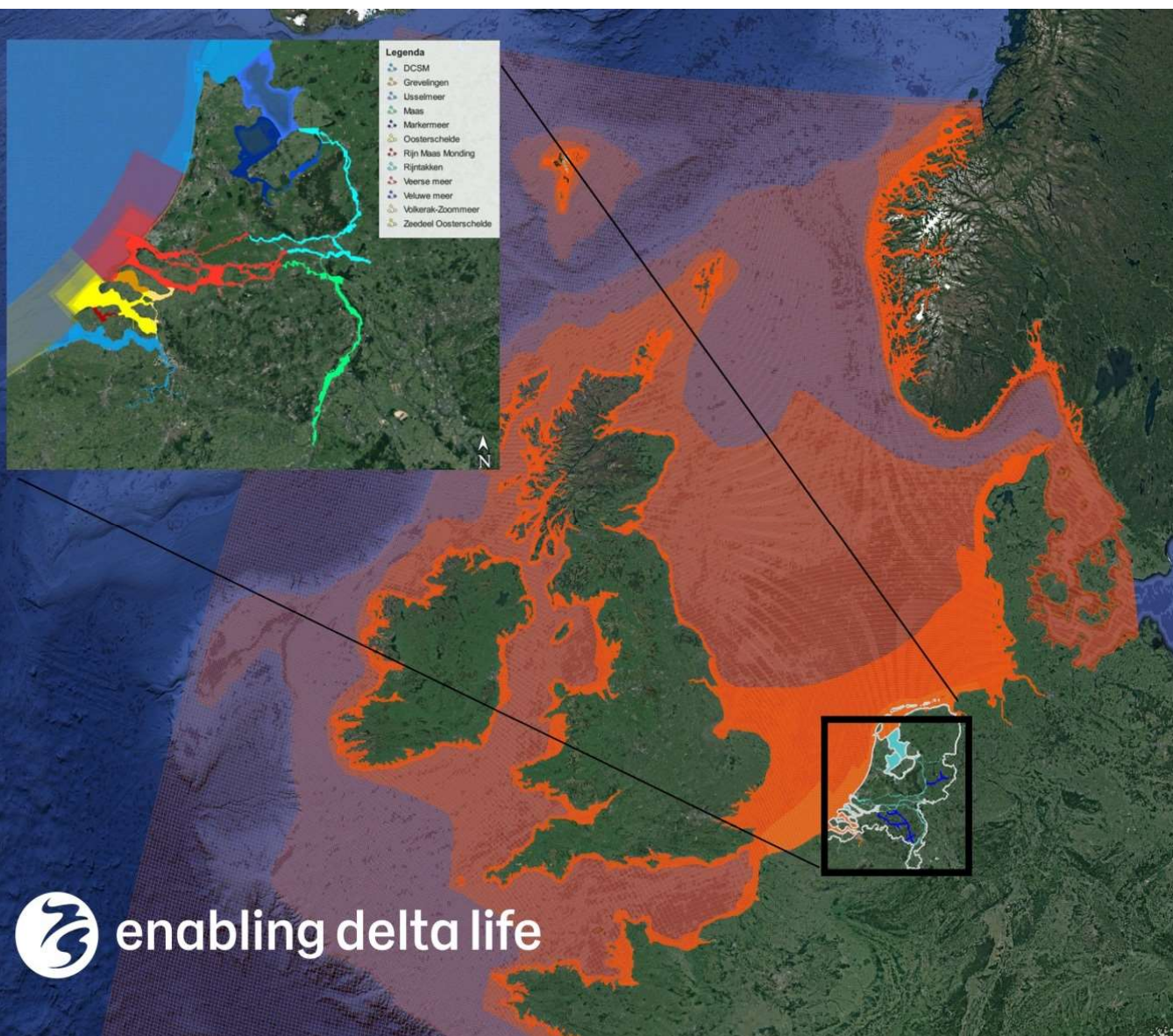


Specificaties zesde-generatie modellen met D-HYDRO

Generieke technische en functionele specificaties (v1-2022)



Specificaties zesde-generatie modellen met D-HYDRO
Generieke technische en functionele specificaties (v1-2022)

Auteur(s)

Tony Minns

Aukje Spruyt

David Kerkhoven

Partners

Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, LELYSTAD

Specificaties zesde-generatie modellen met D-HYDRO

Generieke technische en functionele specificaties (v1-2022)

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Martin Scholten
Referenties	
Trefwoorden	D-HYDRO Suite, D-Flow Flexible Mesh, zesde generatie, modelschematisaties, functioneel ontwerp, generieke specificaties

Documentgegevens

Versie	v1.0 - 2022
Datum	10-03-2022
Projectnummer	11208053-012
Document ID	11208053-012-ZWS-0002
Pagina's	104
Status	voorlopig Dit document is een voorlopig rapport en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
v1.0 – 2022	Tony Minns, Aukje Spruyt, David Kerkhoven	Erik de Goede		

Samenvatting

Dit document beschrijft landelijk afgestemde generieke technische en functionele specificaties voor alle nieuwe zesde-generatie modelschematisaties voor Rijkswaterstaat (RWS) voor de waterbeweging, golven, morfologie en waterkwaliteit op basis van het nieuwe simulatiesoftwarepakket D-HYDRO Suite. De kern van de D-HYDRO Suite is de D-Flow Flexible Mesh module (D-Flow FM) waarmee eendimensionale (1D), tweedimensionale (2D) en driedimensionale (3D) hydrodynamische simulaties gemaakt kunnen worden op ongestructureerde roosters. Onderliggende specificaties dienen te worden gebruikt als leidraad bij het opzetten en afregelen van zesde generatie (D-HYDRO) modelschematisaties voor RWS toepassingen.

Tijdens het opzetten en testen van de zesde-generatie modelschematisaties in de periode 2017-2021 zijn de technische en functionele specificaties steeds verder aangescherpt en gedetailleerd. Zo is een aantal generieke D-HYDRO vraagstukken, waaronder roosteropbouw, bodemschematisatie en viscositeit-instellingen, nader onderzocht en zijn de daaruit voortkomende bevindingen verwerkt in de specificaties. Parallel daaraan is door RWS een Programma van Eisen (PvE) voor de 2D en 3D zesde-generatie watermodellen opgesteld en ook deze is verwerkt in voorliggende generieke technische en functionele specificaties voor de ontwikkeling van de zesde-generatie modelschematisaties.

Dit document is bedoeld om de gebruiker van de zesde-generatie modelschematisaties voor RWS te voorzien van een onderbouwing van de keuzes voor specifieke model/parameter settings voor de RWS toepassingen. Er mag in principe niet afgeweken worden van deze model en/of parameter settings voor RWS toepassingen. Als er toch wordt afgeweken van een defaultwaarde, dan dient dit goed onderbouwd te worden.

Inhoud

	Samenvatting	4
	Lijst met Acroniemen	9
1	Inleiding	10
1.1	Achtergrond	10
1.2	Doelstelling	10
1.3	Werkwijze	11
1.4	D-HYDRO Suite software status	11
1.5	D-HYDRO User Manuals	12
1.6	Leeswijzer	12
1.6.1	Update van dit document in 2021	13
1.7	Terminologie	13
2	Conceptueel raamwerk	14
2.1	Inleiding	14
2.2	Van de vijfde- naar zesde-generatie modelschematisaties	14
2.3	Watersystemen	14
2.4	Toepassingen	16
2.5	Specifieke eisen aan het conceptueel ontwerp	17
2.5.1	Landelijk model	17
2.5.2	Overlapgebieden	19
2.5.3	Proces roosteraanpassing en -verfijning	19
2.5.4	Koppelen van modellen	20
2.5.5	Aansluiting roosters IJssel-Vecht Delta en Rijntakken	21
2.5.6	Aansluiting roosters deelmodellen met het Noordzee model	21
2.5.7	Knippen van modellen	24
2.6	Wettelijke en bestuurlijke kaders	24
3	Koppeling met andere modellen	26
3.1	Introductie	26
3.2	Golven	26
3.2.1	SWAN en D-Waves	26
3.2.2	Koppeling golven met G6 modelschematisaties	27
3.2.3	Bretschneider	29
3.2.4	Samenvatting voorwaarden voor de koppeling met golven	29
3.3	Morfologie	30
3.4	Waterkwaliteit	30
3.4.1	Online / offline koppeling	30
3.4.2	Transport	31
3.4.3	Verticale menging	31
3.4.4	Verticale resolutie	31
3.4.5	Droogval	31
3.4.6	Randen, rivieren en eventuele andere lozings-debieten	32
3.4.7	Tijd-resolutie	32
3.4.8	Ruimtelijke resolutie	32
3.4.9	Waterbalans	32
3.5	Meteorologie	32

3.6	Globale modellen	33
3.7	Data-assimilatie	33
3.8	Baseline 6	33
3.9	Regionale modellen	34
3.10	Buitenlandse modellen	34
4	Technische specificaties	36
4.1	Algemeen	36
4.1.1	Good Modelling Practice	36
4.2	Roostergeneratie	37
4.2.1	Algemene opzet van het rooster	38
4.2.2	Afhandeling van gesloten randen	39
4.3	Numerieke aspecten	40
4.3.1	Tijdstap	40
4.3.2	Tijdzone	40
4.3.3	Projectie van de bodem	41
4.3.4	Horizontale viscositeit	42
4.3.5	Implicietheid van de tijdsintegratie	43
4.3.6	Wandruwheid	43
4.4	Kunstwerken en overlaten	44
4.4.1	Kunstwerken	44
4.4.2	Sturing kunstwerken	46
4.4.3	Overlaten	47
4.4.4	Bruggen	47
4.4.5	Primaire keringen en hoge gronden	47
4.5	Modelschematisaties voor Meren	49
4.5.1	Inleiding	49
4.5.2	Wijze van modelleren van neerslag en verdamping	49
4.5.3	Waterbalans en sluitfout	50
4.6	3D-modellering	51
4.6.1	Laagverdeling	51
4.6.2	Invoerparameters voor 3D-modellering	51
4.6.3	Mogelijke oscillaties in 3D-modelresultaten	52
4.7	Overige aspecten	53
4.7.1	Stabiliteit en nauwkeurigheid	53
4.7.2	Initiële condities	53
4.7.3	Gebruiksvriendelijkheid en presentatie	55
5	Kalibratie en validatie	57
5.1	Algemeen	57
5.1.1	Kalibratie	57
5.1.2	Validatie	57
5.1.3	Richtlijnen voor kalibratie en validatie	57
5.2	Nauwkeurigheid	59
5.3	Onzekerheidsanalyse	60
5.3.1	Achtergrond	60
5.3.2	Een praktische definitie van modelonzekerheid	60
5.3.3	De onzekerheidsmatrix	60
5.3.4	Het toetsen van de voorspelonzekerheid	61
5.3.5	Een standaard modelbijlage voor riviermodellen	61
6	Beheer schematisaties en data	64
6.1	Algemeen	64
6.2	Naamgeving	64

