need for the answer and can be modelled accurately enough. Exchanging and managing realistic expectations is the crucial element in this phase.

When indicators are defined and mutually agreed upon, the model calibration and validation phase begins. The model will calculate the value of the indicator, e.g. the monthly average SPM concentration at a seawater intake. The purpose of calibration and validation is to establish model accuracy and model reliability on two aspects:

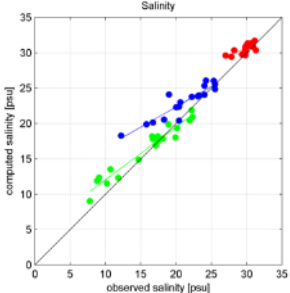
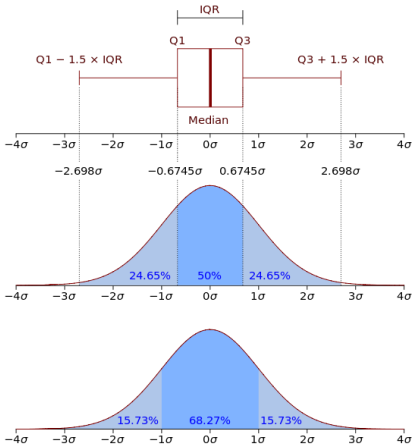
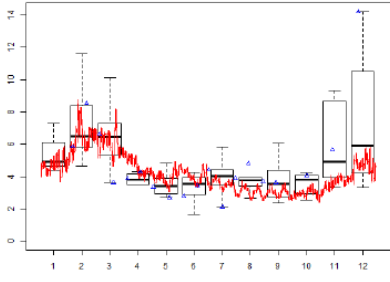
- The indicator value itself
- The processes and linkages leading to the indicator value, i.e. an effect chain approach

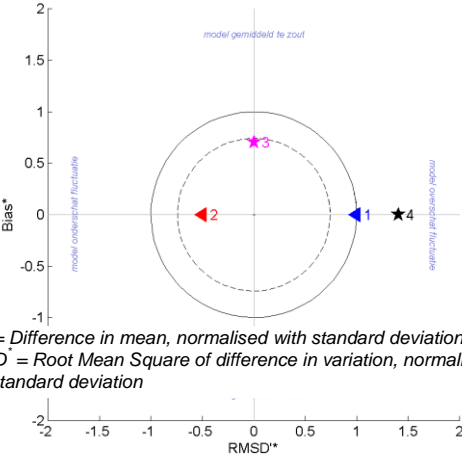
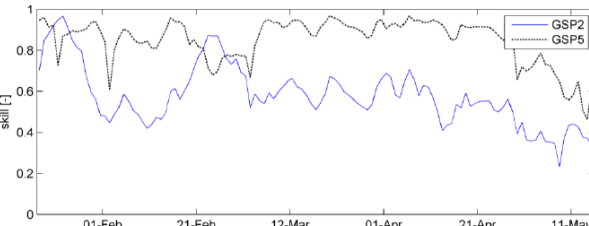
The latter is illustrated with an example. The SPM concentration at any location depends on several factors such as available fines, currents, waves etc. The simulated SPM concentration is considered reliable if the contribution of each factor is reliable. Calibration and validation must therefore not only look at the indicator value at a receptor location, but also at the path leading to this result.

The key concept of calibration and validation is comparison of model results against field measurements. By definition, this means that calibration and validation are always carried out for historic situations. Such a comparison is done visually by comparing model results with data points plotted on a map or time series.

This step is essential for the modeller to understand the model behaviour and model performance, but it is a subjective evaluation. Therefore, Deltares always performs an objective evaluation as well, also referred to as goodness-of-fit. In an objective evaluation, model data and field data are compared by statistical means. There are many statistical methods available and it requires considerable expertise to select a suitable method. The goodness-of-fit method must match the definition of the indicator value, the data availability and the system understanding of the natural environment. Deltares has developed and continues to develop for the Dutch government a working approach for goodness-of-fit and incorporated it in the Good Modelling Practice approach.

The most used methods for plotting goodness-of-fit are briefly described in the following table.

<p>Linear regression / Correlation coefficient</p> 	<p>The correlation coefficient in a linear regression is a simple and straightforward measure for the match between two sets of numbers, in this case a measured variable and a modelled variable. Most used is Pearson's <math>R^2</math>. When relatively few data points are available, Spearman's rank correlation can be used.</p>
<p>Boxplot</p> 	<p>Although technically not an objective comparison, Deltares makes use of boxplot presentations to visualise a range of statistics for both measured data and modelled data. A boxplot typically includes the average or median and range values such as percentiles and standard deviation. The visual comparison can then combined with statistical tests on significance such as a p test.</p> 

<p><b>Target diagram</b></p>  <p><i>Bias = Difference in mean, normalised with standard deviation</i>  <i>RMSD = Root Mean Square of difference in variation, normalised with standard deviation</i></p>	<p>The target diagram plots together the root mean square difference, the average difference and the standard deviation of the difference. Besides, this diagram includes the sign of the difference of the standard deviations of the system and the reference.</p> <p>A deviation on the y-axis indicates to what extent the calculated average deviates from the measured average. A deviation on the x-axis indicates to what extent the calculated variation of an indicator deviates from the measured variation. Points within the inner circle are considered very good, and within the outer circle good. It is a visually powerful presentation, but relies strongly on system understanding and data and model knowledge to set up a good comparison.</p>
<p><b>Prediction skill</b></p> 	<p>Skill in prediction is a scaled representation of forecast error that relates the prediction accuracy of a model to a reference, which can be data or another model.</p>

## E Bijlage: Definities modelbeoordeling

### E.1 Achtergrond

In het kader van de ontwikkeling van de zesde-generatie modellen voor RWS wordt gestreefd naar een uniforme aanpak voor heel Nederland. In deze bijlage wordt een aantal definities voor de beoordeling van de modellen vastgelegd die voor alle modellen toegepast gaan worden en als bijlage aan de verschillende rapportages zullen worden toegevoegd.

### E.2 Definities

Voor het beoordelen van modelschematisaties worden de termen kalibratie, validatie en verificatie gebruikt en hier wordt het volgende onder verstaan:

#### E.2.1 Kalibratie

De kalibratie bestaat uit het afregelen van onzekere of meest bepalende parameters, zodat modelresultaten overeenkomen met gemeten data. Kalibratie vindt doorgaans plaats onder (een aantal) representatieve omstandigheden (storm, hoog water, laag water, hoge afvoer, lage afvoer, etc.), maar het kunnen ook dagelijkse omstandigheden zijn (getij, gemiddelde afvoer, etc) waarvoor gekalibreerd wordt. De mate van overeenkomst tussen modelresultaten en data wordt weergegeven door de Goodness-of-fit criteria. Uit de kalibratie volgt een set gekalibreerde parameters.

#### E.2.2 Validatie

De validatie bestaat uit het toetsen van de gekalibreerde parameters in een andere situatie dan tijdens de kalibratie gebruikte periode. Een succesvolle validatie geeft vertrouwen in de mate waarin de gekalibreerde parameters ook goede resultaten geven in andere situaties. Validatie is een wezenlijk onderdeel van het kalibratieproces. Er kunnen namelijk meerdere parametersets aan de kalibratiecriteria voldoen. De beste set is dan degene die tijdens de validatie het beste presteert. Na de validatie wordt bepaald of het model geschikt is voor de toepassing. Validatie kan ook plaatsvinden in dezelfde periode als de kalibratie, maar op andere locaties of op andere grootheden. Bijvoorbeeld op tussenliggende meetpunten, of op stroomsnelheden i.p.v. waterstanden.

#### E.2.3 Verificatie

Tijdens de verificatie wordt nagegaan of het geoperationaliseerde model nog steeds consistente uitkomsten geeft. Het model wordt beoordeeld op de resultaten van de eerder gekalibreerde en gevalideerde parameters.

### E.3 Goodness-of-fit criteria

Een goodness-of-fit (GOF) criterium is een maat voor de overeenkomst van twee dataseries. Voor het beoordelen van de resultaten worden verschillende criteria gebruikt. Deze worden in de volgende paragrafen weergegeven. Hierbij zijn de eerste drie: bias, standaardafwijking en RMSE, de belangrijkste.

Deze kunnen op een groot aantal verschillende (bewerkte/gefilterde) grootheden worden toegepast, zoals:

- waterstand,
- snelheid,
- debiet,
- zoutgehalte,
- watertemperatuur,
- timing en hoogte van hoogwaters
- timing en hoogte van laagwaters
- getijamplitude en fase (per component),
- scheve opzet,
- etc.

### E.3.1 Bias

De absolute bias wordt ook wel gemiddeld verschil (GV) genoemd:

$$bias = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_{sim,k} - y_{ref,k}$$

met  $n$  het totaal aantal datapunten in de periode waarover de bias berekend wordt,  $y_{sim}$  de gesimuleerde eenheid en  $y_{ref}$  de referentiewaarden (meestal metingen).

De bias is een maat om aan te geven of de resultaten systematisch worden overschat of onderschat. Alleen een kleine bias is echter nog geen garantie dat de overeenkomst van de datasets groot is. Als er grote schommelingen rond het gemiddelde plaatsvinden, levert dit een lage bias op, terwijl de fout lokaal wel groot kan zijn.

### E.3.2 Standaardafwijking

De standaardafwijking of  $\sigma$  (*StDev*) van de fout

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n ((y_{sim,k} - y_{ref,k}) - bias)^2}$$

Dit is een maat voor de afwijking van de resultaten vanaf de bias. Hierbij worden grotere afwijkingen zwaarder meegewogen dan kleinere. Alleen een kleine standaardafwijking is echter nog geen garantie dat de overeenkomst van de datasets groot is. De resultaten kunnen dan namelijk nog systematisch worden overschat of onderschat.

### E.3.3 Root Mean Square Error (RMSE)

De RMSE is een maat die zowel de bias als de standaardafwijking combineert:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_{sim,k} - y_{ref,k})^2} \approx \sqrt{\sigma^2 + bias^2}$$

Als er geen bias is, is de RMSE gelijk aan de standaardafwijking. En andersom is de RMSE gelijk aan de bias indien de standaardafwijking gelijk aan nul is. Een RMSE van nul is een garantie dat twee datasets exact met elkaar overeenkomen.

### E.3.4 Relatieve bias

Naast de absolute bias kan er ook worden gekeken naar de relatieve bias, wanneer het grote en onderling sterk verschillende waarden betreft:

$$\text{Relatieve Bias} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{y_{sim,k} - y_{ref,k}}{y_{ref,k}}$$

### E.3.5 Variatiecoëfficiënt

Naast de standaardafwijking kan er ook worden gekeken naar de variatiecoëfficiënt (coefficient of variation, CV), wanneer het grote en onderling sterk verschillende waarden betreft:

$$CV = \frac{\sigma}{\text{gemiddelde}}$$

De variatiecoëfficiënt is een relatieve spreidingsmaat, wat inhoudt dat de spreiding gemeten wordt ten opzichte van het gemiddelde.

### E.3.6 Verschil in waarden rond extremen

Dit is een maat om aan te geven in hoeverre extreme waarden goed worden gerepresenteerd. Hierbij wordt vaak niet gekeken naar één enkele waarde, maar naar bijvoorbeeld een gemiddelde over waardes rond de piek (om zo toevallige uitschieters uit te sluiten). Dit kan zowel de maximale waarde zijn ( $\Delta\zeta_{max}$ ) of de minimale waarde ( $\Delta\zeta_{min}$ ):

$$\begin{aligned}\Delta\zeta_{max} &= \max(y_{sim,k}) - \max(y_{ref,k}) \\ \Delta\zeta_{min} &= \min(y_{sim,k}) - \min(y_{ref,k})\end{aligned}$$

Deze maat kan o.a. worden gebruikt voor de amplitude van de getijbeweging, afvoergolven en bij stormpieken.

### E.3.7 Verschil in tijdstip van extremen

Dit is een maat om aan te geven in hoeverre de timing van de extreme waarden van verschillende datasets met elkaar overeenkomen. Er wordt dan gekeken naar het tijdstip waarop de maximale ( $t_{max}$ ) of minimale ( $t_{min}$ ) waarde voorkomt:

$$\begin{aligned}\Delta t_{max} &= t_{max}(y_{sim,k}) - t_{max}(y_{ref,k}) \\ \Delta t_{min} &= t_{min}(y_{sim,k}) - t_{min}(y_{ref,k})\end{aligned}$$

Deze maat kan worden gebruikt om te bepalen hoe groot de faseverschuiving is.

### E.3.8 Overschrijdingsduur

Naast bias, RMSE en standaarddeviatie kan ook worden gekeken naar de duur van een bepaalde normoverschrijding of het aantal overschrijdingen. Dit geldt met name voor grootheden zoals saliniteit.

### E.3.9 Gemiddelde over stations

Naast waarden per afzonderlijk (meet)station kunnen de statistieken ook worden samengevat in zowel een gemiddelde over een aantal stations en het RMS (Root Mean Square)-gemiddelde. Voor dit laatste wordt de volgende formulering gebruikt:

$$\text{Mean\_stations} = \frac{\Sigma (\text{Statistiek per station})}{\text{Aantal stations}}$$

$$RMS_{stations} = \sqrt{\frac{\Sigma (\text{Statistiek per station}^2)}{\text{Aantal stations}}}$$

Het gebruik van RMS heeft als voordeel dat fouten niet tegen elkaar uitgemiddeld worden.

#### E.4 Middelingsduur variabelen

Van te voren moet goed worden afgesproken welke middelingsduur er wordt toegepast voor zowel de in- als uitvoervariabelen. Hanteer je bijvoorbeeld 10-minuutgemiddelden voor wind/waterstand, uurgemiddelden, 2-/3-/4-/6-uurgemiddelden,...