6.3	Mappenstructuur	64
6.3.1	Hoofdstuctuur	65
6.4	Standaardrandvoorwaarden	65
6.5	Datamanagement	66
6.5.1	Informatiehuis Water	66
6.5.2	Informatiehuis Marien	66
6.5.3	INSPIRE	66
6.5.4	Deltares Kennisfaciliteit Datamanagement	66
6.5.5	Helpdesk Water	66
6.6	Opslag van RWS Watermodellen en Gebiedsschematisaties in Subversion bij Deltares	67
7	Referenties	68
A	Programma van eisen zesde generatie Watermodellen 2D en 3D	70
A.1	Eisen voor het gehele modelsysteem	70
A.1.1	Algemene eisen	70
A.1.2	Gebiedsdekking	70
A.1.3	Rekenrooster	71
A.1.4	Kunstwerken	71
A.1.5	Kalibratie, validatie en verificatie (en modelonzekerheid)	71
A.1.6	Goodness-of-Fit criteria	72
A.1.7	Geschiktheid voor koppeling met andere modellen	72
A.1.8	Rapportage en presentatie	72
A.2	Gebiedsindeling en eisen per gebied	73
A.2.1	Maas	73
A.2.2	Noordzee	74
A.2.3	Markermeer en Veluwerandmeren	75
A.2.4	IJsselmeer	75
A.2.5	Oosterschelde	76
A.2.6	Haringvliet	77
A.2.7	Noordzeekanaal & Amsterdam-Rijnkanaal	77
A.2.8	Grevelingenmeer	78
B	Wettelijke en bestuurlijke kaders	79
B.1	Waterwet	79
B.2	Omgevingswet	79
B.3	Nieuwe normering	79
B.4	Kader Toepassing Netwerkmodellen Water en Scheepvaart	79
B.5	Beleidslijn Grote Rivieren	80
B.6	Rivierkundig Beoordelingskader (RBK)	80
B.7	Leggers	81
B.7.1	Legger rijkswaterstaatswerken	81
B.7.2	Vegetatielegger	81
B.8	Ontgrondingenwet	81
B.9	Natuurwet	81
B.10	Overige protocollen en besluiten	81
B.11	Verdragen met het buitenland	82
B.12	Europese kaders	82
C	Basisinstellingen voor numerieke en fysische modelparameters	83
C.1	D-HYDRO User Manuals en Technical Reference Manuals	83
C.2	Algemene aanpak voor keuze van parameters in zesde-generatie model	83
C.3	Afwijkingen van de basisinstellingen voor numerieke parameters	84
C.4	Afwijkingen van de basisinstellingen voor fysische parameters	85

C.5	Parameters voor 3D-modelschematisaties	86
D	Kwaliteitsborging van modelleringsaanpak	87
D.1	Good Modelling Practice	87
D.2	Definities modelbeoordeling	90
D.2.1	Kalibratie, validatie en verificatie	90
D.2.2	Goodness-of-fit criteria	91
D.2.3	Middelingsduur variabelen	92
D.2.4	Nauwkeurigheidscriterium	92
E	Kwaliteitscriteria voor roostergeneratie	93
E.1	Driehoekige versus vierhoekige roosters	93
E.2	Voorkeuren per toepassingsgebied	94
E.2.1	Getijtoepassingen	94
E.2.2	Rivier toepassingen	94
E.2.3	Zwak-dynamische systemen met stroomsnelheden van geringe omvang (meren) :	94
E.3	Richtlijnen voor roostergeneratie	94
E.3.1	Orthogonaliteit	95
E.3.2	Gladheid	95
E.3.3	Aspect ratio	96
E.3.4	Aspect ratio bij roosterverfijning	96
F	Bodemprojectie	97
G	Naamgevingconventies watermodellen Rijkswaterstaat	100
G.1	Inleiding	100
G.2	Quick Reference	100
H	Opzet Structuur G6 Repository	102
H.1	Uitgangspunten	102
H.2	Naam en structuur repository	102

Lijst met Acroniemen

Acroniem	Beschrijving
Baseline	Module binnen ArcGIS om data te beheren die in de modelschematisaties van RWS te gebruiken, bijvoorbeeld bodem, overlaten, vegetatie/ecotopen, kunstwerken, etc....
BenO modelschematisaties	Beheer en onderhoud modelschematisaties voor beleidsmatige studies
D-HYDRO Suite	Nederlandse benaming voor Delft3D FM Suite voor gebruik in Nederland.
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-Flow Flexible Mesh	Module voor waterbeweging
D-Flow FM	Afkorting van D-Flow Flexible Mesh
D-Morphology	Module voor morfologie
D-Rainfall Runoff	Module voor de neerslag-afvoermmodellering
D-Water Quality	Module voor waterkwaliteit
D-Particle Tracking	Module en/of plug-in voor deeltjes modellering
D-Waves	Module voor golven
D-Real Time Control	Module voor het aansturen van kunstwerken
D-RTC	Afkorting van D-Real Time Control
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.
Delta Shell GUI	Grafische User Interface opgezet in het Delta Shell framework
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
SGWM	SommenGenerator WaterModellen: Een omgeving bij RWS in het kader van Nationaal WaterModel (NWM) om geautomatiseerd grote hoeveelheden sommen te kunnen draaien.
SIMONA	Geïntegreerd rekenkern/modelsysteem voor 2D (WAQUA) en 3D (TRIWAQ) modellering in open water van Rijkswaterstaat. Afkorting van Simulatie MOdellen NAtte waterstaat. Ingezet voor de vijfde generatie modelschematisaties en eerder.
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.
TRIWAQ	3D modelsysteem dat onderdeel is van SIMONA
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 simulatiesoftwarepakket D-HYDRO Suite. De kern van de D-HYDRO Suite is de D-Flow Flexible Mesh module (D-Flow FM) waarmee eendimensionale (1D), tweedimensionale (2D) en driedimensionale (3D) hydrodynamische simulaties gemaakt kunnen worden op ongestructureerde roosters (Kernkamp et al., 2005, Kernkamp et al., 2011). D-HYDRO is het modelleringsplatform van de toekomst voor hydrodynamica, morfodynamica, waterkwaliteit en golven. 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 het SOBEK 3 softwarepakket, 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 2021/2022 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 met D-HYDRO Suite 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, zoals deze zich bij de overgang van de vijfde naar de zesde generatie voordoet, de gelegenheid om weer eens kritisch naar huidige en beoogde functionele eisen en in gebruik zijnde 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, generieke technische en functionele specificaties op te laten stellen voor zowel 2D als 3D toepassingen.

In het verlengde hiervan heeft RWS aan Deltares gevraagd om generieke en uitgebreide technische en functionele specificaties aan te leveren en deze steeds aan te vullen met opgedane kennis en ervaringen, zodat deze breder en meer algemeen gebruikt kunnen worden bij de ontwikkeling en opzetten van de zesde-generatie modelschematisaties van RWS voor de waterbeweging en waterkwaliteit. Deze specificaties zijn bedoeld om de ontwikkeling (opzet, kalibratie en gebruik) van alle D-HYDRO Suite modelschematisaties voor RWS in goede banen te leiden. Dit document is een levend document dat regelmatig, minimaal één keer per jaar, geactualiseerd wordt aan de hand van nieuwe kennis en ervaringen met het opzetten van de zesde-generatie modelschematisaties voor RWS.

1.2 Doelstelling

Het doel is om 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, golven, morfologie en waterkwaliteit/ecologie. Hierbij dient wel, zoveel als mogelijk, rekening te worden gehouden met de compatibiliteit tussen de modellen voor de verschillende processen. Bij de 2D modellering wordt zoveel als mogelijk gekeken naar de toepasbaarheid bij 3D vraagstukken, door te kijken naar de gevolgen van opzet- en

ontwerpkeuzes voor langere 3D-berekeningen. Uiteraard zijn de verkregen kennis en inzichten ook toepasbaar voor niet-RWS projecten.

1.3 Werkwijze

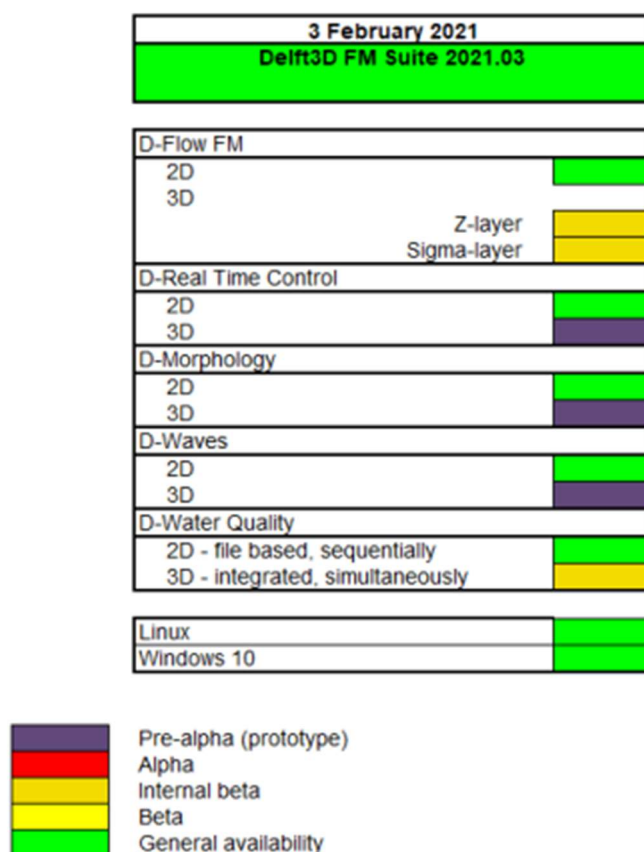
Tijdens het opzetten en testen van de eerste zesde-generatie modelschematisaties zijn de technische en functionele specificaties steeds aangescherpt. Zo zijn een aantal generieke D-HYDRO vraagstukken, zoals onder andere roosteropbouw, bodemschematisatie en viscositeit-instellingen, nader door Deltares onderzocht en zijn de bevindingen verwerkt in de specificaties. Parallel daaraan is door RWS een Programma van Eisen (PvE) voor de zesde-generatie watermodellen 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.

Dit document is bedoeld om de gebruiker van de zesde-generatie modelschematisaties voor RWS te voorzien van een onderbouwing van de keuzes voor specifieke model/parameter settings voor de RWS toepassingen. Er mag in principe niet afgeweken worden van deze model en/of parameter settings voor RWS toepassingen.

1.4 D-HYDRO Suite software status

Bij het opstellen van dit document was de algemene release versie van D-HYDRO Suite 2021.03:

Delft3D FM General Availability (GA) release



Tevens is op 28 oktober 2021 de “D-HYDRO Suite 2022.01” uitgebracht. Omdat later geconstateerd is dat deze release een softwarefout bevatte voor kunstwerken, is er een eind 2021

een patch uitgebracht voor de 2022.01 release, met de naam "D-HYDRO release 2022.01_patch_1".

Hoewel D-Flow FM (3D) en D-Water Quality (3D) in 2021 alleen nog als interne bèta release beschikbaar zijn, worden in dit document aanbevelingen en richtlijnen opgenomen die betrekking hebben op 3D toepassingen (o.a. zoutindringing, slibmodellering). Er wordt, waar relevant, rekening mee gehouden met het gebruik van de modelschematisaties voor zowel 2D als 3D toepassingen zodat er geen keuzes worden gemaakt in 2D en/of 3D die andere toepassingen in de weg zouden kunnen staan.

Daarnaast is de huidige 1D-functionaliteit bij Rijkswaterstaat op dit moment opgenomen in de aparte module SOBEK 3, welke niet direct gekoppeld is met D-Flow FM. Het ontwikkelen van D-HYDRO 1D/2D is een apart traject dat hier niet behandeld wordt.

1.5 D-HYDRO User Manuals

Dit huidige document is géén user manual voor D-HYDRO Suite. Voor het opzetten van D-HYDRO modelschematisaties alsmede voor het draaien van modelsimulaties wordt de gebruiker verwezen naar de D-HYDRO (c.q. Delft3D FM) User Manuals en Technical Reference Manuals. De meest recente versies van de meest gebruikte User Manuals en Technical Reference Manuals zijn te vinden op:

<https://www.deltares.nl/en/software/delft3d-flexible-mesh-suite/>

onder de knop "Download".

Voor een meer compleet overzicht van alle beschikbare User Manuals en Technical Reference Manuals ga naar:

<https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/>

Deze documenten worden vrijwel dagelijks geüpdatet met de nieuwste releases van het D-HYDRO software. Waar in dit document verwezen wordt naar de D-HYDRO User Manual of Technical Reference Manual wordt alleen de naam van de desbetreffende Manual genoemd zonder jaargetal. De gebruiker wordt geacht de nieuwste versie van de relevante Manuals in bezit te hebben.

1.6 Leeswijzer

Dit rapport bestaat uit een aantal hoofdstukken waarin de uitgangspunten en de belangrijkste eisen aan de functionele specificaties beschreven worden. Deze hoofdstukken beschrijven de aspecten waar gebruikers en ontwikkelaars rekening mee moeten houden voor het opzetten en gebruiken van de zesde-generatie modelschematisaties.

Waar relevant wordt vanuit de hoofdstukken verwezen naar de bijlagen voor meer informatie en onderbouwing over de richtlijnen en specificaties. In deze bijlagen staan meer details vaak afkomstig van nader aangrenzend onderzoek en uitzoekwerk.

1.6.1 Update van dit document in 2021

Ten opzichte van eerdere versies van de generieke technische en functionele specificaties bevat dit document de volgende aanvullingen:

1. Kunstwerken: definitie van breedte van structures
2. Waterbalans methodiek voor meren
3. Opzet structuur G6 repository
4. Modelonzekerheden

Daarnaast zijn tal van tekstuele verbeteringen doorgevoerd

1.7 Terminologie

In dit rapport worden de volgende definities gebruikt:

Nederlandse term	Beschrijving	Voorbeeld
gebiedsschematisatie	Een beschrijving van een specifiek gebied of water-/grondwatersysteem, voor een specifieke periode – meestal de geografische beschrijving van het gebied	baseline-rijn-j15_5-v1 (software: Baseline, watersysteem: Rijn, periode: 2015)
modelschematisatie	Een rekenkundig model van een specifiek gebied of water-/grondwatersysteem gebouwd voor specifieke modelsoftware, voor een specifiek systeem en een specifieke periode. Hiertoe wordt een projectie gemaakt van de gebiedsschematisatie op een rooster	waqua-rijn-j15_5-v1 (software: WAQUA, watersysteem: Rijn, periode: 2015)
modelsoftware	Een softwarepakket waarmee modelschematisaties kunnen worden doorgerekend aan de hand van een numerieke implementatie van fysische processen in deze software	D-Flow FM, WAQUA, SWAN
modelsoftwaresuite	Een samenhangend geheel van modelsoftware modules, die hetzij standalone, hetzij gekoppeld kunnen worden gebruikt	D-HYDRO, SIMONA

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

2 Conceptueel raamwerk

2.1 Inleiding

Het opzetten van nieuwe, zesde-generatie modelschematisaties start vanuit de gedachte dat er door/voor Rijkswaterstaat één landelijk-dekkend model voor heel Nederland wordt gemaakt. Alle modelschematisaties, die onderdeel uitmaken van het landelijke model, moeten naadloos op elkaar aansluiten. Dit hoeft alleen niet per se te resulteren in één (draaiend) landelijk D-HYDRO model.

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 diverse 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 het begin af aan opzetten van de zesde-generatie modellen.

2.2 Van de vijfde- naar zesde-generatie modelschematisaties

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, die vaak gelijk zullen zijn aan de watersystemen van de vijfde generatie. 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.

2.3 Watersystemen

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

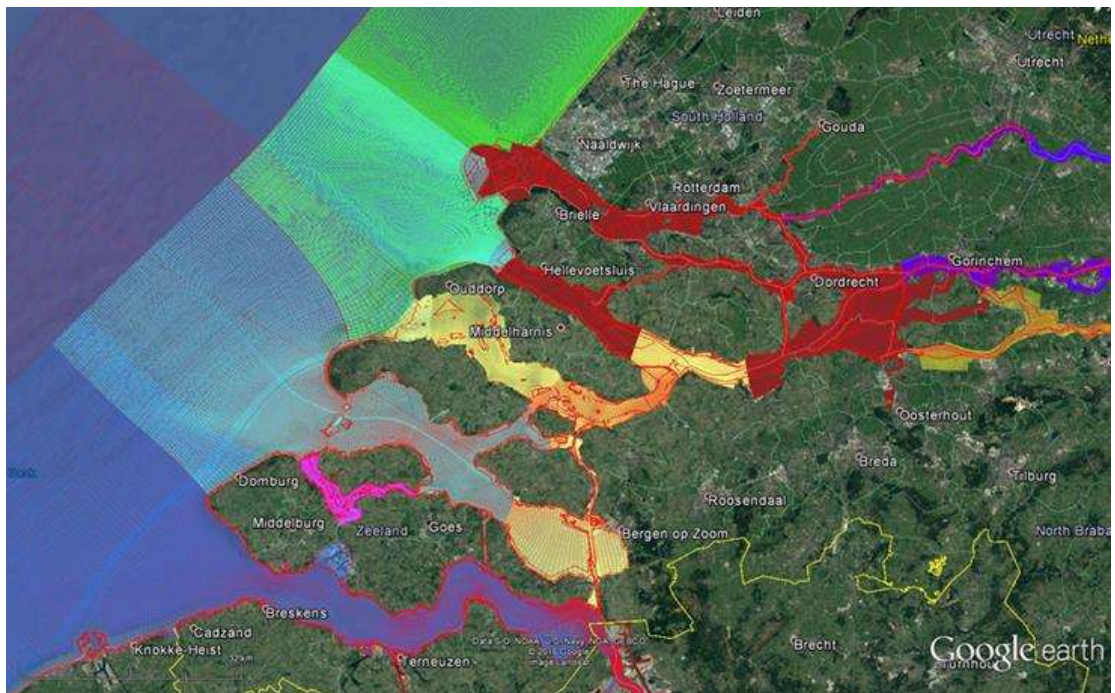
Binnen het RWS-beheergebied (vastgelegd in de Waterwet¹) is een aantal watersystemen geïdentificeerd. Rijkswaterstaat is volgens de Waterwet slechts bevoegd voor zover het rijk die bevoegdheden uitdrukkelijk in het Waterbesluit of waterregeling toegedeeld heeft gekregen

¹ www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/waterwet/kaarten/kaart-waterregeling/

De belangrijkste watersystemen voor RWS in de vijfde-generatie modelschematisaties waren:

- 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).



Figuur 2-1 Voorbeeld van vijfde-generatie schematisaties in Zuidwest Nederland met veel overlap

Deze huidige indeling van modelgrenzen is mede ingegeven doordat regionale diensten bij RWS 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 te worden geplaatst dat er een naadloze koppeling tussen de modelschematisaties mogelijk is. Dit kan leiden tot een ander aantal modelschematisaties voor de zesde generatie.

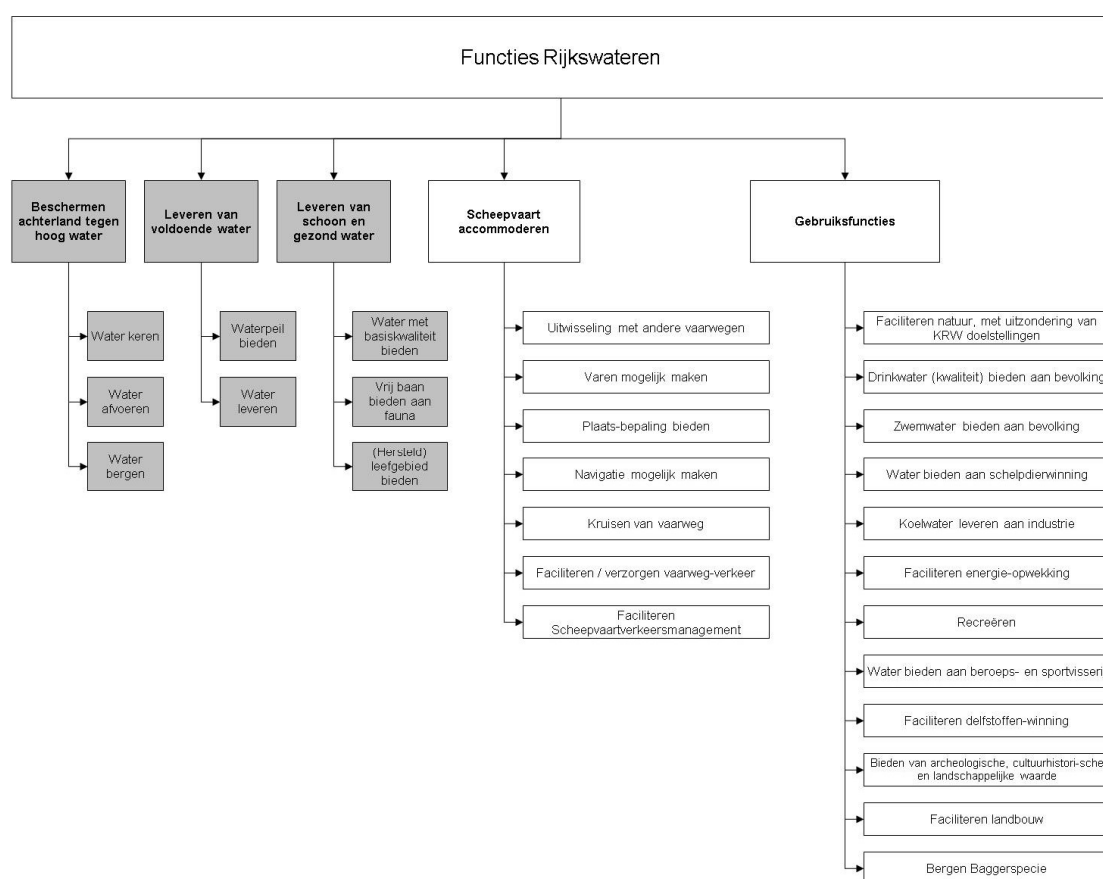
2.4 Toepassingen

De modellen worden binnen RWS 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).

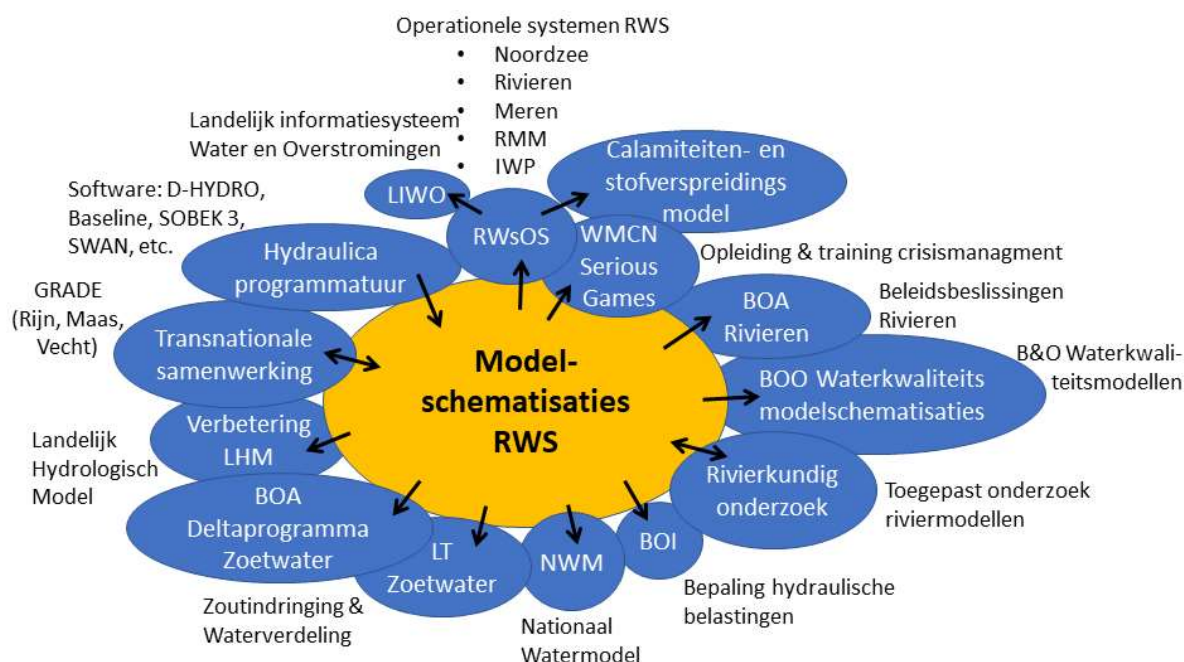
Op deze manier staan de toepassingen voor RWS centraal en worden de modellen hiervoor gebouwd, in plaats van dat er eerst een model wordt gemaakt en dat iedere toepassing hiervan gebruik moet maken (ongeacht of het daarvoor geschikt is of niet).