Dit hangt sterk af van de specifieke toepassing en beschikbare data. Meteomodellen kunnen bijvoorbeeld fenomenen met tijdschalen kleiner dan een uur niet goed oppakken en dan is het ook niet te verwachten dat het waterstandsmodel schommelingen van deze tijdschaal (of kleiner) wel goed weergeeft. Hetzelfde geldt als voor historische afvoerreeksen alleen uurwaarden (of soms alleen dagwaarden) beschikbaar zijn. Anderzijds moet de middelingsduur niet te groot worden gekozen in verband met het goed kunnen weergeven van de nodige fysische processen (zoals getij).

Algemeen kan worden gezegd dat je voor de middeling de kleinste tijdschaal wilt gebruiken die op basis van de data nog verantwoord is.

#### E.5 Nauwkeurigheidscriterium

Het nauwkeurigheidscriterium bepaalt welke waarde voor de goodness-of-fit criteria gehaald moet worden om te kunnen spreken van een geslaagde kalibratie of validatie. Afhankelijk van het model, toepassing, grootte en periode kan er worden gekeken naar de GOF-criteria voor verschillende situaties, zoals:

- Stormpiek
- Hoge afvoer
- Lage afvoer
- Gemiddeld getij
- Springvloed
- Hoogwater seizoen
- Heel jaar



## F Bijlage: Roostergeneratie

Zesde-generatie D-Flow Flexible Mesh modelschematisaties zijn per definitie gebaseerd op ongestructureerde roosters. Gestructureerde roosters, met een administratie langs (M- en N-) roosterlijnen, zoals in Simona en Delft3D-FLOW, zijn niet van toepassing. De vraag of in de zesde-generatie D-Flow Flexible Mesh modelschematisaties ongestructureerde of gestructureerde roostercellen toegepast zullen worden, is dus niet relevant. Zesde-generatie modellen bieden meer roosterflexibiliteit dan voorheen. Naast de curvilineaire roosters van Simona en Delft3D en de 1D schematisaties van SOBEK, zijn nu ook roosters met drie-, vier-, vijf- of zeshoekige cellen mogelijk, eventueel rechtstreeks gekoppeld met 1D roosters. Twee bij twee roosterverfijningen in een curvilineair rooster kan op eenvoudige wijze worden gerealiseerd door combinatie van driehoeken en vierhoeken. Dit geeft een enorme vergroting van de flexibiliteit in de modellering. De inspanning die vroeger noodzakelijk was om roosterdelen zowel in de fysieke ruimte als in de administratie (M- en N coördinaten) aan elkaar te plakken kan nu vermeden worden.

De kernvraag is wel: *“Hebben driehoeken of vierhoeken de voorkeur bij het opzetten van zesde-generatie modelschematisaties?”* Hierbij spelen de volgende aspecten een rol:

- Nauwkeurigheid;
- Rekeningtijd van de simulaties; en
- Robuustheid

In het vervolg van deze bijlage wordt hierop ingegaan en worden de twee termen ‘driehoekige’ en ‘vierhoekige’ roostercellen gebruikt.

Voor de vier toepassingen in 2017 (Noordzee, Maas, Oosterschelde en Markermeer & Veluwerandmeren) zijn zowel modelschematisaties met driehoekige als met vierhoekige roostercellen opgezet en specifieke situaties doorgerekend. Hierbij is de algemene conclusie dat het verschil in nauwkeurigheid van de modelresultaten voor de waterstanden in het algemeen gering is. Op basis van nauwkeurigheid voor waterstanden kan dus geen voorkeur bepaald worden.

Op basis van de rekeningtijden van modelsimulaties en in iets mindere mate op basis van de robuustheid is er toch een voorkeur voor zo veel mogelijk vierhoekige roostercellen, omdat:

- Wanneer advectie een grote rol speelt (hoge stroomsnelheden) vierkante roostercellen over het algemeen een beter resultaat geven, mits deze zijn uitgelijnd met de stroomrichting.
- Bij vierhoekige roostercellen i.h.a. minder roostercellen nodig zijn dan bij driehoekige roostercellen, waardoor de rekeningtijd lager zal zijn. Dit geldt met name voor toepassingen met een dominante stromingsrichting (bijv. rivieren), omdat bij vierhoekige roosters een grotere aspect ratio in de stromingsrichting kan worden toegepast.
- Bij toepassing van spiraalstroming de numerieke oplossing bij driehoekige roostercellen kan oscilleren. Bij vierhoekige roosters treedt dit verschijnsel niet op.
- Uit ervaring (buiten het voorliggende project) is geconstateerd dat droogvallen/onderlopen met driehoekige roostercellen iets minder goed verloopt dan bij vierhoekige roostercellen.
- Hoewel nog niet gekwantificeerd via modelschematisaties, de verwachting is dat transportprocessen bij vierhoekige roosters iets minder numerieke dissipatie zullen hebben dan bij driehoekige roosters. Dit zal betekenen dat bijvoorbeeld lozings- of rivierpluimen iets ‘scherper’ van vorm zullen zijn.

## F.1 Richtlijnen per toepassing voor zesde-generatie modellering

Per type toepassing (zeeën en kusten, rivieren en meren) wordt nu een aantal richtlijnen geformuleerd voor de zesde-generatie modellering.

### Voor getijtoepassingen:

Dit is van toepassing voor zeeën, estuaria en eventueel ook voor rivieren:

- Zo veel mogelijk vierhoekige of vierkante roostercellen toepassen.
- Zo veel mogelijk uitlijning van het rooster met de dominante stroomrichting. Dit betekent dat rekening gehouden moet worden met de bathymetrie (geulen en kustlijn) en de ligging van de kunstwerken.
- Lokale roosterverfijning via zo regelmatig mogelijke driehoeken om een tijdstapbeperking (met name in rivieren) te voorkomen.
- Kleine roostercellen in combinatie met hoge stroomsnelheden zo veel mogelijk vermijden vanwege de tijdstapbeperking door de expliciete afhandeling van advectie.

### Voor riviertoepassingen:

- Vanwege de rekentijd van simulaties is het gewenst in het zomerbed gebruik te maken van vierhoekige roostercellen met een aspect ratio van ongeveer twee in de stromingsrichting.
- Zomerbed uitlijnen met vierhoekige roostercellen, winterbed met (grovere) vierhoekige roostercellen, zomer- en winterbed eventueel koppelen via (zo weinig mogelijk) driehoeken.
- Voor de toepassing van driehoeken in het winterbed dient een afweging gemaakt te worden tussen de tijd die het vergt om een blok-gestructureerd rooster te genereren en de winst in rekentijd die dit oplevert ten opzichte van het gebruik van alleen driehoeken. De tijd om een blokgestructureerd rooster te maken is echter eenmalig, terwijl de rekentijd voor iedere simulatie van toepassing is.

### Voor zwak-dynamische systemen met stroomsnelheden van geringe omvang (meren)<sup>12</sup>:

- Gladheid (smoothness) van rooster is belangrijk (en belangrijker dan de keuze tussen driehoeken of vierhoeken).
- Daarom bij voorkeur uitsluitend gebruik van driehoeken, omdat lokale roosterverfijning met behoud van een redelijke mate van gladheid dan eenvoudiger te realiseren is en de lagere nauwkeurigheid van driehoeken t.o.v. vierhoekige roostercellen dan minder relevant is).

## F.2 Vuistregels voor roostergeneratie

Bij roostergeneratie spelen de volgende aspecten een rol:

- Orthogonaliteit;
- Gladheid (Smoothness);
- Aspect ratio;
- Nauwkeurigheid; en
- Rekenefficiëntie.

Qua orthogonaliteit en gladheid is een uniform, rechthoekig rooster optimaal. Dit heeft optimale orthogonaliteit (0,0), gladheid (1,0) en aspect ratio (1,0). Echter, de nauwkeurigheid (bij water/land-overgangen) en de rekenefficiëntie is in het algemeen laag.

---

<sup>12</sup> Voor meren waar wel een dominante richting vanwege rivierafvoer aanwezig is, zoals Ketelmeer en Zwarte Meer, moet een afweging worden gemaakt en is een 'rivieraanpak' misschien een betere oplossing.

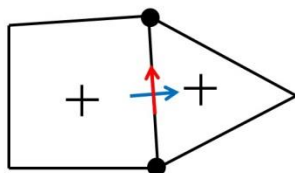
Een rechthoekig rooster heeft per definitie zogeheten trapjeslijnen bij water/land-overgangen, waardoor onnauwkeurigheid geïntroduceerd wordt. De rekenefficiëntie is laag, omdat overal dezelfde (hoge) resolutie wordt toegepast, waaronder in gebieden ver weg van het interessegebied.

Daarom worden in de hydrodynamische modellen voor Nederland (en daarbuiten) al decennia lang voornamelijk zogeheten kromlijnige, vierhoekige roosters toegepast. Hierdoor kan een rooster goed 'uitgelijnd' worden met land/water-overgangen en bijvoorbeeld ook met geulen. Tevens kan de roosterresolutie worden geoptimaliseerd voor rekenefficiëntie, door grotere rekencellen toe te passen buiten het interessegebied. Dit is i.h.a. mogelijk met een geringe vermindering van de orthogonaliteit, gladheid en aspect ratio van een rooster. De afwijking ten opzichte van de optimale waarden kan dus beperkt zijn. Hoeveel afwijking toelaatbaar is, hangt o.a. af van de criteria aan een model (wel of niet heel nauwkeurig?), de toepassing (operationeel voorspellingssysteem voor waterstanden, koelwaterstudie voor temperatuur, ..), de stromingscondities, de toegepaste resolutie en de gebruikte numerieke discretisaties in de software. Over dit onderwerp is veel literatuur beschikbaar. Anderzijds spelen zo veel aspecten een rol, dat in de literatuur geen 'algemene criteria' of 'vuistregels' hiervoor te vinden zijn. In deze bijlage van dit rapport met richtlijnen voor de zesde-generatie modellering doen wij wel een poging hiertoe.

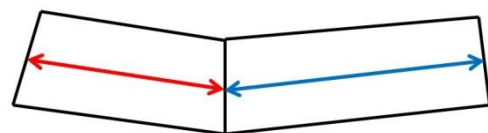
Belangrijk is dat de modelleur zich bewust is van het effect van de roosterkwaliteit op de modeloplossing en op de rekentijd van de berekening. De modelleur moet beslissen in welke gebieden van zijn model de roostercriteria strikt moeten worden gehandhaafd en waar de criteria enigszins kunnen worden losgelaten.

De orthogonaliteit, gladheid en aspect ratio van roostercellen worden hieronder verder besproken. De volgende vuistregels zijn van toepassing voor de zesde-generatie modellering:

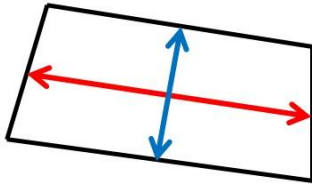
- De **orthogonaliteit** van het rooster is gedefinieerd op een 'flow link' als de absolute waarde van het inproduct van de eenheidsvectoren tussen de twee 'flow nodes' (plus tekens) en de 'net nodes' (punten). De 'flow link' bevindt zich tussen de twee 'net nodes'. De 'flow nodes' bevinden zich in de circumcenters, zie Figuur F.1. Voor de 'orthogonaliteit' van het rooster in het interessegebied moet gelden dat  $\cos(\alpha) < 0.02$ , met  $\alpha$  de hoek tussen 'lijn tussen de flow nodes' en de 'flow link'. Dit komt overeen met een hoek die maximaal 2 graden afwijkt van 90 graden. Hoewel dit misschien een vrij strikte eis lijkt, moet men er rekening mee houden dat in het algemeen de fout in de orthogonaliteit hetzelfde is als de fout in de stroomrichting in open water, dat wil zeggen ver weg van gesloten randen.



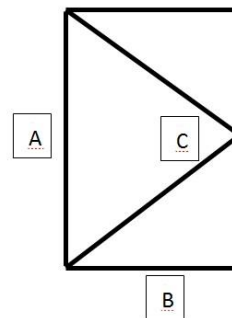
Figuur F.1 illustratie van orthogonaliteit



Figuur F.2 illustratie van gladheid (smoothness)



Figuur F.3 illustratie van aspect ratio (algemeen)



Figuur F.4 illustratie van aspect ratio bij lokale roosterverfijning<sup>13</sup>

- Voor de **gladheid** van het rooster (zie Figuur F.2) is er geen vuistregel. Hierbij speelt mee dat voor niet-gladde roosters ook nauwkeurige modelresultaten te behalen zijn (Kernkamp, 2017). Bovendien zijn eventuele eisen aan de gladheid bij een ongestructureerd rooster niet of nauwelijks te combineren met de eisen aan de orthogonaliteit van het rooster. Desalniettemin is het belangrijk om het rooster zo glad mogelijk te laten zijn; zie bijvoorbeeld de zwak dynamische toepassing in Paragraaf 4.2.1.
- De **aspect ratio** op een vierhoekig rooster is gedefinieerd als de ratio tussen de breedte en de lengte van een roostercel. Voor driehoekige roosters is deze definitie niet toepasbaar. Hier wordt de aspect ratio gedefinieerd als de verhouding tussen de lengtes van de twee hoofdassen van de ellips die het beste door de hoekpunten past (in 'least squares' zin). De aspect ratio moet bij voorkeur kleiner zijn dan twee tot vijf (zie Figuur F.3). Dit criterium is ook min of meer van toepassing bij vierhoekige roosters en hangt sterk af van de toepassing. Zo is bij rechte kanalen een grote aspect ratio mogelijk, terwijl in bochtige rivieren dit zo klein mogelijk (1 en niet groter dan 2) dient te zijn.
- De **aspect ratio bij roosterverfijning** (zie Figuur F.4) moet niet groter zijn dan twee. Omdat hoek C in Figuur F.4 kleiner of gelijk aan 90 graden moet zijn, moet ratio A/B kleiner zijn dan twee. Als er in dezelfde cel ook nog een verfijning in dwarsrichting wordt toegevoegd, dan wordt de beperking in aspect ratio nog strenger, namelijk  $\sqrt{2}$ .