Figuur 2-2 Functieboom Rijkswateren (Bron: Basisspecificatie Rijkswateren versie 5.2)

Het KPP-programma (KPP=Kennis Primaire Processen) Hydraulica Schematisaties beheert, onderhoud en ontwikkelt de model- en gebiedsschematisaties van RWS en is tevens “het centrale

loket" voor de opslag en uitlevering van deze schematisaties. De modelschematisaties die binnen KPP Hydraulica Schematisaties worden opgezet en beheerd, staan niet op zichzelf maar hebben een relatie met en worden toegeleverd aan allerlei andere KPP projecten (zie Figuur 2.3) die Deltares in opdracht van RWS-WVL uitvoert in het kader van de Samenwerkingsovereenkomst tussen de Stichting Deltares en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Daarnaast hebben deze modelschematisaties ook een directe relatie met de toepassingen binnen RWS, waaronder operationele berichtgeving en vergunningverlening.



Figuur 2-3 Interactie van KPP Hydraulica Schematisaties met andere KPP projecten

Tijdens de opzet van de zesde-generatie modellen wordt met deze KPP-projecten en de regionale diensten van RWS overlegd over de functionele eisen aan de modelschematisaties. Ook dient er binnen deze KPP-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 binnen die projecten tijdig op benodigde aanpassingen kan worden geanticipeerd.

2.5 Specifieke eisen aan het conceptueel ontwerp

2.5.1 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 Baseline-NL land (lichtblauw) 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 nieuw landelijk SOBEK-model (LSM3), waarin alle beschikbare SOBEK 3-schematisaties van RWS aan elkaar zijn gekoppeld, samen met benodigde regionale systemen vanuit de waterschappen (Wesselius & Fujisaki, 2020; Prinsen, 2021). 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.

De onderliggende geografische data wordt door RWS beheerd met Baseline – dit is een module binnen ArcGIS voor beheer van geografische data ten behoeve van modelschematisaties. In de vijfde generatie werd gebruik gemaakt van Baseline 5 – voor de zesde generatie wordt gebruik gemaakt van Baseline 6. Er is in 2021 een eerste officiële versie gemaakt van een landelijke database, Baseline-NL, waarin alle beschikbare Baseline 6-schematisaties zijn samengevoegd tot één gebiedsschematisatie, zie Figuur 2.4. Meer details over de gebruikte Baseline schematisaties per gebied kan worden gevonden in de relevante Factsheet van de desbetreffende modelschematisatie. Om met deelgebieden te kunnen werken, wordt gebruik gemaakt van clip-polygonen voor de verschillende watersystemen.

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.

2.5.2 Overlapgebieden

De huidige vijfde-generatie modelschematisaties overlappen elkaar in de zogeheten overlapgebieden. Deze overlapgebieden zijn tussen de modelschematisaties zoveel mogelijk gelijk getrokken. Er zijn echter een aantal zwakke punten geconstateerd 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 afvoerafhankelijke 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) vanuit het IJsselmeer en Ketelmeer een belangrijke rol gaat spelen.

In de zesde-generatie modellen zullen de modellen elkaar (gedeeltelijk) 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 vanaf 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.

Tabel 2-1 Voorbeeld aanpak voor overlapgebieden

Stap	Actie
1	Opzetten en afregelen modellen Rijntakken, en Rijn-Maasmonding
2	Opzetten en afregelen modellen IJsselmeer, IJssel-Vechtdelta en Rijntakken
3	Overlapgebieden opnieuw afregelen met gekoppelde modellen

2.5.3 Proces roosteraanpassing en -verfijning

Vanuit RWS is er vanuit het oogpunt van beheer en onderhoud de wens om te komen tot een beheersbaar en consistent pakket van modelschematisaties. Vanwege de flexibiliteit die D-HYDRO Suite biedt, wordt het nu echter wel veel makkelijker om rooster-uitbreidingen te realiseren. Zomaar willekeurige roosteraanpassingen en verfijningen toestaan, draagt echter niet bij aan beheerbaarheid. 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 dan in het tweede geval.

Voor sommige toepassingen zullen gebruikers een lokale verfijning of aanpassing van het rooster moeten gebruiken voor specifieke, lokale vraagstukken. RWS zal deze verfijnde modellen niet zelf opzetten. Er zal 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 wordt informatie opgenomen over de kwaliteitsborging van een uitgevoerde verfijning, en de eisen aan een eventuele herkalibratie van het verfijnde 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. Bij Deltares wordt nu nog gewerkt aan het ontwikkelen van een nieuwe Grid Editor (MeshKernel back-end + Grid Editor plugin/GUI), waarmee geautomatiseerde roosterverfijning mogelijk is. Deze functionaliteit zal dan in toekomstige versies van D-HYDRO beschikbaar komen.

2.5.4 Koppelen van modellen

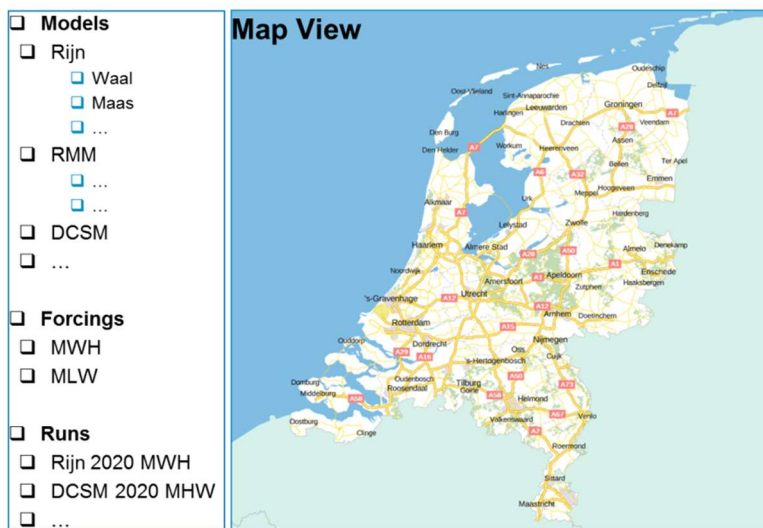
De huidige vijfde-generatie modelschematisaties zijn apart van elkaar opgezet, maar de roosters zijn zodanig gegenereerd dat ze onderling op elkaar aansluiten. Dit is ook de insteek voor de zesde generatie modelschematisaties. Er wordt in principe gedacht vanuit het opzetten van één rooster voor heel 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 hiervan i.r.t. Zoutindringing bij IJmuiden: Je wilt een 3D-model gebruiken rond de sluisen en op het Noordzeekanaal. Daarna kan worden overgaan op een 2D-model.

Het verdient de aanbeveling om eerst de (deel)modellen van de verschillende hoofdwatersystemen goed op te zetten. Hierbij dient 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).



Figuur 2-5 Mogelijk toekomstbeeld van een globaal systeem voor de aansturing van modellen

2.5.5 Aansluiting roosters IJssel-Vecht Delta en Rijntakken

In een aanvullende studie² is gekeken naar het roostertype in het overlapgebied tussen de IJssel-Vechtdelta (merengebied, wind- en afvoergedomineerd) en de IJssel (riviergebied, afvoergedomineerd). De belangrijkste conclusies uit deze studie zijn:

- Uit de vergelijking tussen de modelresultaten met lokaal curvilineaire en driehoekige rekencellen kan worden geconcludeerd dat het effect van het roostertype op de berekende waterstand veel kleiner is dan de mate waarin een rooster wordt uitgelijnd met de lokale geometrie. Dit laatste bepaalt grotendeels het doorstroomoppervlak van de individuele roosterzellen. Omdat de bodemhoogte wordt geprikt op de hoekpunten van het rooster, kan een kleine verschuiving van de hoekpunten met name bij steilere oevers / geulen resulteren in een grote verandering in bodemhoogte.
- Omdat het effect van roostertype op de berekende waterstanden klein is, wordt aangeraden om een roosterontwerp te baseren op:
 - Mogelijkheid tot uitlijning met lokale geometrie. Hierbij moet gelet worden op zowel bodemhoogte (representatie van smalle geulen) als eventuele overlaten.
 - Aanwezigheid van een dominante stroomrichting. Het heeft de voorkeur om in gebieden met een duidelijk dominante stromingsrichting een curvilineair rooster op te zetten. Dit omdat curvilineaire rekencellen met een grotere aspect ratio de rekentijd kunnen verkorten.
 - Gemiddelde stroomsnelheid. Bovenstaand argument is vooral van belang in gebieden waar de stroomsnelheid hoog kan zijn; bij een variabele stromingsrichting in combinatie met lage stroomsnelheden (bijvoorbeeld inundatiegebieden) kan dus alsnog lokaal een rooster met driehoekige rekencellen toegepast worden.
 - Overgangen van drie- naar vierhoeken moeten niet geplaatst worden op plekken met hoge stroomsnelheden.

De aanwezigheid van een dominante stromingsrichting lijkt in deze situatie vooral bepaald te worden door de geometrie. Een gebied, waar invloed van wind als dominant geldt, kan toch een dominante stromingsrichting hebben door de aanwezigheid van geulen of overlaten.

Het wordt aangeraden om het rooster van het overlapgebied “hybride” op te zetten, waarbij curvilineaire rekencellen gebruikt worden op de IJssel, Reevediep, Drontermeer, Vossemeer en de IJsselmonding tot en met het einde van de geulen Keteldiep en Kattendiep. Op het Ketelmeer en Zwarte meer, inclusief Kampeneiland, Kadoelen en Vollenhovenmeer, wordt aangeraden om driehoekige rekencellen te gebruiken. Verder moet de resolutie op het Ketelmeer overeenkomen met de resolutie van het Rijntakken model (ca. 40 x 40m).

2.5.6 Aansluiting roosters deelmodellen met het Noordzee model

Er is een verkenning uitgevoerd m.b.t. de koppeling van D-HYDRO Noordzee rooster met de rest van de D-HYDRO modellen waarin ook de Voordelta's en kustzone zit (o.a. RMM, Oosterschelde, Westerschelde, aansluiting op IJsselmeer).