Samengevat, voor een D-Flow FM rooster zijn de volgende vuistregels van toepassing:

- **Orthogonaliteit:**  $\cos(\alpha) < 0.02$  met  $\alpha$  de hoek tussen 'lijn tussen de flow nodes' en de 'flow link';
- **Gladheid:** geen stringente eis maar zo glad mogelijk;
- **aspect ratio (algemeen):** bij voorkeur 1 en kleiner dan 5;
- **aspect ratio bij roosterverfijning:** kleiner dan  $\sqrt{2}$ .

<sup>13</sup> Omdat hoek C in Figuur F.4 kleiner of gelijk aan 90 graden moet zijn, moet ratio A/B kleiner zijn dan twee.

## G Bijlage: Bodemprojectie

Bij de locatie voor de bodemhoogte in D-Flow Flexible Mesh modellen is de kernvraag: “*Is de locatie van de bodemhoogte in hoekpunten of in celmiddens van roostercellen?*” Dit laatste staat ook bekend onder de naam ‘tegelaanpak’. Er zijn dus twee concepten mogelijk voor de locatie van bodemhoogtes in de zesde-generatie modellen, te weten ‘in hoekpunten’ of in ‘celmiddens’. Bij de keuze hiertussen spelen de volgende aspecten een rol:

- Flexibiliteit van modelleren;
- Nauwkeurigheid en roosterconvergentie; en
- Consistentie met morfologie. (NB. morfologie vereist bodemhoogtes in celmiddens)

In het voorliggende project is voor de Noordzee en voor de Waal gedetailleerd onderzoek gedaan naar de voor- en nadelen bij het toepassen van deze twee concepten (De Jong, 2016). De aanbevelingen in dit memo zijn verwerkt in onderstaand advies voor de zesde-generatie modellering. Bijlage G.1 bevat een zeer beknopte samenvatting van dit memo.

Bij de Waal geven beide concepten behoorlijk vergelijkbare modelresultaten, zodat deze verschillen via een kalibratieprocedure weg te werken zijn. Bij de Noordzee is echter geconstateerd dat de modelresultaten voor “bodemhoogtes in celmiddens” een lagere nauwkeurigheid geeft. Er treden fasefouten in de voortplanting van het getij op die met kalibratie (van ruwheden) niet opgelost kunnen worden.

Alles afwegende is momenteel het advies voor zesde-generatie modellering om:

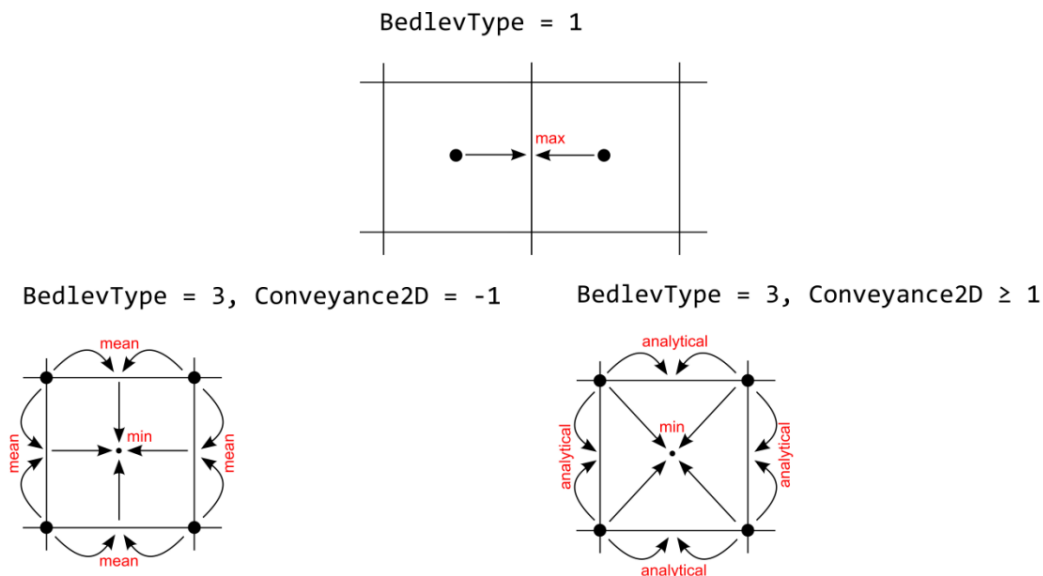
- ‘Bodemhoogtes in hoekpunten’ toe te passen..
- Voor morfologische modellen wordt een ‘afgeleid model’ bepaald op basis van het hydrodynamische model, omdat voor de hydrodynamica en morfologie verschillende bodemhoogtes toegepast moeten worden. Dit gebeurt als volgt:
  - a) Het hydrodynamische model (met bodemhoogtes in hoekpunten) schrijft de berekende bodemhoogte in celmiddens weg naar een zogeheten sample-file.
  - b) Met het DelftaShell GUI van D-Flow FM wordt het hydrodynamische model geconverteerd naar een model met ‘bodemhoogtes in celmiddens’.
  - c) In de Spatial Editor van de GUI worden op basis van de hierbovengenoemde sample file bodemhoogtes gedefinieerd en wordt het model opgeslagen.

In de toekomst zullen alle nieuwe hydrodynamische modelschematisaties dus opgezet en afgeregeld worden op basis van ‘bodemhoogte in hoekpunten’. De morfologische modellen zijn een afgeleide hiervan, waarbij er een grote overeenkomst is. Zo is het initiële watervolume gelijk. Het hydrodynamische model wordt gekalibreerd. Zodra dit model definitief is, kan via de hierboven beschreven procedure een morfologiemodel afgeleid worden. Voor ieder nieuw hydrodynamisch model dient dit opnieuw te gebeuren, maar dit vereist een geringe inspanning per model.

Bij morfologiemodellen wordt voor snelheidspunten de hoogste van de twee omliggende bodemhoogtes in de celmiddens toegepast. Uit ervaring is bekend dat dit tot extra numerieke dissipatie kan leiden. Dit kan de nauwkeurigheid nadelig beïnvloeden. Er wordt dus niet een middeling van de twee omliggende bodemhoogtes in de celmiddens toegepast, omdat voor een zo robuust mogelijke implementatie is gekozen. Ten tijde van de ontwikkeling van de morfologiemodule in Delft3D (rond 2000) waren er veel stabiliteitsproblemen en is voor deze aanpak gekozen, die in de praktijk veel robuuster blijkt te zijn.

## G.1 Samenvatting van aanvullend onderzoek

In deze sectie worden de belangrijkste bevindingen uit (De Jong, 2016) samengevat. In dit onderzoek is in detail naar de modelnauwkeurigheid gekeken. Voor beide BedlevType-methoden is bepaald wat op basis van de discretisatie de fout op verschillende plekken van het rooster is. De methode van discretisatie staat in onderstaande figuur. Voor min/max geldt "Positive Upward".



Figuur G.1 Schematische weergave hoe voor verschillende combinaties van BedlevType en Conveyance2D de bodemhoogte op de verschillende locaties van het rekenrooster wordt geprojecteerd.

Daarnaast kan op verschillende manieren de bodemhoogte worden gemiddeld of geïnterpoleerd naar de discretisatielocatie. Om zo dicht mogelijk bij de werkelijke bodem te zitten wordt hiervoor in alle onderstaande analyses gebruik gemaakt van:

- Bedleveltype=1 (BT1): De gemiddelde bodemhoogte binnen de grid cel
- Bedleveltype=3 (BT3): De lokale bodemhoogte geprikt in het hoekpunt

In beide discretisaties wordt gebruik gemaakt van een MIN of MAX term waardoor een afwijking zal ontstaan in positieve of negatieve richting. Voor verschillende (lokale) variaties is in onderstaande tabel afgeleid wat hierdoor de afwijking zal zijn met de theoretische waarheid.

Tabel G.1 Fout in bodemhoogte ten opzichte van de (theoretische) waarheid. (- o +)

	BT1		BT3 (Conv -1)	
	Edge	Face	Edge	Face
<b>Verhang rivier</b>	+	o	o	- <sup>1</sup>
<b>Doorstroom richting</b>	o	o	o	- <sup>1</sup>
<b>Lokale schommelingen</b>	+	o	o	- <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hiervoor kan worden gecorrigeerd met een tweede orde Volume berekening (nonlin2D=1)

Vervolgens zijn er veel simulaties uitgevoerd om de nauwkeurigheid van de twee concepten te bepalen. In onderstaande tabel zijn de resultaten samengevat.

Tabel G.2 Fout in bodemhoogte ten opzichte van ingegeven samples. (- o +) (mean (stdev) )

	BT1		BT3 (Conv -1)		BT3 – BT1	
	Edge	Face	Edge	Face	Edge	Face
<b>Theoretische verwachting</b>	+	o	o	- <sup>1</sup>	-	-
<b>Waal (m)</b>	<b>+0.32</b> <b>(0.66)</b>	<b>0.00</b> <b>(0.47)</b>	<b>0.00</b> <b>(0.31)</b>	<b>-0.50</b> <b>(0.86)</b>	<b>-0.32</b> <b>(0.62)</b>	<b>-0.50</b> <b>(0.72)</b>
<b>Noordzee (m)</b>					<b>-1.22</b> <b>(3.46)</b>	<b>-1.13</b> <b>(5.10)</b>
<b>Veluwerandmeer (m)</b>	<b>0.11</b> <b>(0.28)</b>	<b>0.00</b> <b>(0.33)</b>	<b>0.00</b> <b>(0.16)</b>	<b>-0.13</b> <b>(0.41)</b>	<b>-0.11</b> <b>(0.32)</b>	<b>-0.14</b> <b>(0.33)</b>

<sup>1</sup> Hiervoor kan worden gecorrigeerd met een tweede orde Volume berekening (nonlin2D=1)

Dit onderzoek heeft tot de volgende conclusies geleid:

- BT1 heeft de beste benadering van de bodemhoogte (Volume) in waterstandspunten
- BT3 heeft de beste benadering van de bodemhoogte (Flow area) in snelheidspunten.

Op basis van de voor- en nadelen van beide concepten is voor enkele bewerkingen afgeleid welke methode hiervoor het meest geschikt zou zijn<sup>14</sup>:

- Toepassing van de gevalideerde morfologie ontwikkeld in Delft3D 4 → BT1
- Grootste overeenkomst met WAQUA → BT3
- Beter stroombeeld bij een stationaire stroming → BT3
- Betere golfvoortplantingsnelheid → BT3
- Betere golfafvlakking → BT1
- Betere inundatie → BT1

Dit geeft de volgende oplossingsrichtingen:

1. We gebruiken BT1. De ontstane fout in waterstanden wordt gekalibreerd door aanpassingen aan de ruwheid. De fout in fase kan niet gekalibreerd worden aangezien dit een kalibratie van de bodemhoogte vereist.
2. We gebruiken BT3. Wanneer gebruik gemaakt dient te worden van morfologie, dan wordt het BT aangepast naar BT1. De ontstane verandering in waterstanden wordt geaccepteerd of krijgt een aangepaste kalibratie. (of BT6?)
3. We gebruiken BT1 met de waterstand in snelheidspunten door middeling van de twee naburige waterstanden, zoals in Delft3D 4 (DPUOPT=MEAN\_DPS). Deze optie is overigens niet geïmplementeerd in D-HYDRO.

De bevindingen in Bijlage G.1 zijn meegenomen in het opstellen van aanbevelingen voor de bodemhoogte van zesde-generatie modellen; zie Paragraaf 4.3.2. Hierbij is uiteindelijk voor de tweede oplossingsrichting gekomen, waardoor een iets andere aanpak is gekozen voor het afleiden van een morfologiemodel. Dit staat beschreven aan het begin van deze bijlage.

<sup>14</sup> Een beslissing op de discretisatiemethode heeft geen invloed op het numerieke schema. Eigenschappen als numerieke diffusie, stabiliteit en superkritische stroming zullen hierbij niet anders zijn. In beide discretisatiemethoden is gekozen voor een bodemhoogte op waterstands- en snelheidspunten waardoor flooding-drying stabiel is. Bij grid convergentie zullen we verschillen zien tussen beide modellen, deze verschillen worden echter veroorzaakt door convergentie in bodemhoogte. Voor een fijne resolutie zullen beide discretisaties dezelfde resultaten geven. De genoemde argumenten zijn vooral merkbaar bij een grof rooster (zoals in de gegeven toepassingen).



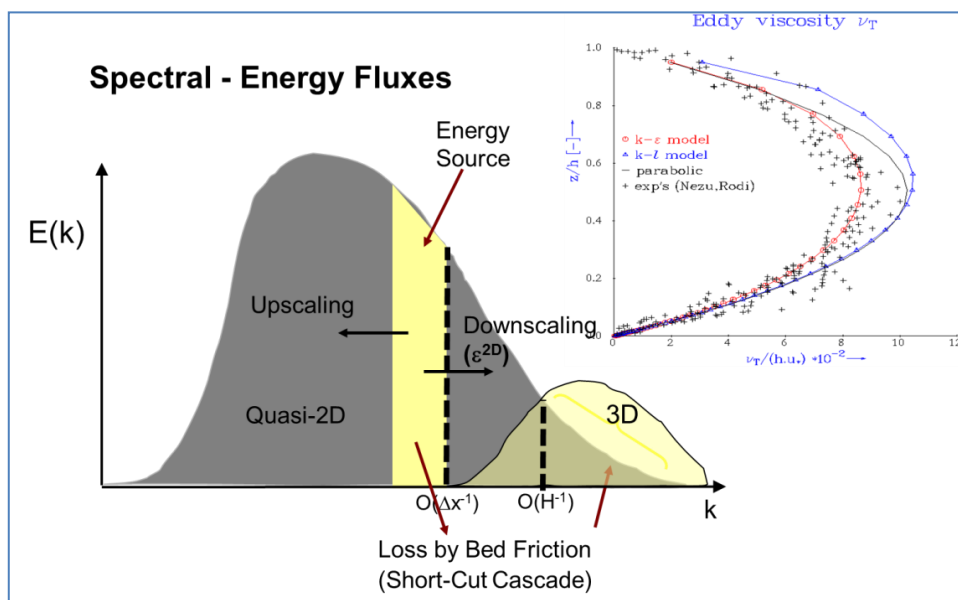


## H Bijlage: Horizontale viscositeit

### H.1 Background

D-HYDRO solves the shallow water equations for an incompressible fluid. Usually the grid (horizontal or vertical) is too coarse and the time step too large to resolve the turbulent scales of motion. The turbulent processes are “sub-grid”.

For 3D shallow water flow the stress and diffusion tensor are anisotropic. The horizontal eddy viscosity coefficient  $\nu_H$  and eddy diffusivity coefficient  $D_H$  are much larger than the vertical coefficients  $\nu_V$  and  $D_V$  (viz.  $\nu_H \gg \nu_V$  and  $D_H \gg D_V$ ). The horizontal coefficients are assumed to be a superposition of three parts: the molecular viscosity (background), the 3D turbulence, and the 2D turbulence. The energy cascade shown in **Error! Reference source not found.** gives an overview of the energy fluxes (van Vossen & Uittenbogaard, 2004).



Figuur H.1 Spectral energy density  $E(k)$  vs. horizontal wave number magnitude  $k$ . Arrows indicate energy fluxes including the short-cut cascade of quasi-2D turbulence directly into 3D turbulence. The downscaling flux requires an SGS model if horizontal grid sizes exceed the water depth  $H$ .

In numerical simulations the horizontal eddy viscosity is split into three components, which are further elaborated in the paragraphs below.

$$\nu_H = \nu_{H,background} + \nu_{H,3D} + \nu_{H,2D}$$

#### H.1.1 Background horizontal viscosity

The background horizontal viscosity coefficient  $\nu_{H,Background}$  and eddy diffusivity coefficient  $D_{H,Background}$  (constant or space-varying) can be specified in the graphical user interface or directly in the mdu-file. A value equal to or larger than the kinematic viscosity of water may be considered.

## H.1.2 3D turbulence

The 3D part is referred to as the three-dimensional turbulence and is computed following one of the turbulence closure models. For 2D depth-averaged simulations, the horizontal eddy viscosity and eddy diffusivity coefficient should also contain a contribution due to the vertical variation of the horizontal flow (Taylor shear dispersion). In 2DH models, this may be done by including the Elder's term, which enables the addition of the Elder's term to the depth-averaged parabolic diffusivity profile to take into account the effect of a 3D velocity profile (so-called Taylor-shear dispersion) in a depth-averaged model.

The Elder's term reads:

$$v_{H,Elder} = \frac{1}{6} \kappa h u_*$$

With  $\kappa \approx 0.4$ , is the Von Kármán constant,  $h$  local flow depth, and  $u_*$  the shear velocity (m/s);

$$u_* = u \frac{\sqrt{g}}{C}$$

In D-HYDRO  $v_{H,Elder}$  is defined as follows:

$$v_{H,Elder} = E \frac{\sqrt{g}}{C} \frac{1}{6} \kappa \cdot h \cdot u$$

with  $E$  as a user-defined Elder calibration coefficient and  $u$  the depth-averaged velocity. For a recommended value  $E = 1$ , this formula is equal to the given Elder's term.

## H.1.3 2D turbulence

The 2D part is associated with the contribution of horizontal motions and forcings that cannot be resolved by the horizontal grid ("sub-grid scale turbulence" Reynolds averaged or eddy resolving computations).

D-HYDRO includes a simple horizontal eddy viscosity model, viz. the Smagorinsky model, such that it can cope with grid size variations. The horizontal eddy coefficients are typically an order of magnitude larger than the vertical coefficients determined by the turbulence closure model.

In D-HYDRO, the horizontal eddy viscosity coefficient can be computed with Elder's formula and/or a Smagorinsky model. The background viscosity is added (not mentioned in the following equations for simplicity).

The Smagorinsky model takes the form:

$$v_H = \ell^2 \sqrt{2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2}$$

with  $\ell$ , a length scale defined as:

$$\ell = C_s \cdot \sqrt{\Delta x \cdot \Delta y} \quad \text{or} \quad \ell = C_s \sqrt{\Delta x} w_u$$

and  $C_s$  is a user-defined Smagorinsky constant.

The length scale  $\ell$  in the Smagorinsky model is a function of the local velocity gradients as well as the mesh size. Subsequently, the horizontal eddy viscosity is proportional to the grid area and is function of the local velocity gradient. Moreover, the horizontal eddy viscosity is proportional to the square of the calibration coefficient  $C_s$ .

## H.2 Discussion

(Madsen, Rugbjerg, & Warren, 1988) report that the Smagorinsky constant is around 0.1825 for 3D models and in the range 0.4-0.8 for 2D models.

(Delft Hydraulics: Uijttendogaard et al. 2005) gives an analysis of the eddy viscosity for the 2D WAQUA models (Rijntakken and Maas models). The analysis was made based on the results of the model, when using a constant horizontal eddy viscosity, and analysing the resulting flow field to deduce time and space varying  $\nu_H$  based on the HLES formulation of (van Vossen & Uittenbogaard, 2004). For the Rhine Branches model,  $Q = 16,000 \text{ m}^3/\text{s}$  at Lobith, they report values of  $\nu_H$  in the order of  $2.3 \text{ m}^2/\text{s}$  for the coarse grid model and  $1.28 \text{ m}^2/\text{s}$  for the fine grid. And, for  $Q = 12,000 \text{ m}^3/\text{s}$  at Lobith,  $\nu_H = 1.15 \text{ m}^2/\text{s}$  (fine grid model). For the Maas model,  $Q = 3,800 \text{ m}^3/\text{s}$  at Borgharen, they report values in the order of  $3.5 \text{ m}^2/\text{s}$  for the coarse model and  $2.0 \text{ m}^2/\text{s}$  for the fine model. The values they report are averaged to mostly focus on the shear layer in the transition zone from the main channel (fast stream) to floodplains (slows stream), via the groyne fields.

Here we note that the model of (van Vossen & Uittenbogaard, 2004), which is implemented in Delft3D, can be considered an extension of the Smagorinsky model including also the effect of bed roughness.

When the vertical flow profile is logarithmic and the mesh dimensions are in the same order of magnitude of the flow depth ( $\sqrt{\Delta x \Delta y} = O(h)$ ); the largest non-resolved scale is the vertical velocity profile. In this case, the Elder's formulation is a valid representation of the horizontal eddy viscosity. When the mesh size is much larger than the flow depth ( $\sqrt{\Delta x \Delta y} \gg h$ ), the largest non-resolved scale will be related to the horizontal mesh size. In this case it is better to use an approach that includes a mixing length scale (e.g. Smagorinsky).

## H.3 Test simulations using the Waal model

A number of test simulations were made in 2016 (de Jong and Yossef, 2016). These tests comprised:

- Constant viscosity: Global (background) horizontal eddy viscosity of 0.5, 1.0 (reference case), 1.5 and  $5.0 \text{ m}^2/\text{s}$
- Smagorinsky model: applying the Smagorinsky formulations with different coefficients (0.1 and 0.15)
- Smagorinsky + Elder: adding the Elder's term to the case with a Smagorinsky constant of 0.1

In 2017 we made new simulations covering a wider range of the Smagorinsky constant. The recent simulations included  $C_s = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.3, 0.40, \text{ and } 0.5$ ; in addition to  $C_s = 0.10 + \text{Elder}$  and  $C_s = 0.20 + \text{Elder}$ . The results are shown in a series of Annex 1 (section H.5). The simulations are compared with a reference simulation, which includes a constant  $\nu_H = 1.0 \text{ m}^2/\text{s}$ .

From these results we could make the following observations:

- The resulting  $v_H$  has clear dependency on the selected  $C_s$  value. The higher the  $C_s$  the higher the resulting viscosity.
- In general, the resulting values of  $v_H$  in the main channel, away from the mixing zone, are relatively small. This is expected as the gradient in the velocity is small.
- The application of the constant  $C_s = 0.1$  and  $0.15$  yields relatively low  $v_H$  in the mixing zone; smaller than what has been reported in (Uittenbogaard et al. 2005 - Q3846). The application of the constant  $C_s = 0.4$  and  $0.5$  yields relatively high  $v_H$  in the mixing zone.
- The plausible  $v_H$  values are the results of the application of  $C_s = 0.2$  to  $0.3$ . The effect of increasing  $C_s$  from  $0.1$  to  $0.2$  is shown in **Error! Reference source not found.**
- The effect of the Elder's term on  $v_H$  of the main channel is in the range of ( $0.05 \text{ m}^2/\text{s}$  to  $0.15 \text{ m}^2/\text{s}$ ) being the largest in the deepest parts of the main channel at high discharge and smaller in the mixing layer and lower discharges (see **Error! Reference source not found.**). This pattern is due to the linear proportionality with flow depth.
- For all tests (except  $C_s = 0.5$ ), the effect on the velocity distribution is not very large, though visible in the shear layer.

#### H.4 Conclusions and recommendations

In this memo, we present the results of a limited analysis to reach an advice for the parameter settings affecting the horizontal eddy viscosity of the Waal model. The analysis did not include any calibration or comparison of velocity cross-sections with measurements. The most noticeable effect of the eddy viscosity is on the velocity in the shear layer, in the transition zone from the main channel (fast stream) to floodplains (slows stream). Accordingly, the selection of the eddy viscosity settings should be based on comparisons of calculated velocity cross-section profiles with field measurements. This has not been part of the scope of this analysis.

The analysis gives overall views on the selection of the parameter settings affecting the horizontal eddy viscosity of the model. From the results, and mainly based on comparisons with reported values of (Uittenbogaard et al. 2005), we can recommend the use of a Smagorinsky calibration coefficient ( $C_s$ , or Smagorinsky in D-HYDRO mdu-file) in the range of  $0.2$  to  $0.3$ .

The addition of the Elder's term has some pros and cons. On the one hand there is a solid theoretical background for the use of the Elder's term as a representation of the 3D turbulence. On the other hand however, the linear dependency on water depth may give raise to large eddy viscosity values in deep parts (e.g. estuary & sea), where the presence of a logarithmic flow profile over the entire depth may be debatable. The observed effect of adding Elder's term ( $E=1$ ) in the tested model of the Waal is in the order  $0.05 \text{ m}^2/\text{s}$  to  $0.15 \text{ m}^2/\text{s}$ .

In absence of other results, we may recommend, for 2D models, using one of the following two alternatives:

- a combination of a Smagorinsky model ( $C_s = 0.20$ ) and Elder formulation ( $E = 1.0$ ), or
- a Smagorinsky model ( $C_s = 0.20$ ) and relatively large value for the background viscosity. Based on the tests carried out herein, a background eddy viscosity in the order of  $0.1 \text{ m}^2/\text{s}$  seems to be acceptable.

At this stage, we are more inclined to the later.

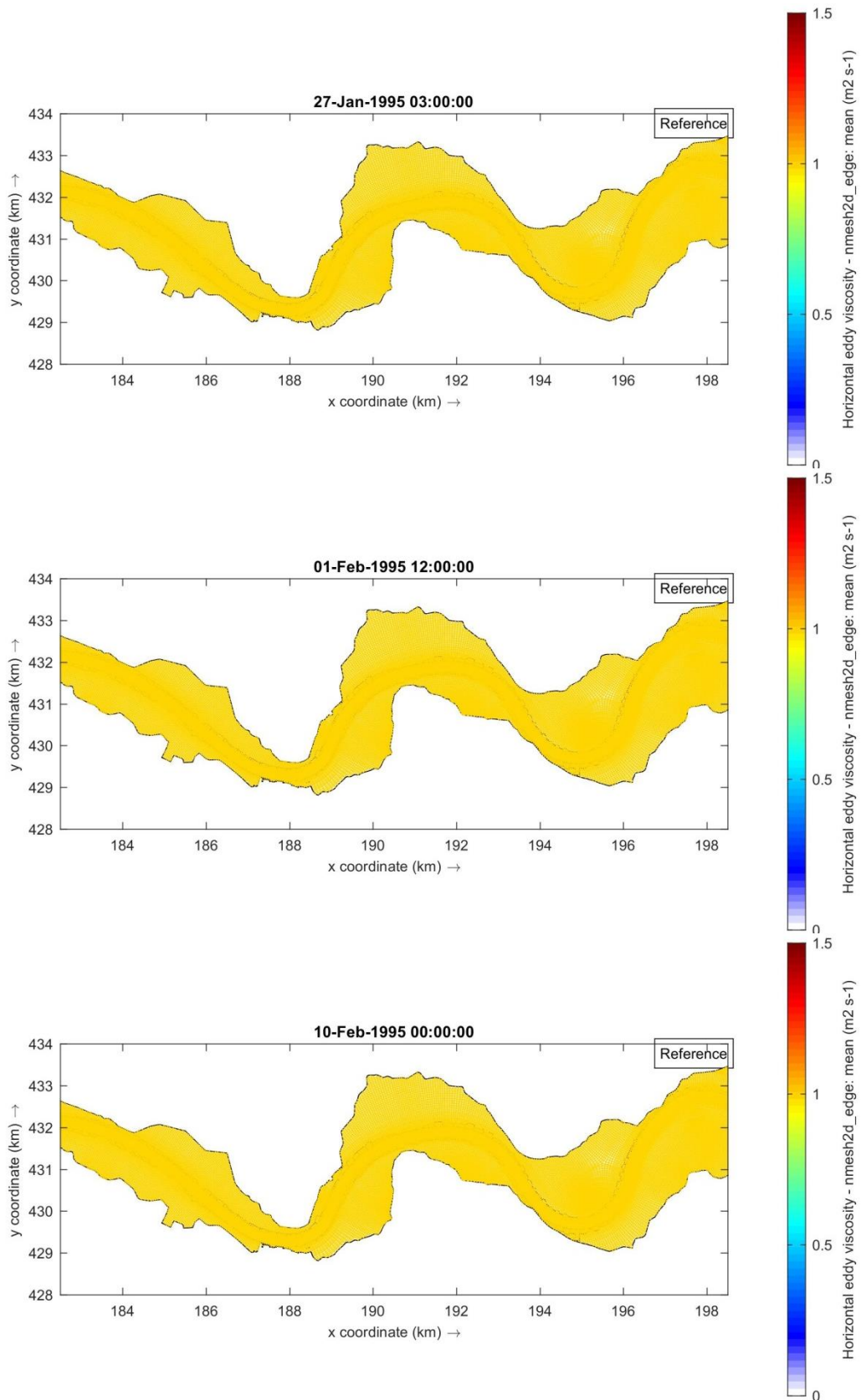
For 3D models, the vertical eddy viscosity can be calculated using the  $k-\epsilon$  model; thus, rendering the Elder's term redundant. The horizontal eddy viscosity can be still calculated using the Smagorinsky model.