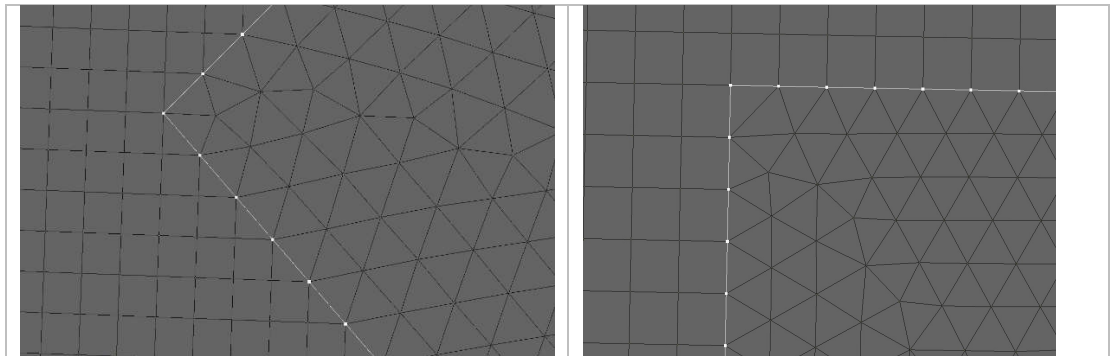
Conclusies uit deze verkenning waren:

- 1 Technisch gezien is het mogelijk om met polygonen de randen te definiëren voor overgangen tussen Noordzee modellen en overige D-HYDRO modellen. Echter de vrijheid om randen willekeurig op te leggen is beperkt.
- 2 Technisch gezien is het mogelijk om een ‘gladde’ lijn in het Noordzeerooster op te nemen, waarmee een koppeling met een deelmodel theoretisch mogelijk is, echter is deze aanpak niet gewenst vanuit het Noordzeemodel vanwege o.a. beperkte flexibiliteit in de toekomst.

² Memo: Aansluiting zesde-generatie modelschematisaties IJVD en Rijntakken, Deltares kenmerk: 11203714-005-ZWS-0011, dd. 19 juni 2019

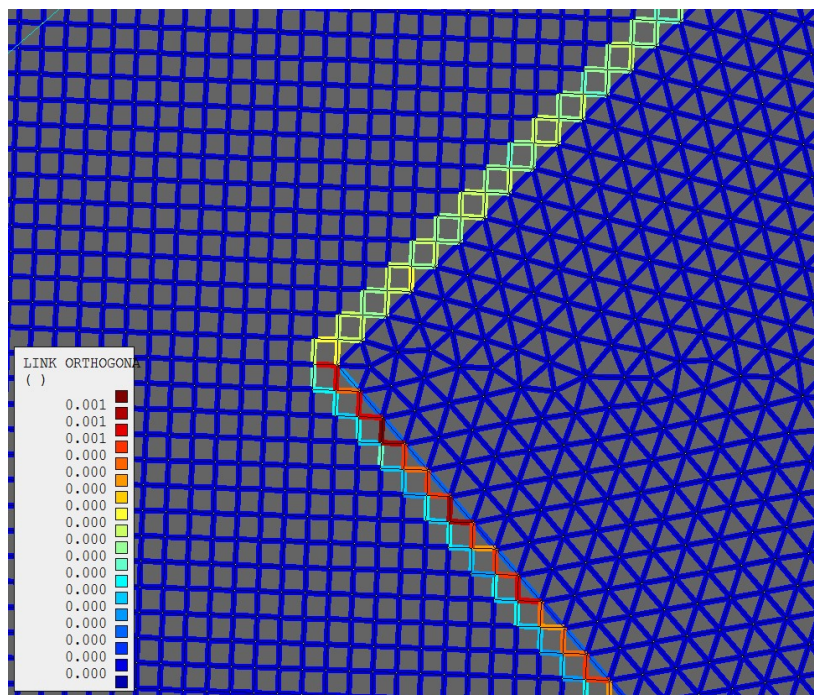
Dit heeft vervolgens geresulteerd in de volgende twee aanbevelingen voor koppeling van deze deelmodellen aan het Noordzeemodel:

- Er wordt in het D-HYDRO Noordzeemodel geen rekening gehouden met koppeling aan deelmodellen:
 - Het D-HYDRO Noordzee model zal naar verwachting nooit gekoppeld worden met detailmodellen die vervolgens samen gedraaid gaan worden.
 - Hierdoor lijkt offline-nesting, waarbij resultaten uit D-HYDRO-Noordzee op randpunten wordt weggeschreven en deze vervolgens geïnterpoleerd op een deelmodel wordt opgelegd, reëler en is uitlijning/overlap niet vereist.
- Door een diagonale, horizontale of verticale lijn uit het Noordzeerooster te volgen kunnen driehoekige deelroosters eenvoudig worden aangesloten op het Noordzeerooster.
 - De polygoon volgt de netwerk-nodes. Doordat de polygoon de diagonale lijn van de nodes volgt, sluiten de driehoeken direct aan op het Noordzeerooster (zie Figuur 2-6)



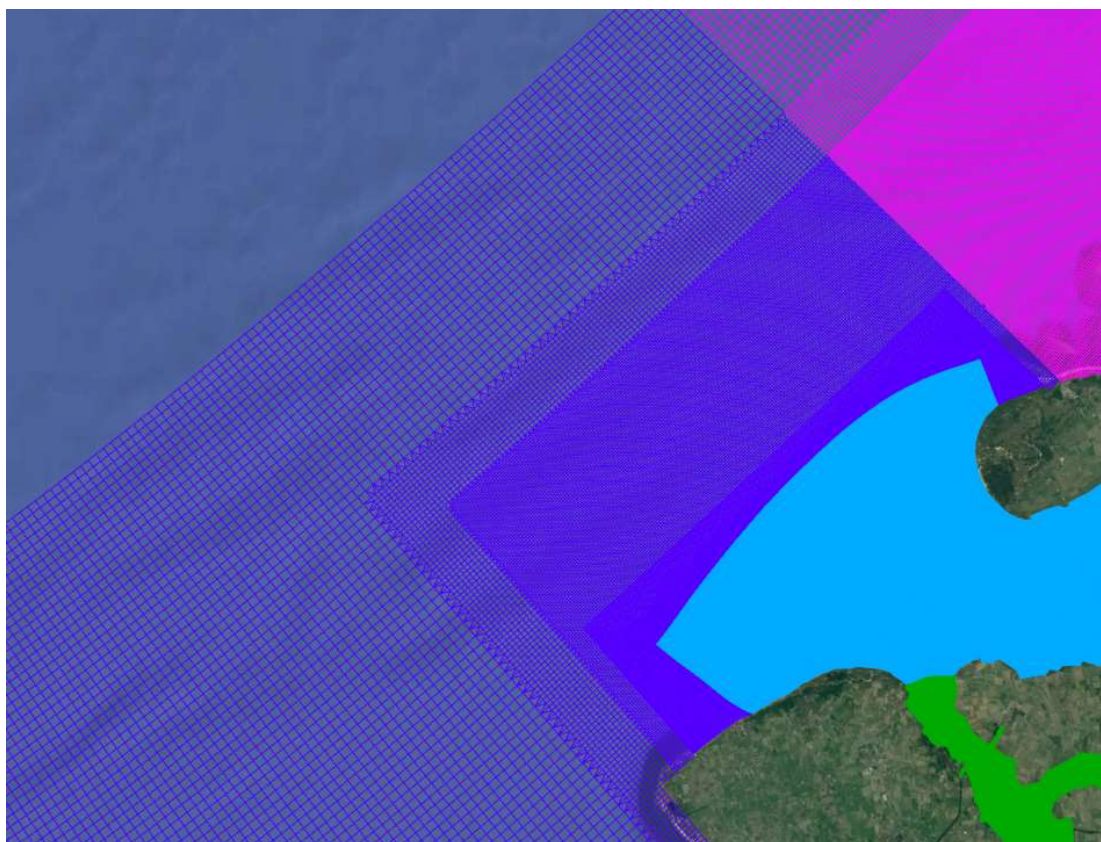
Figuur 2-6 Polygoon volgt de diagonale lijn van het Noordzeerooster (links) of de horizontale en verticale lijnen van het Noordzeerooster (rechts)

- Het is ook mogelijk om niet de schuine zijden uit het Noordzeerooster te volgen, maar juist de horizontaal/verticaal roosterlijnen. De resolutie van de driehoeken is hierdoor kleiner dan wanneer de schuine zijde gebruikt zou worden (zie Figuur 2-6)
- De overgang in resolutie richting de kust zorgt niet voor problemen, en er is ook geen probleem met orthogonaliteit van het rooster: $\text{ortho} \leq 0.001$ (zie Figuur 2-7)



Figuur 2-7 Orthogonaliteit van overgangsgebied tussen Noordzeerooster en deelmodel

- Voor de deelmodellen grenzend aan de kustzone zal er gewerkt worden vanuit een Kuststrook-filosofie, waarmee er overlap/aansluiting ontstaat tussen Westerschelde, Oosterschelde, RMM en IJsselmeer. Figuur 2-8 laat zien hoe het D-HYDRO Oosterschelde model aansluit op de kuststrook en op de aangrenzende deelmodellen.



Figuur 2-8 Rooster van het D-HYDRO Oosterschelde model (lichtblauw) tot de locatie van de modelrand (randpalenlijn) en de koppeling naar een D-HYDRO schematisatie voor de kustzone (donkerblauw) en de aansluiting met het zeedeel van het RMM model (roze). Dit rooster zal in de toekomst ook aansluiten op het nog te ontwikkelen model van de Westerschelde.

Vanaf de start van de ontwikkeling van de D-HYDRO zesde-generatie modelschematisaties is duidelijk gemeld dat het uitgangspunt is om één model voor de RWS beheergebieden te maken. De bovengenoemde aanbevelingen maken het duidelijk dat er nog steeds toegewerkt wordt naar één geïntegreerde modelopzet voor alle RWS beheergebieden (i.p.v. Nederlandse wateren), maar nu verdeeld over twee domeinen.

2.5.7 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 van een watersysteem, 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.

2.6 Wettelijke en bestuurlijke kaders

De modelschematisaties van RWS worden toegepast binnen allerlei wettelijke en bestuurlijke kaders (zie ook Figuur 2-9) 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 toepassingsbereik 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.

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 van het rooster en de keuze van modelsettings rekening te worden gehouden met de eventuele koppeling met andere modellen en de daarin gemodelleerde fysische processen (golven, morfologie, waterkwaliteit).

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 (o.a. golven, morfologie en waterkwaliteit); en
- 2 modellen die toeleverend zijn aan de modellen voor de waterbeweging (o.a. meteorologie, globale modellen, baseline).

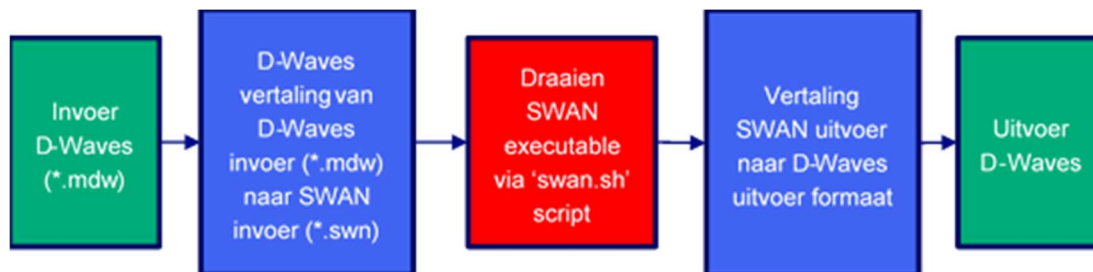
3.2 Golven

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

3.2.1 SWAN en D-Waves

Het golfmodel SWAN wordt op dit moment ingezet voor golfberekeningen voor Rijkswaterstaat. Het is ook mogelijk om het rekenhart SWAN te draaien via de D-HYDRO Suite, met de zogenaamde D-Waves module. Het voordeel van D-Waves is dat een directe koppeling met D-Flow FM mogelijk is voor waterstanden en stroming en dat er naar een consistentere modelinstrumentarium gestreefd kan worden. D-Waves is een wrapper om het SWAN rekenhart heen, waarmee de in- en uitvoer voor SWAN geregeld wordt, zie Figuur 3-1. D-Waves kan zowel via de 'user interface' van de D-HYDRO Suite aangeroepen worden, als via een script, bijvoorbeeld wanneer D-Waves op het rekencluster wordt gedraaid. In beide gevallen maakt D-Waves gebruik van een mdw-file³, waarbij de invoer voor D-Waves kan worden opgegeven. De invoermogelijkheden in de mdw-file zijn beperkter dan wat er in SWAN mogelijk is.