We note that the values found in this analysis are deduced from a single model and may not be generalised before further validation. Moreover, the horizontal eddy viscosity can be used as a calibration parameter. Thus, changes based on model needs may be expected.

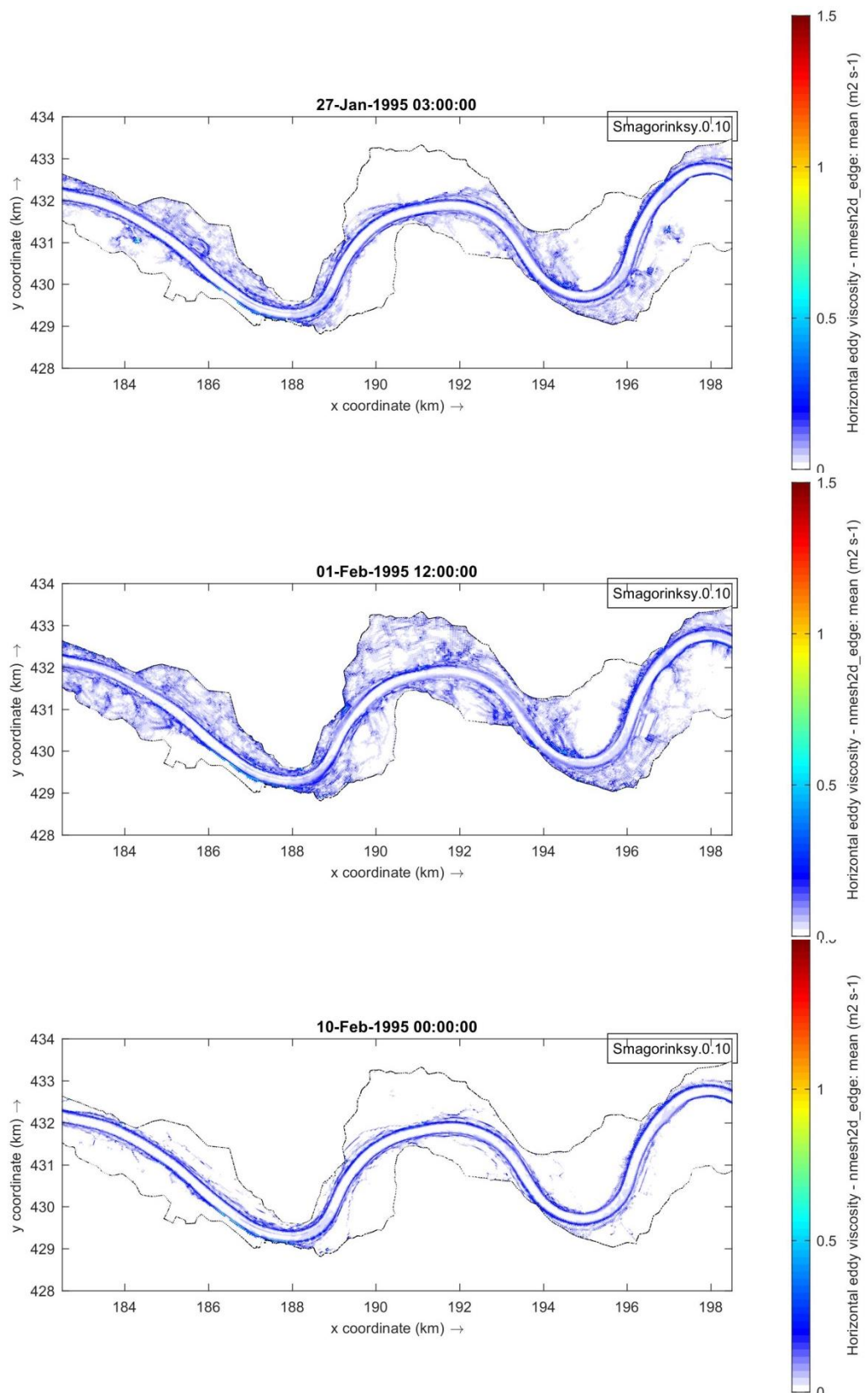
Finally, we recommend carrying out a more thorough analysis similar to that which was carried out in 2005, in addition to making comparisons with measured velocity cross-sections, to reach a final advice on the selection of parameter settings for the horizontal eddy viscosity. If the model will be used in evaluating local flow phenomena (e.g. flow near groynes), selection of the parameter setting for the horizontal eddy viscosity will be part of the calibration.

#### **H.5 Annex 1: Results of test simulations using the Waal model**

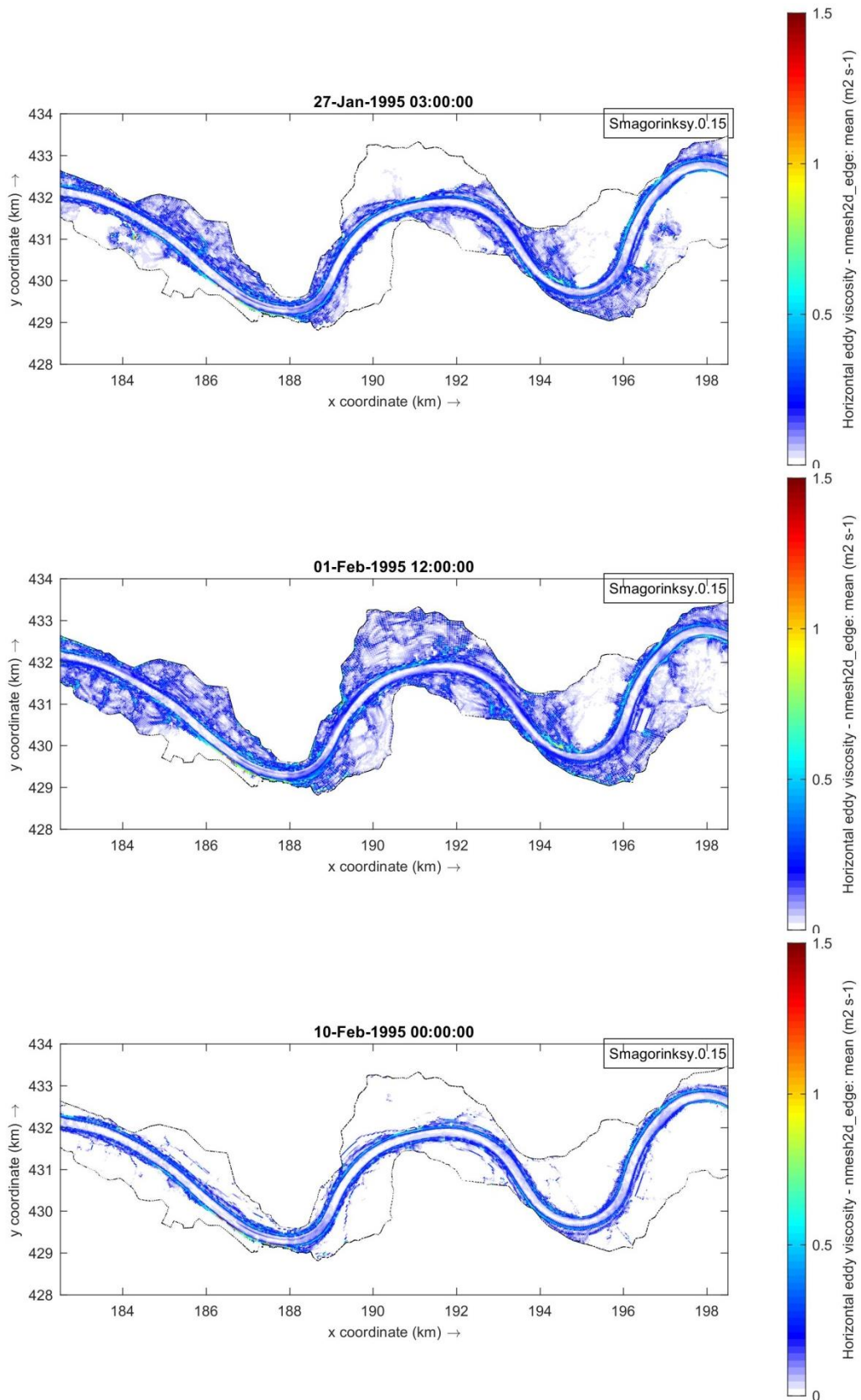
The test simulations presented in this Annex are made using the Waal model with the 1995 boundary conditions. For more details about the used model we refer to de Jong and Yossef (2016).



Figuur H.2 Horizontal eddy viscosity at three different time steps – case name in legend

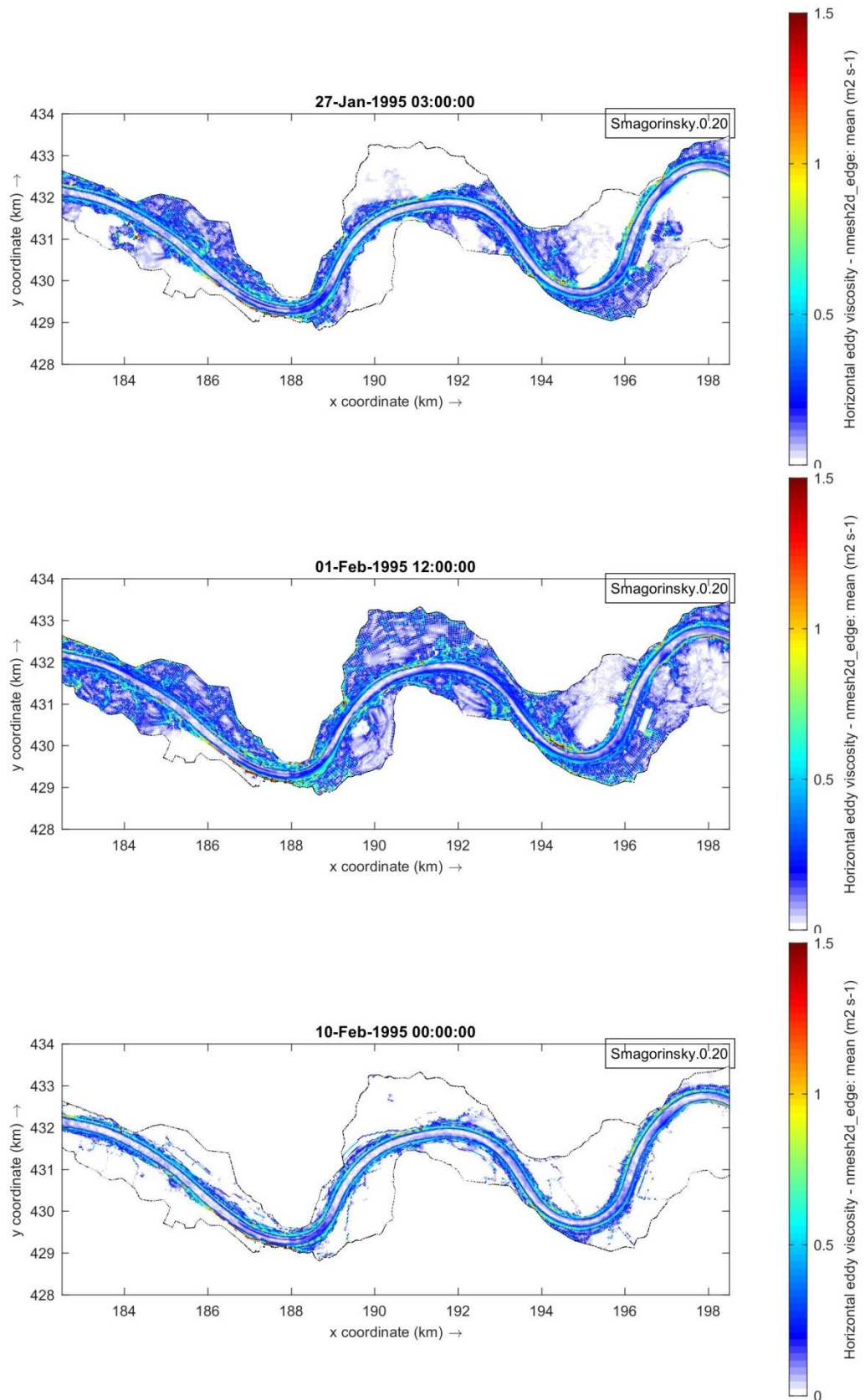


Figuur H.3 Horizontal eddy viscosity at three different time steps – case name in legend

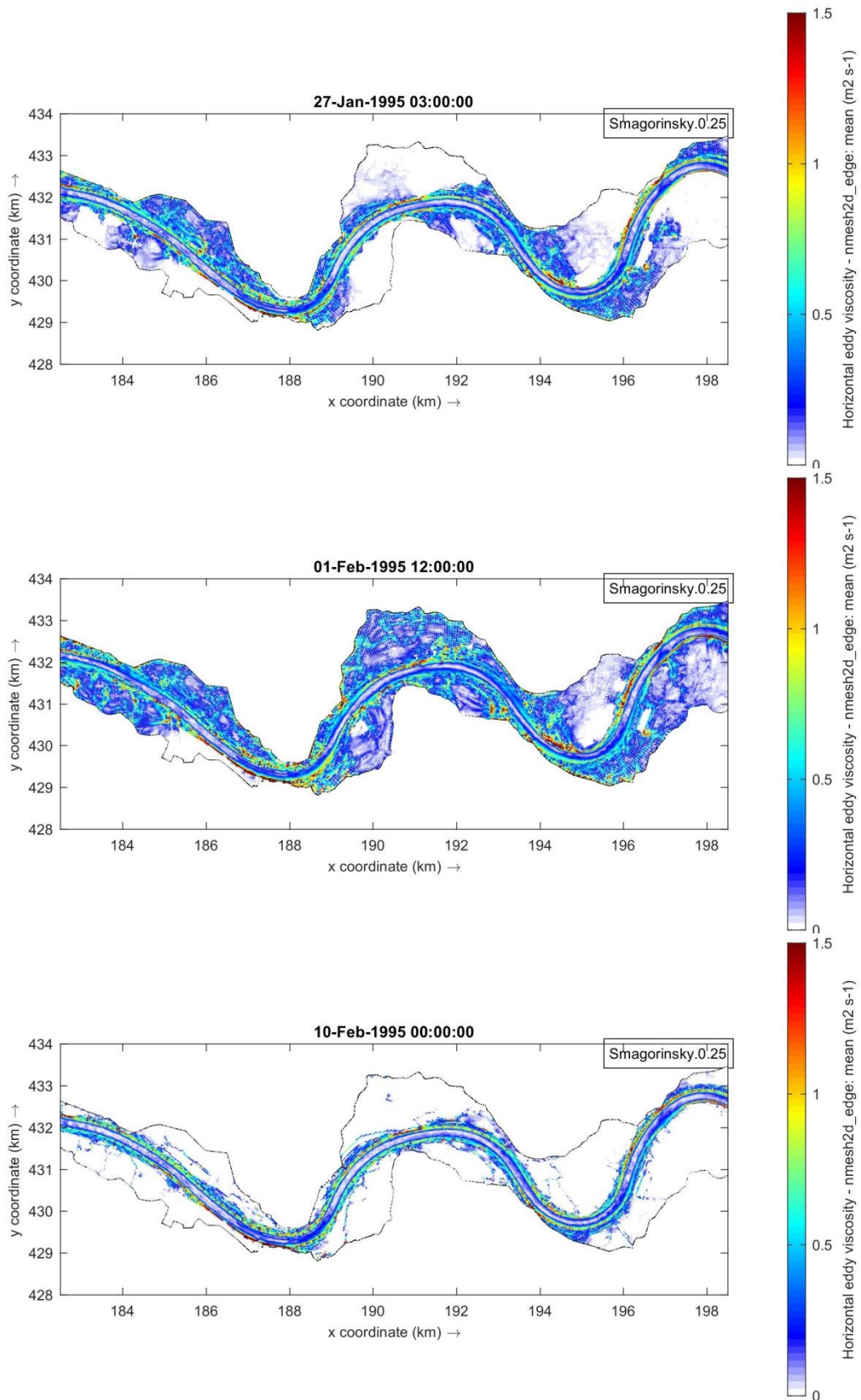


Figuur H.4 Horizontal eddy viscosity at three different time steps – case name in legend

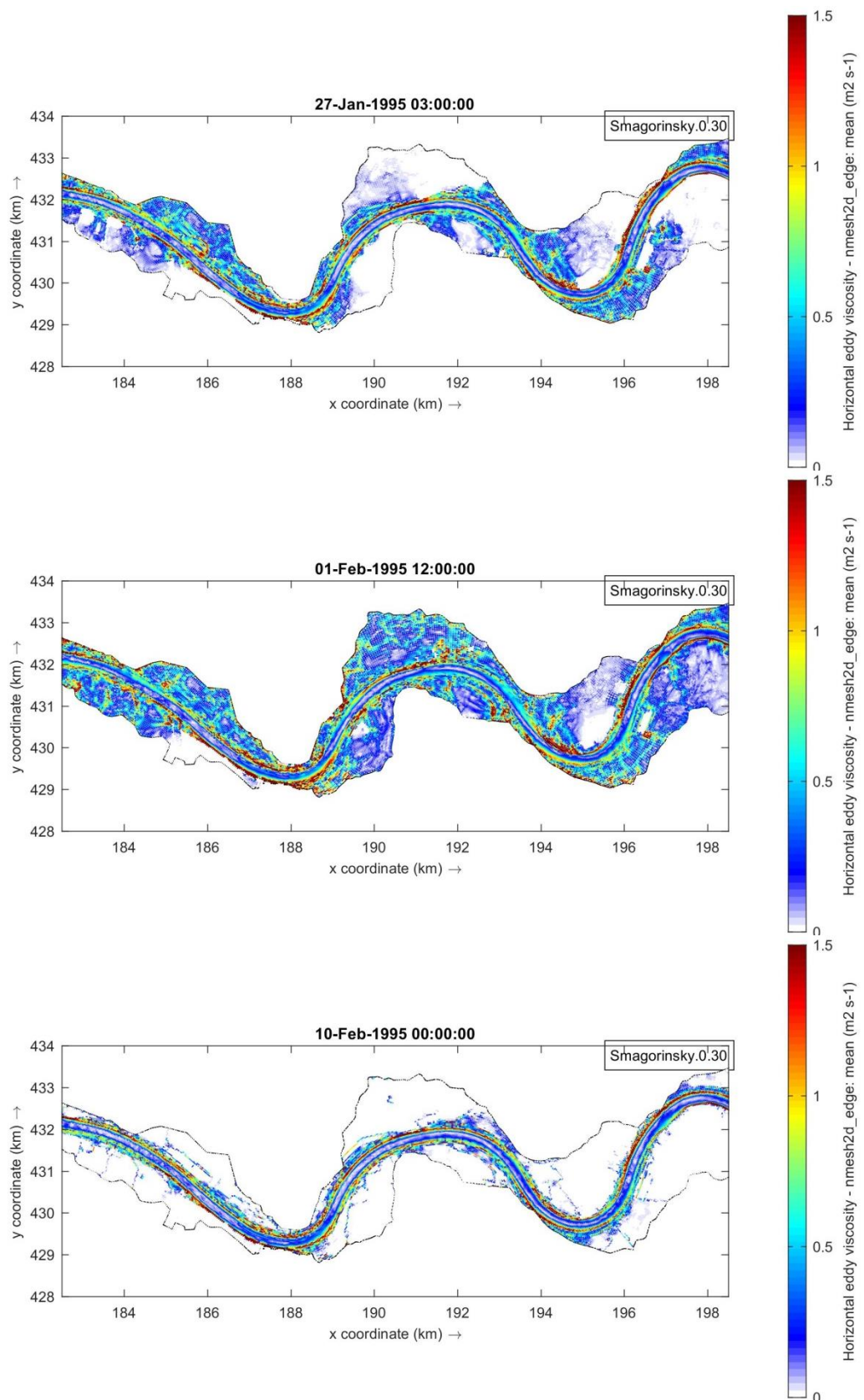




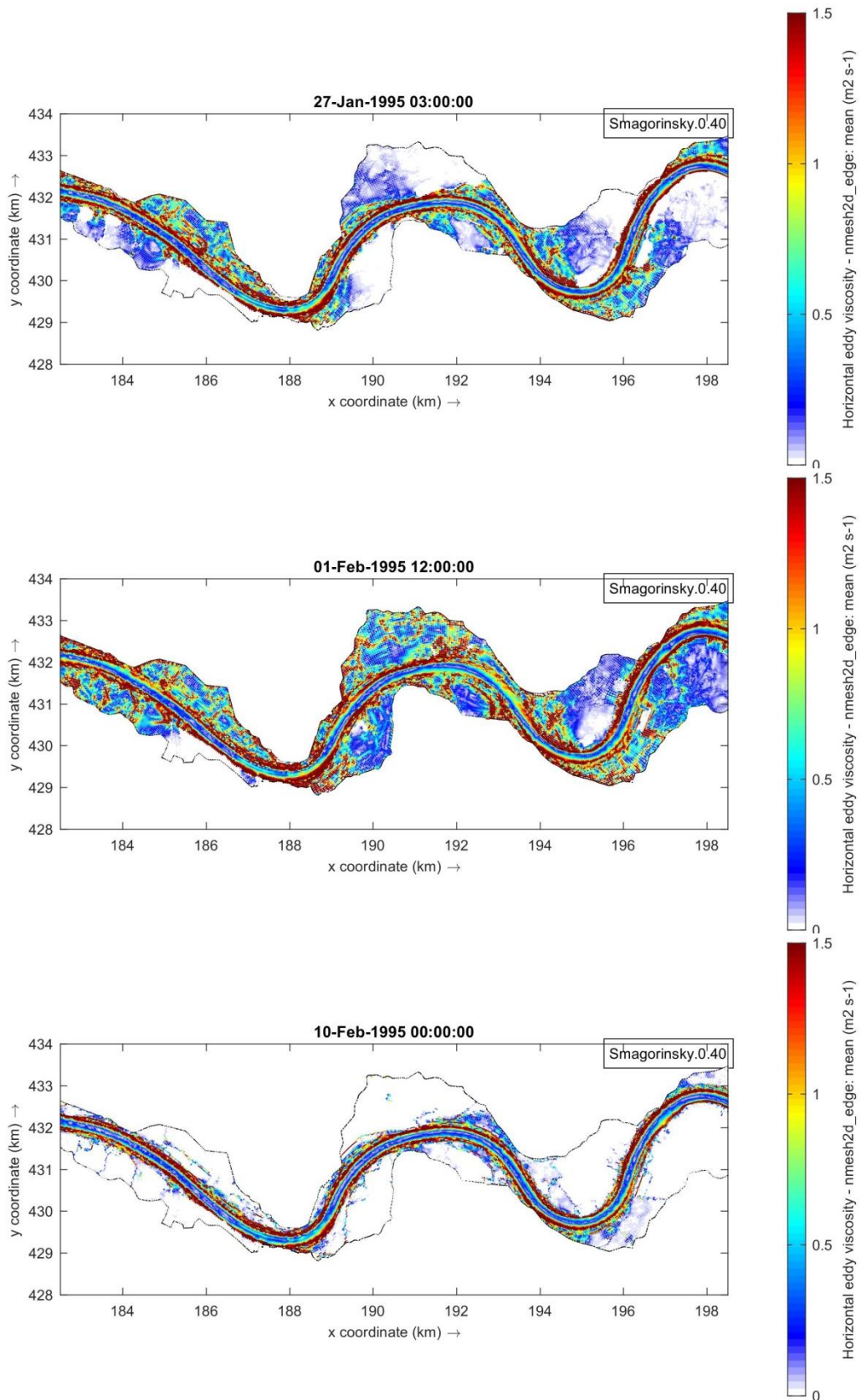
Figuur H.5 Horizontal eddy viscosity at three different time steps – case name in legend



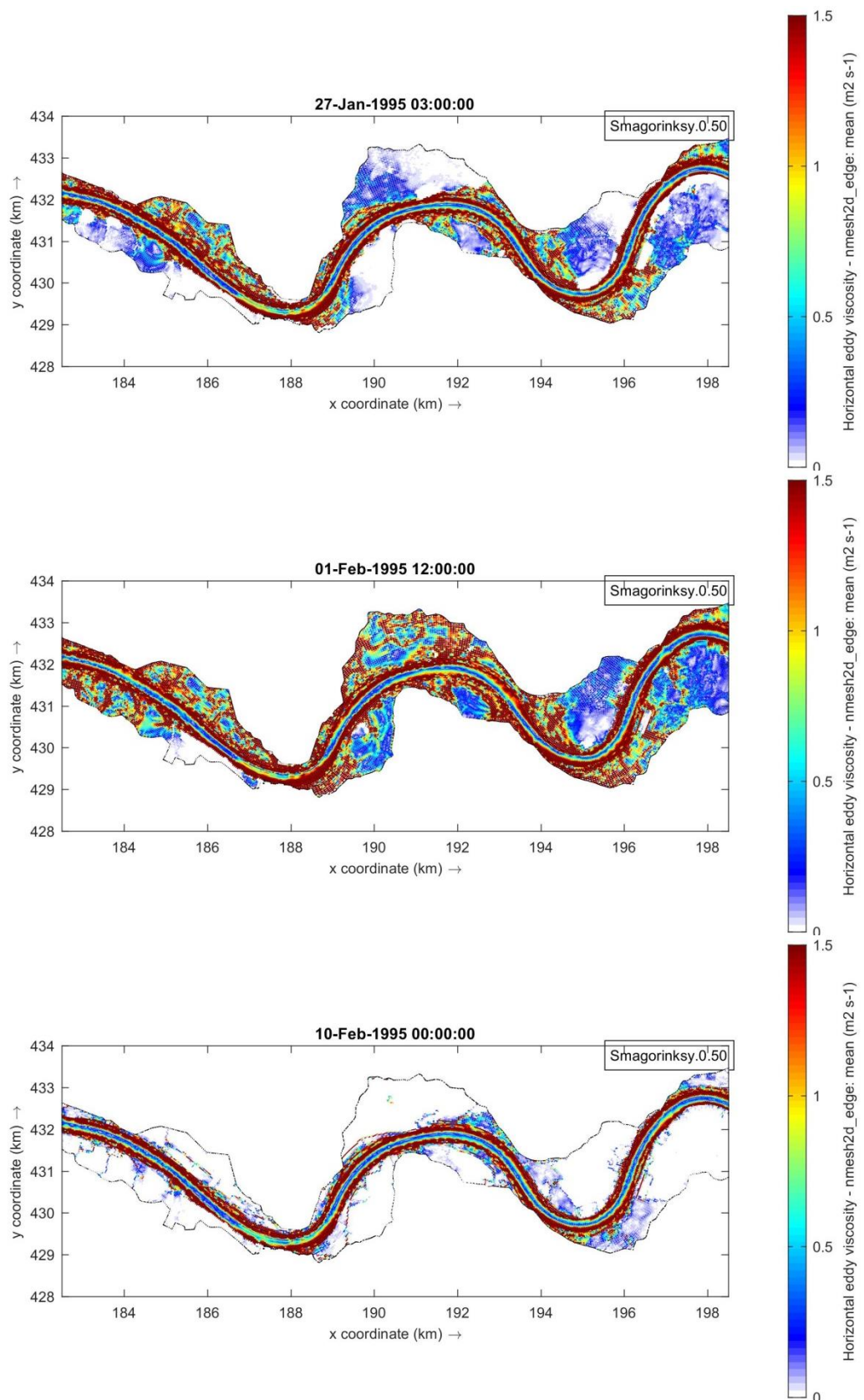
Figuur H.6 Horizontal eddy viscosity at three different time steps – case name in legend