³ Master definition file voor Waves, het invoerbestand van D-Waves (*.mdw).



Figuur 3-1 D-Waves proces

Op dit moment kan D-Waves nog niet worden ingezet om SWAN te vervangen voor belangrijke vraagstukken van Rijkswaterstaat (RWsOS en BOI). Er spelen nog een aantal showstoppers waardoor het gebruik op dit moment niet zonder zeer grote workarounds mogelijk is. Een overzicht van de huidige status van deze koppeling en toekomstige oplossingsrichtingen is gegeven in Deltares (2021b)

3.2.2 Koppeling golven met G6 modelschematisaties

SWAN rekent alleen op basis van gestructureerde roosters (curvilineair). In D-Waves is een ruimtelijk generieke koppeling geïmplementeerd. Hierdoor kunnen bij 2D modelschematisaties zowel driehoeken als curvilineaire roostercellen gekoppeld worden aan SWAN. Hieronder is een aantal aandachtspunten geïdentificeerd welke voor compatibiliteit van de koppeling van D-HYDRO modelschematisaties met SWAN modelschematisaties van belang zijn.

3.2.2.1 Eénweg -vs. tweewegkoppeling

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

- Eenwegkoppeling: waterbeweging → golven
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.
- Eenwegkoppeling: golven → waterbeweging
Andersom kan er ook een éénwegkoppeling gemaakt worden voor de effecten van golfcondities op de waterbeweging.
- Tweewegkoppeling: waterbeweging ↔ golven
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 *Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium* (BOI) wordt alleen gebruik gemaakt van een éénwegkoppeling (waterbeweging → golven). Hierbij wordt ofwel gebruik gemaakt van de maximale waterstand uit een waterstandsberekening (o.a. IJsselmeer⁴) ofwel wordt een constante waterstand opgelegd (o.a. Hollandsch Diep, Noordzeekust) aan het SWAN-model. In beide gevallen wordt er geen stroming meegenomen bij de golfberekening.

Omdat de tweewegkoppeling nauwkeuriger en fysisch correcter is, is het aan te bevelen om op termijn hierop over te stappen (zie ook Sterl, 2018). Ook voor rivieren geldt dat het wenselijk is om golf-stromingsinteractie mee te nemen voor een betere golfmodellering. De tweewegkoppeling

⁴ Merk op: voor IJsselmeer-Vechtdelta is er ook een koppeling met delen van de rivier. Dan is er ook verhang aanwezig en is één horizontale waterstand dan niet voldoende.

kost echter (aanzienlijk) meer rekentijd. Ook zou de WBI-methodiek in de toekomst moeten worden aangepast bij de overstap naar een tweewegkoppeling.

Voor sommige zesde-generatie modellen is het wenselijk dat er éénwegkoppeling van de effecten van golfcondities op de waterbeweging kan plaatsvinden. Dit geldt bijvoorbeeld voor gebieden langs de kust waar golfgeïnduceerde opzet van belang is. Ook voor slibmodellering is het effect van golven op de bodemschuifspanning van belang. Voor specifieke toepassingen kan een volledige tweewegkoppeling vereist zijn.

Rekentijd is echter ook veelal een eis. Deze rekentijdeis maakt de inzet van de tweewegkoppeling op dit moment nog niet opportuun.

3.2.2.2 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 verschillende 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 voor golven extra resolutie moet worden gehanteerd in gebieden waar dit voor waterstanden 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.

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 maar geen onevenredig grote consequenties heeft op o.a. de rekentijd.

3.2.2.3 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. Sterl (2017) beschrijft de relevante literatuur en studies m.b.t. winddrag formuleringen, en geeft aanbevelingen over het gebruik hiervan.

Daarnaast dienen er consistente keuzes te worden gemaakt voor de bodemwrijving in de waterbewegings- en golfmodellen, zodat er een zo klein mogelijke bias in de modelketen wordt geïntroduceerd.

3.2.2.4 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 (BasWAQ). Voor de zesde-generatie is er voor gezorgd dat dezelfde procedure kan worden gevolgd middels Bas2FM.

3.2.2.5 UNSWAN

In de 'Pilot-applicatie Meren' van 2016 is als aanbeveling opgenomen om in de toekomst ook UNSWAN te gaan gebruiken, omdat dit het gebruik van ongestructureerde roosters in de golvenmodule mogelijk maakt. Op dit moment worden ten aanzien hiervan nog de volgende kanttekeningen geplaatst:

- de 'kwaliteit' van de UNSWAN-modelresultaten is een onderwerp van discussie tussen Deltares en TU Delft.
- Er is momenteel nog geen softwaretechnische koppeling tussen D-Flow FM en UNSWAN.
- UNSWAN kan 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.

3.2.3 Bretschneider

Op de bovenrivieren en op modelschematisaties waar er geen 2D-golfmodellen (SWAN) beschikbaar zijn, kan voor het effect van wind op golven gebruik worden 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 BOI-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 is of en hoe dit consequenties heeft voor de hydrodynamische modellen, wordt op dit moment bij de opzet van de zesde generatie modellen niet apart rekening mee gehouden.

3.2.4 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 SWAN op basis van gestructureerde roosters (curvilineair).
- Voor toepassing binnen BOI kan worden uitgegaan van enkel een éénwegkoppeling (waterbeweging → golven).
- Voor sommige zesde-generatie modellen is het wenselijk dat er koppeling (éénweg en/of tweeweg) van de effecten van golfcondities op de waterbeweging kan plaatsvinden, o.a. voor de gebieden waar slibmodellering plaatsvindt en langs de kust waar golfgeïnduceerde opzet en stroming van belang is.
- Roosterdekking en resolutie van de golfmodellen nabij de keringen (o.a. uitvoerlocaties) vergelijkbaar maken aan het rooster voor D-HYDRO om zo interpolatieproblemen en verschillen als gevolg van droogval 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

De module D-Morphology (2D) geeft een koppeling van D-Flow FM met morfologie voor 2D toepassingen.

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 logaritmisch profiel met grootste resolutie vlakbij de bodem (met name voor zand-morfologie).

In de nieuwe Baseline 6 software wordt het ook mogelijk om morfologische informatie toe te voegen aan de Baseline-gebiedsschematisaties. Deze informatie kan dan automatisch worden omgezet naar modelinvoer voor morfologische modellen en kan ook in Baseline met de andere ruimtelijke 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. 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. Voor waterkwaliteit is het in veel gevallen noodzakelijk om 3D-modellering van waterbeweging toe te passen.

Dit houdt in dat aan de volgende eisen moet worden voldaan die noodzakelijk zijn voor de goede uitvoering van waterkwaliteitsberekeningen.

3.4.1 Online / offline koppeling

Tot op heden werd voor Rijkswaterstaat ten behoeve van Waterkwaliteitstoepassingen veelal gebruik gemaakt van Delft3D-WAQ in combinatie met Delft3D of SOBEK. Hierbij werd eerst de hydrodynamica (waterstanden, transport en stroming) uitgerekend met Delft3D of SOBEK en deze werd vervolgens met behulp van communicatiefiles aangeboden aan Delft3D-WAQ. Delft3D-WAQ

berekent op basis daarvan toestandsvariabelen en stoffen die op haar beurt weer een vervuilende stof, een natuurlijk aanwezige stof of een aquatisch organisme representeren (de 'off-line'-koppeling).

De D-Water Quality module in D-HYDRO Suite bevat een volledige integratie van de waterkwaliteits-processenbibliotheek in de hydrodynamica van D-Flow FM (de 'online' koppeling): Hydrodynamica en waterkwaliteit worden tegelijkertijd uitgerekend, en wisselen op tijdstap-basis informatie uit. Er worden daarbij geen aparte communicatiebestanden meer op schijf opgeslagen. Hierdoor gebruikt D-Water Quality dezelfde parallelisatie routines van D-Flow FM met de daarbij behorende tijdswinst in de berekeningen.

Tegelijkertijd met deze ontwikkeling is geconstateerd dat de off-line werkwijze met communicatie files van eerdere uitgerekende hydrodynamica wel wenselijk blijft voor onder andere: gebruik van 3D waterkwaliteitssoftware voor slibmodellering; simpele waterkwaliteitstoepassingen (coli's, tracers, biochemisch zuurstofverbruik, opgelost zuurstof); situaties waarbij de benodigde hardware voor D-Water Quality onvoldoende is om de potentiële performance winst van gekoppeld rekenen te realiseren.

Dit biedt dan de volgende opties voor rekenen met D-HYDRO Suite:

D-Flow FM	D-Water Quality	Opmerkingen	Officiële D-HYDRO benaming
X	--	Hydrodynamisch model	--
X	X	Gekoppeld hydrodynamica en waterkwaliteit	Integrated, simultaneously
--	X	Off-line waterkwaliteit	File based, sequentially

3.4.2 Transport

Watertransport is van groot belang voor de ruimtelijke verdeling en verplaatsing van de in water opgeloste stoffen. Over het algemeen is transportproces van een groter belang voor waterkwaliteitsprocessen dan hydrodynamica (waterhoogte). Goede indicatoren voor watertransport zijn zout en in mindere mate ook temperatuur.

3.4.3 Verticale menging

De verticale menging is van groot belang voor de primaire productie⁵. 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 spronglaag⁶.

3.4.4 Verticale resolutie

In diepe wateren vinden de meeste biologische processen (o.a. fotosynthese, begrazing door mosselen) aan het oppervlak dan wel aan de bodem plaats. Hiermee kan rekening worden gehouden bij de keuze van de verticale resolutie.

3.4.5 Droogval

Droogvallen is van belang voor intergetij gemeenschappen op schorren, slikken, en moerassen. De keuzes voor grenswaarden en minimale dikte van waterlagen moeten dus niet enkel gebaseerd worden op numerieke zaken, maar hierbij dient ook rekening te worden gehouden met

⁵ Primaire productie is de groei van organismen die via fotosynthese zonne-energie omzetten, ofwel algen en planten. Primaire producenten hebben anorganische nutriënten en licht nodig om koolstofdioxide om te zetten in organisch koolstof. Stikstof en fosfor zijn de belangrijkste limiterende nutriënten voor primaire producenten.

⁶ Spronglaag= is scheiding tussen twee waterlagen – waarbij de onderste waterlaag zuurstofloos is en daardoor niet/minder geschikt is voor organismen om te leven.

biologische aspecten die met het model beoordeeld moeten kunnen worden. Een 'best-practice' hiervoor bestaat (nog) niet, maar de keuzes in het hydrodynamicamodel zouden in elk geval moeten worden besproken met waterkwaliteitsmodelleers – wat niet altijd het geval is geweest met de huidige zesde-generatie hydrodynamische modelschematisaties. Alvorens deze modelschematisaties voor waterkwaliteitstoepassingen te gebruiken wordt de gebruiker geadviseerd om dit aspect te controleren.

3.4.6 Randen, rivieren en eventuele andere lozings-debieten

Debieten van ondermeer rivieren en lozingen 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 en het temperatuur van 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-Water Quality modellen.