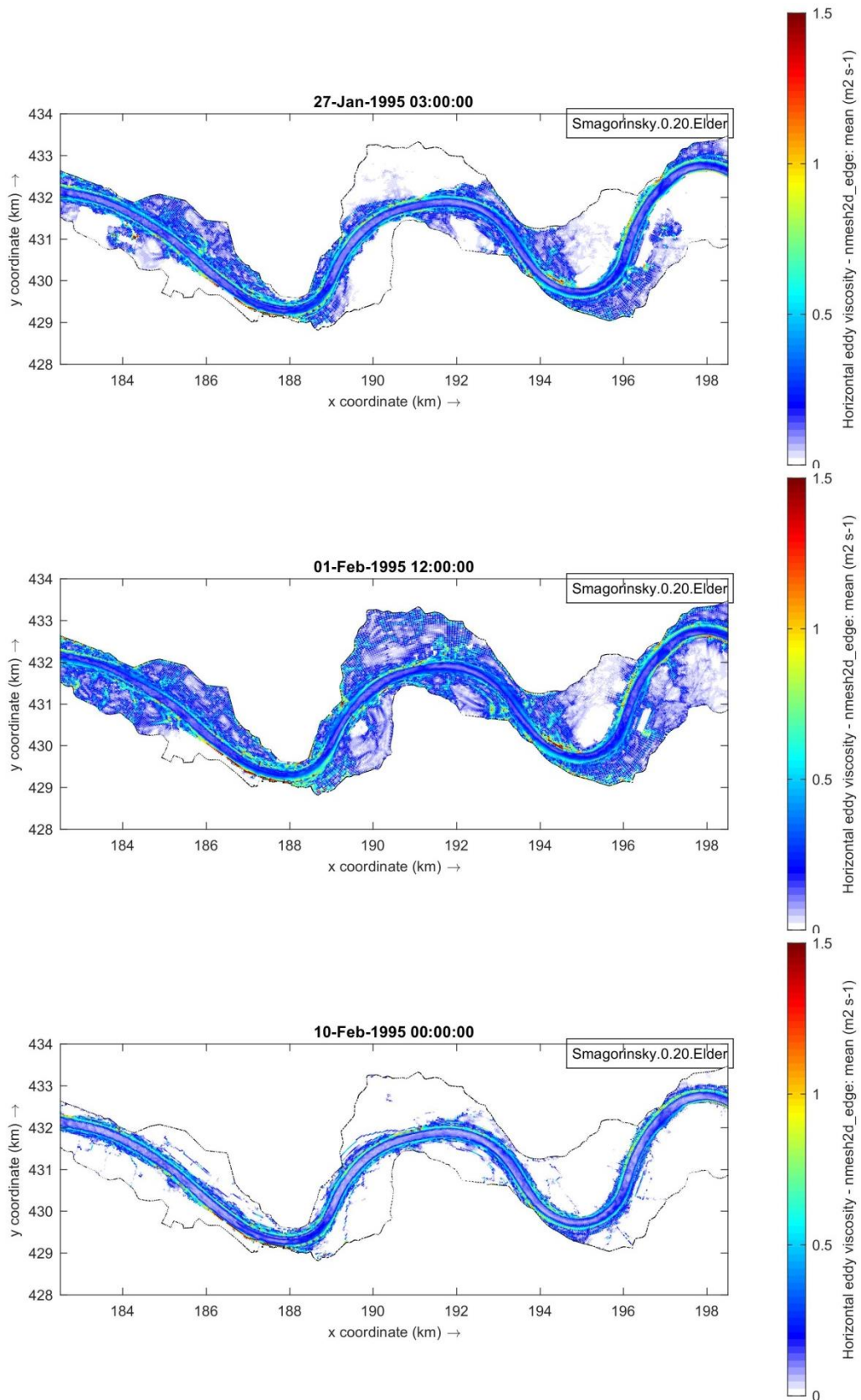
Figuur H.7 Horizontal eddy viscosity at three different time steps – case name in legend



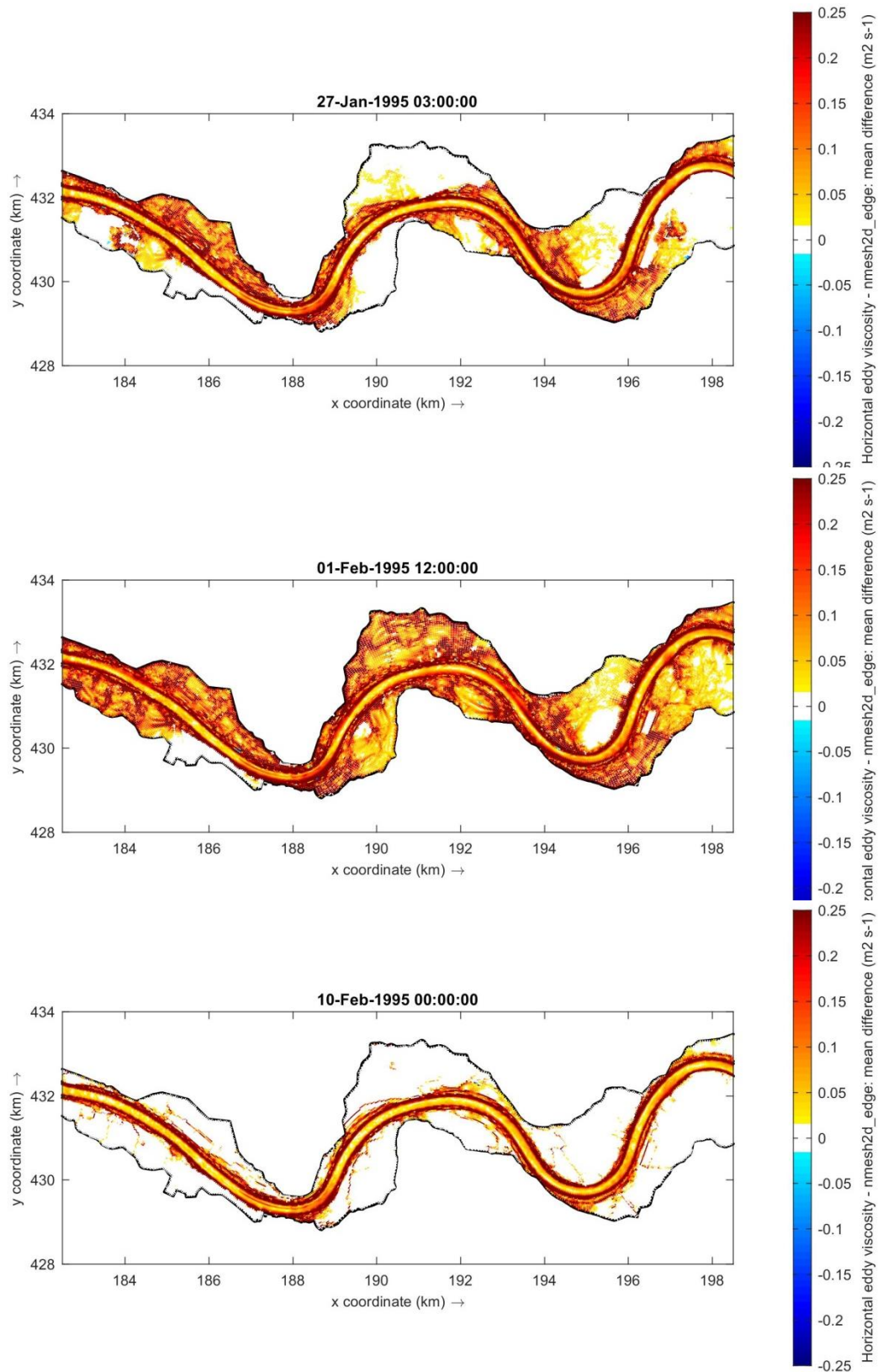
Figuur H.8 Horizontal eddy viscosity at three different time steps – case name in legend



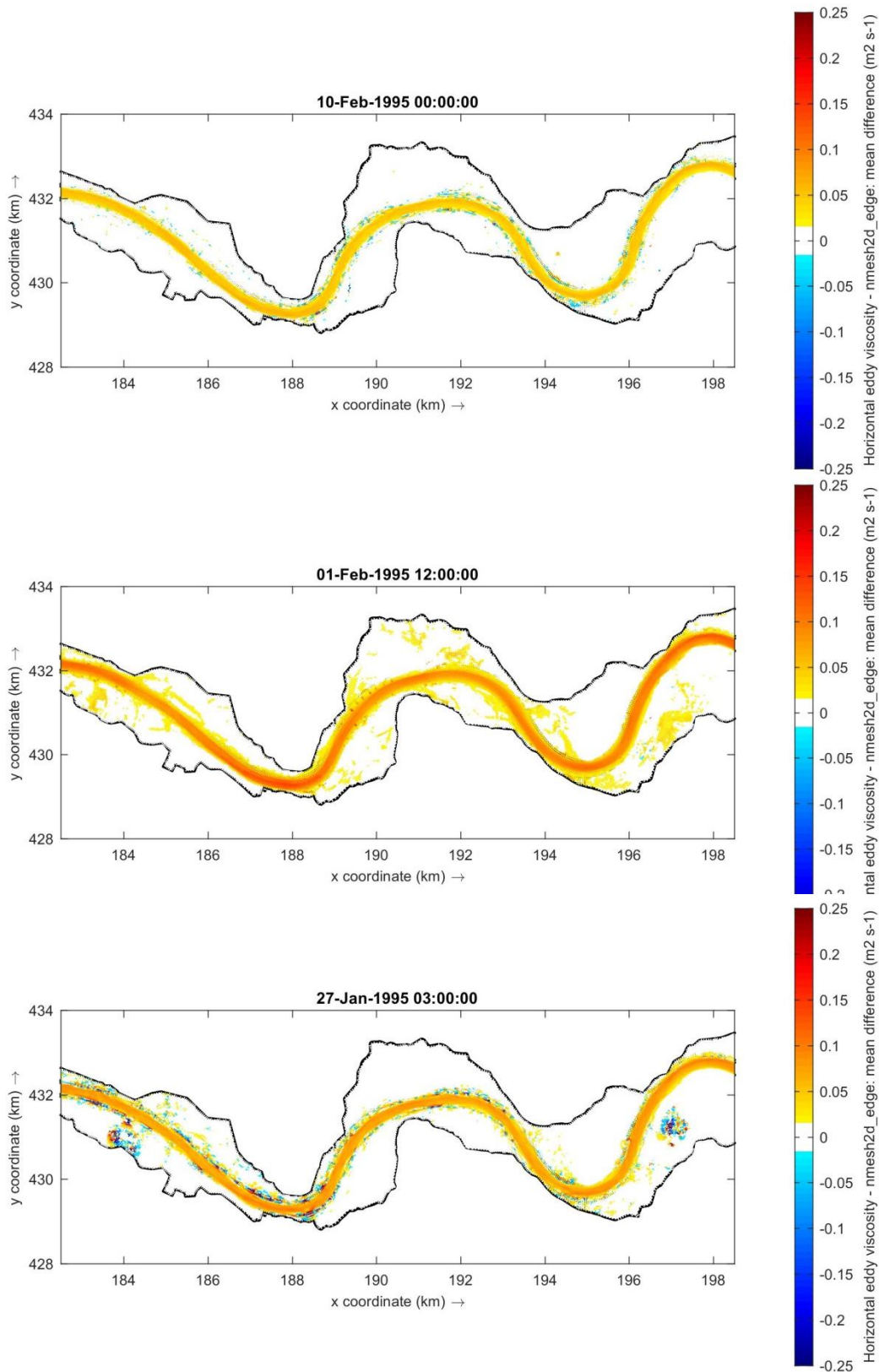
Figuur H.9 Horizontal eddy viscosity at three different time steps – case name in legend



Figuur H.10 Horizontal eddy viscosity at three different time steps – case name in legend