3.4.7 Tijd-resolutie

Over het algemeen is er voor waterbeweging een hogere temporele resolutie nodig dan voor waterkwaliteit, dus hoeft daar niet specifiek rekening mee gehouden te worden. Wel is het voor stoftransport wenselijk dat er een volledige cyclus (dag-nacht/springtij-doodtij/jaarcyclus) beschikbaar is om door te kunnen rekenen.

3.4.8 Ruimtelijke resolutie

Over het algemeen is er voor waterbeweging een hogere ruimtelijke resolutie nodig dan voor waterkwaliteit. Daarom moeten de modelresultaten voor de waterbeweging geaggregeerd kunnen worden naar een grovere ruimtelijke resolutie voor de waterkwaliteit.

3.4.9 Waterbalans

Aangezien het bij waterkwaliteitsberekeningen vaak gaat om langlopende berekeningen, is het vrijwel altijd noodzakelijk om een goede waterbalans op te stellen (zie hoofdstuk 4.5 voor berekening van de waterbalans in meren, inclusief neerslag en verdamping).

3.5 Meteorologie

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

Voorbeelden hiervan zijn:

- tijdreeksen van metingen (bijvoorbeeld van KNMI)
- HIRLAM
- HARMONIE
- ECMWF (bijvoorbeeld HRES, EPS of ERA5)

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. Er moet consistente fysica worden gebruikt zowel in de meteorologische grenslaagbeschrijving van waterbewegingsmodellen als in de weermodellen. 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.

Invoer uit meteorologische modellen wordt naast de wind ook gebruikt voor de aansturing en het opleggen van:

- heat-flux model (o.a. luchttemperatuur boven wateroppervlak, bewolkingsgraad, relatieve luchtvochtigheid)
- massa-flux / opzetrandvoorwaarden
- evaporatie (verdamping)
- precipitatie (neerslag)

3.6 Globale modellen

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

- globale getijmodellen voor getijrandvoorwaarden (bijvoorbeeld FES)
- 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)). De afgelopen jaren is een start gemaakt met het koppelen van het bestaande OpenDA-Ensemble Kalman-Filter met D-HYDRO-software via een OpenDA wrapper voor D-Flow-Flexible Mesh. Op dit moment zijn er slechts enkele experimenten uitgevoerd met de combinatie van D-HYDRO en een Kalman filter⁷.

Binnen de opzet en ontwikkeling van het zesde-generatie model van de Noordzee wordt gekeken naar de mogelijkheden om een model op te zetten dat gebruik zal gaan maken van een Steady State Kalman Filter. Binnen RWSOS-Rivieren wordt ook Kalman-Filtering toegepast, maar dan op de 1D-riviermodellen (ARMA-correctie). De modellen worden hier echter niet speciaal op afgeregeld.

3.8 Baseline 6

De onderliggende datastructuur van de huidige Baseline 5 databases is vooral gericht op de modelopzet volgens de vijfde generatie methodiek (DTB, AHN → Baseline 5 → WAQUA → SOBEK). Met de overgang naar de zesde generatie is er ook een nieuwe softwareversie van Baseline (v6) beschikbaar, waarin de onderliggende database-structuur is herzien; de projectie naar D-FLOW FM en SWAN-netwerken mogelijk is gemaakt; en de projectie naar WAQUA is komen te vervallen. Hierbij is deze structuur zodanig opgezet dat het mogelijk is om met/vanuit een landelijke database te werken, maar op zee ook te kunnen werken met grotere datasets zoals EMODnet-bathymetrie.

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

- Actuele situatie (j-schematisaties)
- Beleidsmatige situatie (BenO-schematisaties)
- Schematisaties voor kalibratie/validatie/verificatie (vanaf het jaar 2019)

⁷ zie memo Kalman Filter: stand van zaken en ontwikkeling, Kenmerk: 11203715-001-ZKS-0001, dd. 28 november 2019

Op dit moment is er alleen een landelijke actuele j19-database beschikbaar en een gekoppelde beno19-schematisatie van Rijntakken, Maas, RMM en Markermeer.

De overstap naar de zesde-generatie modellen is gebruikt om de Baseline software en de onderliggende filosofie en keuzes nog eens onder de loep te nemen en gewenste verbeteringen door te voeren. Dit is uitgevoerd in de parallelle trajecten voor de ontwikkeling van Baseline 6 (binnen het project KPP Hydraulica Programmatuur) en Baseline NL (zie Van Doornik, 2020).

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 bodemruwheid⁸
- Toevoegen SOBEK-specifieke informatie
- Mogelijkheid tot 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)
- Mogelijkheid tot het sorteren van o.a. uitvoerlocaties en cross-secties.

Hierbij is het wel mogelijk om bestaande Baseline 5-maatregelen en databases (middels conversie) te kunnen behouden. Ook de conversie naar input voor SWAN-modellen blijft beschikbaar en hiervoor zijn de mogelijkheden zelfs uitgebreid.

Een specifieke eis voor de zesde-generatie modelschematisaties is dat de onderliggende geo-informatie voor alle gebieden in Baseline 6 beschikbaar is en via automatische conversie naar input voor D-Flow FM kan 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 (Baseline-NL). Deze database bestaat uit twee delen: Baseline-NL land (in RD en NAP) en Baseline-NL zee (in WGS84 en MSL). Voor de Noordzee modellen wordt namelijk een globale projectie met een groter geldigheidsgebied gevraagd – hier is gekozen voor het WGS84/MSL-stelsel en is een speciale Baseline-NL_zee schematisatie ontwikkeld op basis van rasters i.p.v. terrains. De knip tussen deze twee databases ligt globaal rond de -20 m+NAP lijn voor de kust.

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 (LSM3), 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 (Baseline NL) 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 de gebieden over de landsgrenzen heen.

⁸ Bruggen worden een apart lijnelement, met als doel om de ruwheid van pijlers mee te nemen, dus niet de ruwheid van brugdekken bijvoorbeeld.

Voorbeelden waarbij dit speelt zijn, zie ook (Deltares 2020):

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

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

Bij de samenwerking met buitenlandse partners/overheden geldt dat het noodzakelijk is om een koppeling tussen de modellen te kunnen bewerkstelligen, maar je kunt niet (zomaar) internationaal 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 raamwerk zijn er verschillende technische aandachtspunten die geadresseerd als belangrijk tijdens het maken van zesde generatiemodellen. Deze zijn gemakshalve gegroepeerd als volgt:

- 1 Good Modelling Practice (GMP)
- 2 Roostergeneratie;
- 3 Numerieke aspecten;
- 4 Kunstwerken en overlaten;
- 5 Relevante processen
- 6 Overige aspecten.

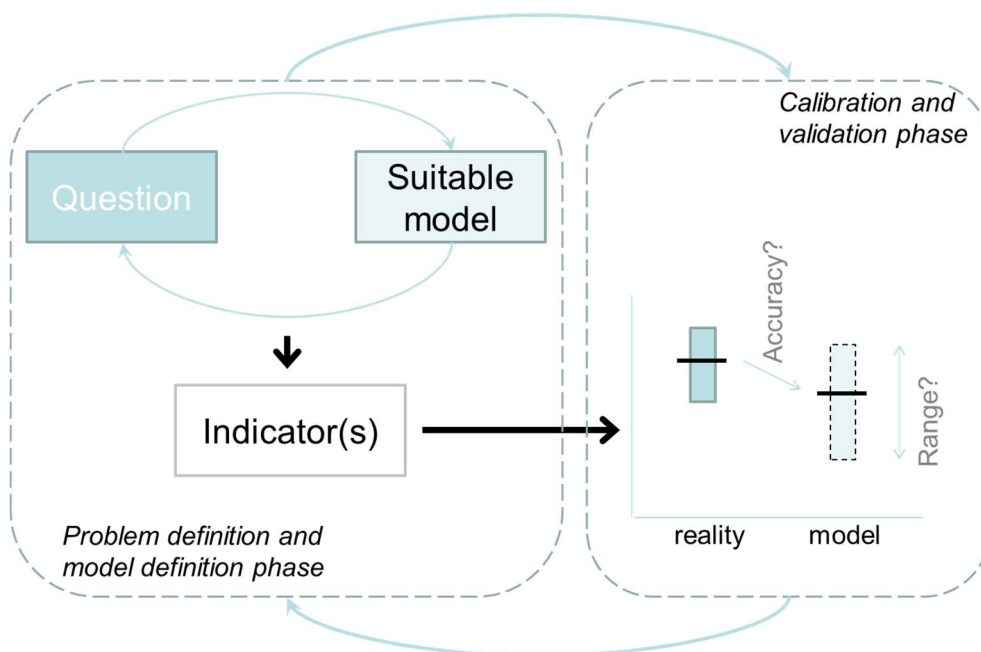
4.1.1 Good Modelling Practice

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.1 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, voor een studie die gebruik gaat maken van simulatiemodellen, onderverdeeld kan worden in drie fases. 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 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 toepasbaarheid en de rekentijd van een model. De inspanning die bij de roostergeneratie wordt besteed om een zo optimaal mogelijke verhouding van nauwkeurigheid versus rekentijd versus toepassingsgebieden 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 E wordt in meer detail ingegaan op verschillende aspecten die bij de roostergeneratie een rol spelen.

In D-HYDRO Suite is de keuze tussen verschillende roostervormen niet beperkt, en de afweging voor de gekozen roostervormen is een afweging van verschillende roostereigenschappen zoals aangegeven in Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Verschillende roostervormen in D-HYDRO Suite

Roostervorm	Beschrijving
Kromlijnig	Mogelijkheid om (hoofd)geulen te volgen (mits het patroon daarvan niet te complex is). Beperkte mogelijkheden voor uitlijning met kusten of kunstwerken (zonder ook gebruik te maken van veel onregelmatige driehoekige cellen).
Regelmatig vierhoekig	Niet geulen volgend (en daardoor meer "trapjeslijnen" in stroming) Geen uitlijning met kusten of kunstwerken (zonder ook gebruik te maken van veel onregelmatige driehoekige cellen)
Driehoekig**	Niet geulen volgend (maar minder scherpe "trapjeslijnen" dan voor regelmatig vierhoekig rooster) Door toepassing van een onregelmatige driehoekige overgangszone uit te lijnen op kusten en kunstwerken. Minder onregelmatige cellen nodig dan voor vierhoekige rooster. Kleinere cellen nodig dan vierhoekige roosters voor een vergelijkbare kwaliteit van de bodemrepresentatie.

**** In D-HYDRO is het ook mogelijk om gebruik te maken van driehoekig, vierhoekig, vijfhoekig, zeshoekig, etc., roostercellen.**

Hieronder volgt een samenvatting van de algemene eisen (en wensen) die aan het rooster worden gesteld om te komen tot een robuust rooster. Het is een taak van de modelleur om te overwegen in hoe ver afgeweken kan worden van de "optimale" keuzes afhankelijk van de toepassing en het toepassingsgebied. In Bijlage E wordt verder ingegaan op deze overwegingen voor een aantal specifieke toepassingen, en worden een aantal vuistregels voor roostergeneratie toegelicht m.b.t. kwaliteitseisen aan de roostergeneratie aspecten zoals beschreven in Tabel 4-2.