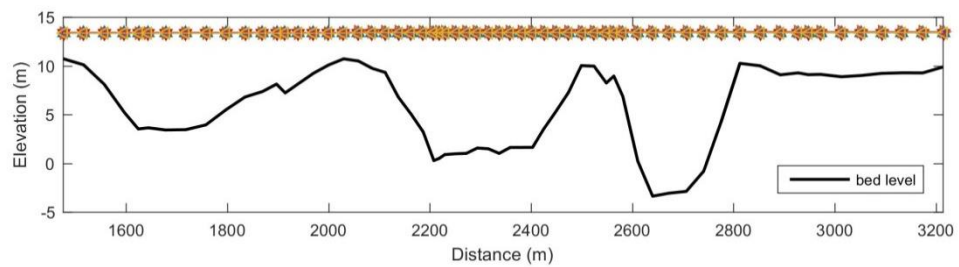
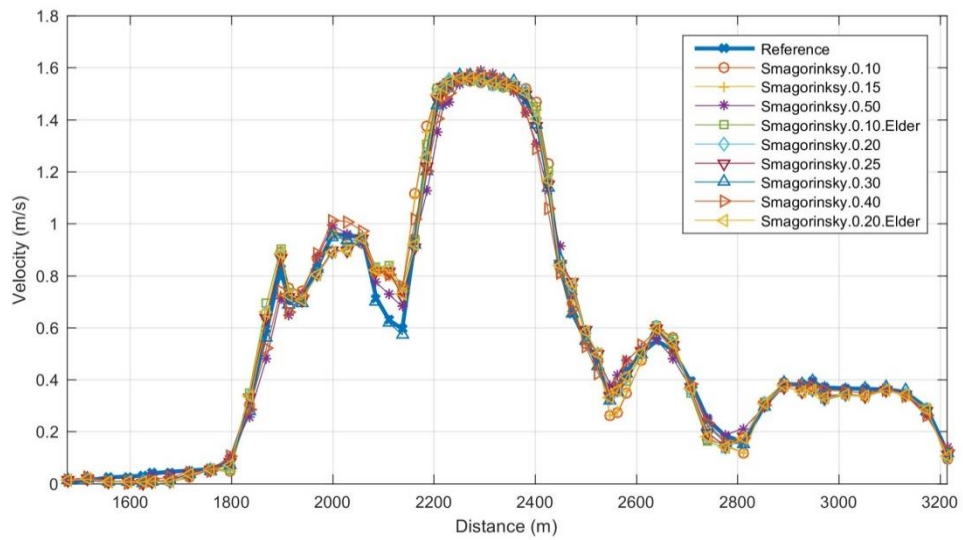
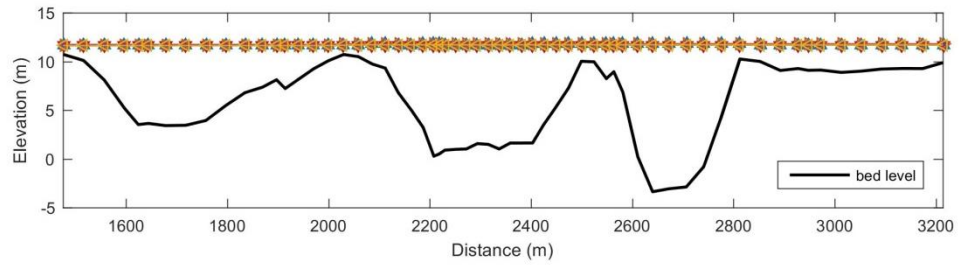
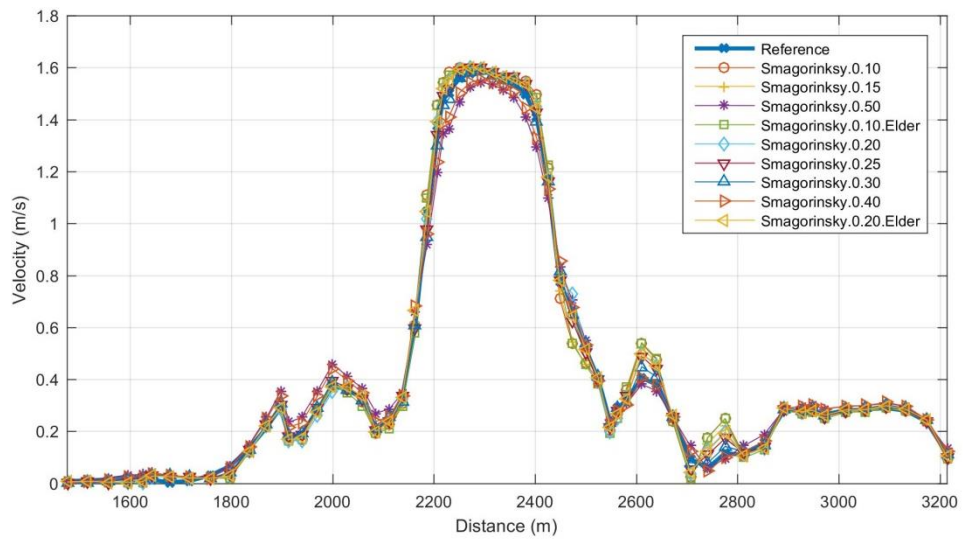


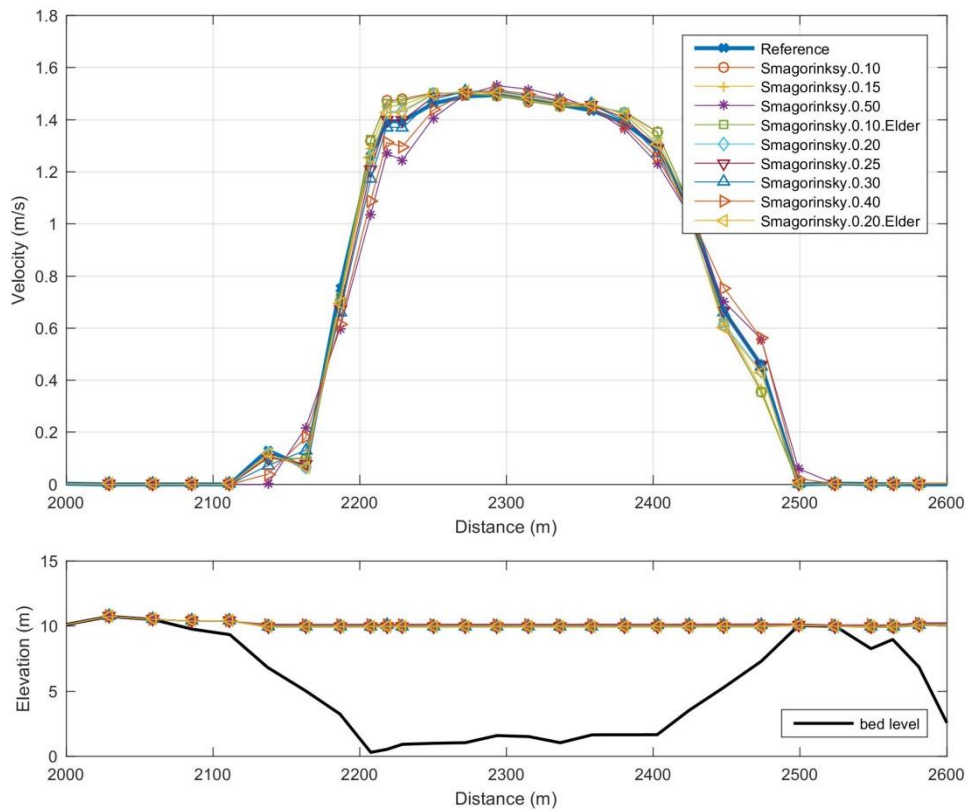
Figuur H.11 Effect on Horizontal eddy viscosity at three different time steps – effect of increasing  $C_s$  ( $v_H, C_s=0.20 - v_H, C_s=0.1$ )



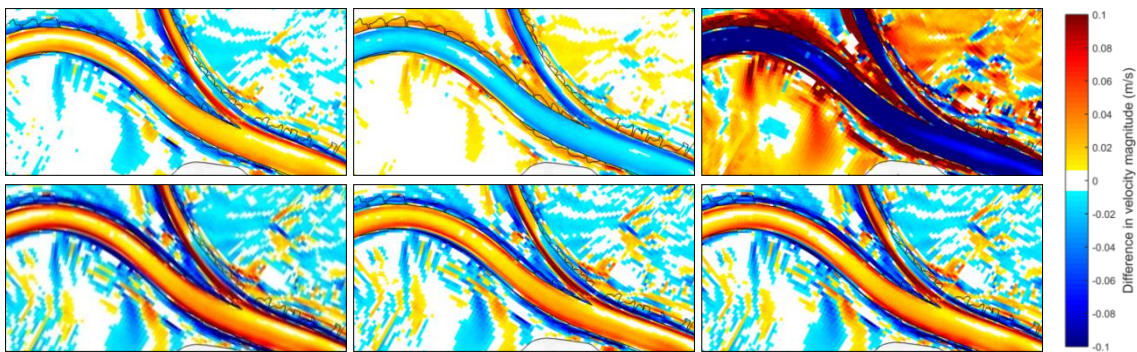
Figuur H.12 Effect on Horizontal eddy viscosity at three different time steps – effect of Elder’s term ( $V_H, C_s=0.20+Elder - V_H, C_s=0.2$ )





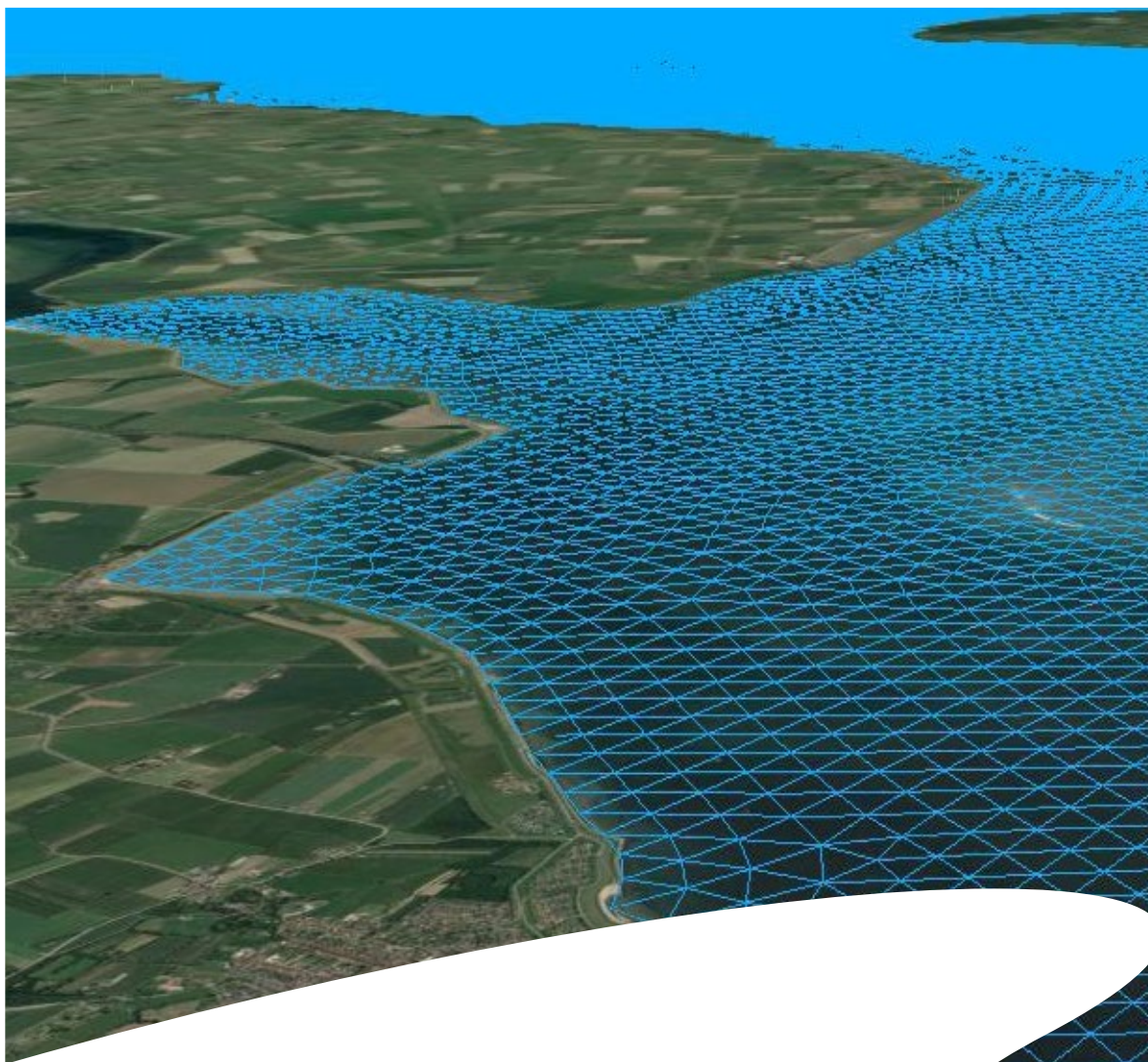
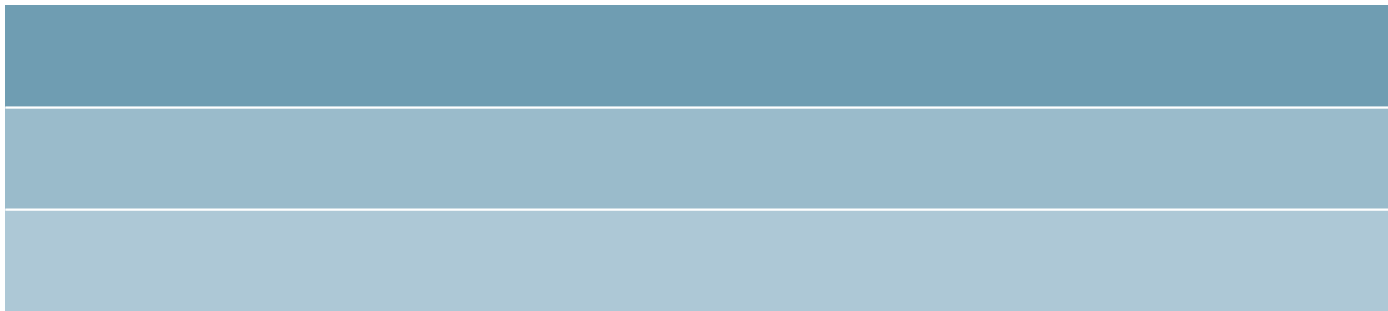


Figuur H.13 Transverse cross-section velocity, coordinate: [184000, 429000; 187000, 434000];



Figuur H.14 Effect of Horizontal eddy viscosity on depth-averaged flow velocity (m/s)  
 top: Vicouv = 0.5, 1.5 & 5.0; bottom: Smagorinsky=0.10, Smagorinsky=0.15 & Smagorinsky=0.10 with Elder-term (source: 2016 report).

## **I Bijlage: Naamgeving conventies modellen RWS**



**Deltares**