Tabel 4-2 Vuistregels voor roostergeneratie

Roostergeneratie aspect	Kwaliteitseisen
Toepassingsgebied	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. Er wordt getracht om hetzelfde (basis)rooster te gebruiken voor zowel het modelleren van waterstanden, morfologie, waterkwaliteit en golven, zolang dit geen nadelige consequenties heeft op andere aspecten. 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
Orthogonaliteit	De orthogonaliteit van het rooster moet een waarde hebben die in het interessegebied kleiner is dan 0,02
Gladheid (Smoothness)	Aan de gladheid (smoothness) worden geen strikte eisen gesteld om het nog mogelijk te maken om roosterverfijning toe te passen. Roosterverfijning is juist een van de meerwaarden bij D-HYDRO. Dit neemt niet weg dat in de praktijk geprobeerd moet worden om roosterovergangen zo geleidelijk mogelijk te laten verlopen, en de overgangsgebieden niet te dicht bij het interessegebied te gebruiken. Bij de vorige generatie modelschematisaties (met kromlijnige roosters) werd aanbevolen om de gladheid onder 1,2 te houden.
Aspect ratio	De aspect ratio van het rooster moet zo veel mogelijk gelijk zijn aan 1,0 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 lagere aspect ratio de voorkeur verdient.

Roostergeneratie aspect	Kwaliteitseisen
Nauwkeurigheid	Het rekenrooster bevat voldoende resolutie voor de beoogde toepassing in de interessegebieden. Er is een sterke wens om de verfijning van de rekenroosters, indien nodig, automatisch te doen. Maar dit hoeft niet ten koste te gaan van andere eisen.
Kunstwerken	Belangrijke stroombepalende elementen (zoals o.a. kunstwerken, strekdammen) dienen op roosterlijnen te kunnen worden geschematiseerd. Het rooster moet uitgelijnd worden met kunstwerken (bij voorkeur ook bij bruggen). Het is belangrijk om de stromingsrichting door de openingen van de keringen de juiste roosteroriëntatie te geven. In de praktijk (en met name voor beweegbare kunstwerken) worden hiervoor kromlijnige roostercellen gebruikt. Verder moet er rekening worden gehouden met de breedtevariatie en of de kunstwerken over 1 of meerdere cellen worden gedefinieerd (zie Hoofdstuk 4.4)
Rekenefficiëntie	Kleine roostercellen in combinatie met hoge stroomsnelheden moeten zo veel mogelijk vermeden worden vanwege de tijdstapbeperking in D-HYDRO Suite door de expliciete afhandeling van advection. Dit vereist specifieke aandacht bij de modellering van bijvoorbeeld kunstwerken, kleinere stroomgeulen en drempels en overlaten. Lokale tijdstaplimiterende cellen kunnen daarmee voorkomen worden.

4.2.1 Algemene opzet van het rooster

4.2.1.1 Gebruik van polygonen

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 (zie Tabel 4-3).

Tabel 4-3 Ligging van polygonen voor roosteropzet

Roostergebied	Ligging van Polygonen
Isobaths (lijnen met gelijke diepte)	In diepere delen en delen met vrijwel gelijk diepte kan een grovere resolutie worden gebruikt
Afstand uit de kust/oever	Dichter bij de kust/oever wordt een fijnere resolutie gebruikt
Variabiliteit in de waterdiepte	Bij veel variabiliteit wordt een hogere resolutie gebruikt

4.2.1.2 Ondiepe meren

Voor ondiepe meren is de eerste optie (gebruik van isobaths) echter niet erg nuttig gebleken, 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.

4.2.1.3 Rivieren

In rivieren wordt een multiblok aanpak gebruikt. Hierbij wordt eerst een kromlijng 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 meer losgelaten kan worden.

4.2.1.4 Convergentie, kalibratie en validatie

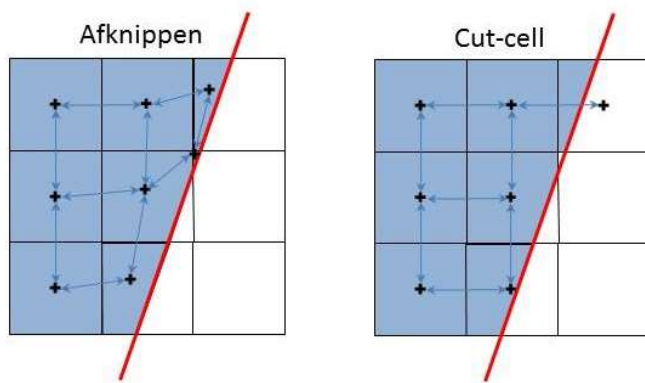
Het is gewenst om met behulp van een aantal convergentie-, kalibratie- en validatietesten te onderzoeken of een roosterschematisatie geschikt is voor het beschrijven van bepaalde processen en in hoeverre de schematisatie voldoet aan de eisen op gebied van rekentijden. Dit kan leiden tot aanpassingen in roosterresolutie en/of het aantal rekencellen. Ook kunnen locaties van overgangszones tussen verschillende celtypen worden aangepast om bijvoorbeeld onregelmatige cellen zo veel mogelijk in gebieden met lage stroomsnelheden te hebben.

4.2.2 Afhandeling van gesloten randen

Er zijn verschillende manieren om met de randen van het rooster om te gaan zoals aangegeven in Tabel 4-4. In Tabel 4-5 wordt de afhandeling van de randen voor specifiek RWS toepassingen besproken.

Tabel 4-4 Werkwijze bij verschillende randen

Afhandeling rand	Werkwijze
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 hebben op de kwaliteit van het volledige rooster
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
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)
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



Figuur 4-2 Verschil tussen afknippen van het rooster (links) en het gebruik van de cut-cell techniek (rechts)

Tabel 4-5 Afhandeling randen bij specifieke toepassingen

Toepassingsgebied	Afhandeling randen
Meren	In meren worden alleen driehoeken gebruikt voor het rooster en daardoor is het relatief makkelijk om een boundary-fitted rooster te genereren
Noordzee	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.
Rivieren	In de toekomst zal voor rivieren worden onderzocht of de cut-cell techniek kan worden ingezet langs specifieke randen van het model. Hierdoor wordt het namelijk relatief makkelijk om te gaan met eventuele veranderingen in de locatie van de randen.

4.3 Numerieke aspecten

Er zijn verschillende (numerieke) parameters die gekozen en ingesteld kunnen worden. Er is een lijst beschikbaar met de standaardinstellingen die worden aangeraden voor zowel 2D als 3D modelschematisaties (zie Bijlage C). Deze instellingen worden zoveel 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 advectionsterm 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 (keyword `DtMax`) en het maximaal toelaatbare Courant criterium (keyword `CFLMax`). 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-HYDRO 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. Daarom wordt 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 rooster cel nat kan worden. Bij D-HYDRO Suite is de standaardinstelling van de droogvaldrempel 0,0001m.

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. Het is altijd aanbevolen om een convergentieonderzoek te doen naar de tijdstap, door handmatig de maximale tijdstap te verkleinen, totdat de resultaten niet meer significant veranderen.

Het kan inzichtelijk zijn om een grafiek te plotten van de maximale rekentijdstap gedurende de berekening. Hiermee makkelijker worden bepaald rondom welk tijdstip (bijvoorbeeld piek van een storm) de tijdstap geknepen wordt om de berekening stabiel te houden.

4.3.2 Tijdzone

De starttijd van de simulatie wordt door de gebruiker aangegeven als:

RefDate (yyyymmdd, default = 20010101) + **Tstart** (default = 0s)

Indien de gebruiker de werkelijke datum wil gebruiken moet er rekening worden gehouden met de lokale tijdzone. De default datum en tijd gebruikt in D-HYDRO zijn in UTC (=GMT) tenzij anders is aangegeven via de keyword **Tzone**. Default waarde voor **Tzone** = 0 (=UTC; = GMT). **Tzone** is het aantal uren tijdsverschil tussen GMT en de lokale tijd.

Alle invoer databronnen moeten dan in deze tijdzone worden aangegeven. Voor de zesde-generatie modelschematisaties voor RWS in Nederland, is het mogelijk dat de invoer databronnen in lokale tijd (NL tijd = CET) zijn aangegeven. In dat geval kan de gebruiker **Tzone** = 1 gebruiken.

4.3.3 Projectie van de bodem

Een belangrijk onderdeel van het model betreft de schematisatie van de bodemhoogte in het model. D-HYDRO Suite werkt hiervoor met bodemhoogtes (een 'positive upward' oriëntatie) en niet met bodemdieptes (zoals in Delft3D v4).

De verschillende parameters die hierbij een rol spelen worden hieronder beschreven.

4.3.3.1 Middelingstype

Hoe worden de gridonafhankelijke samples met een hoge resolutie geprojecteerd op het rekenrooster? Hier wordt onderscheid gemaakt in:

- Gemiddelde
- Dichtstbijzijnde
- Diepste punt

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, 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.

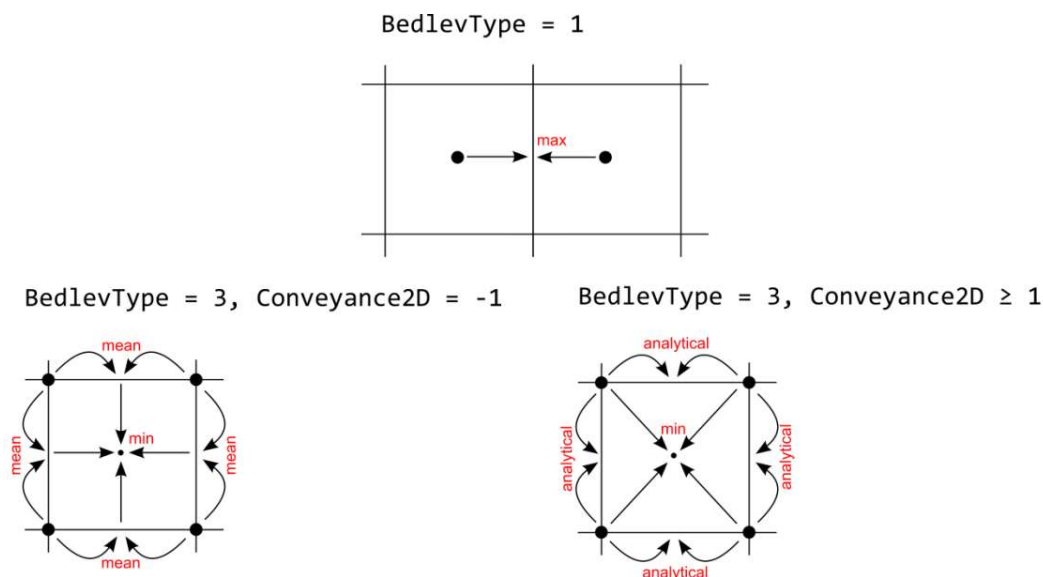
4.3.3.2 Bedleveltype

Waar wordt de bodemhoogte geprojecteerd op het rekenrooster? In D-HYDRO Suite wordt onderscheid gemaakt in:

- Bodemhoogte in grid celmiddens (BedlevType=1)
- Bodemhoogte in hoekpunten (BedlevType=3)

Zie Figuur 4.3 voor uitleg van de BedlevTypes. Voor hydrodynamische modelschematisaties zijn beide aanpakken (BedlevType=1 of 3) mogelijk. Een beschrijving van het aanvullende onderzoek en over de voor- en nadelen van het toepassen van deze twee concepten wordt gegeven in Bijlage F.

Het advies is om BedlevType = 3 (bodemhoogtes in hoekpunten) toe te passen voor zesde-generatie hydrodynamische modelschematisaties.



Figuur 4-3 Schematische weergave hoe voor verschillende combinaties van BedlevType en Conveyance2D de bodemhoogte op de verschillende locaties van het rekenrooster wordt geprojecteerd

4.3.3.3 Bedleveltype voor morfologische toepassingen

Voor de module D-Morphology is alleen een gevalideerde implementatie van de morfologie beschikbaar voor bodemhoogtes in grid celmidden (BedlevType=1). Daarom wordt voor morfologische modellen geadviseerd om een 'afgeleid model' te gebruiken op basis van het hydrodynamische model. De stappen om te komen tot een schematisatie voor morfologie zijn beschreven in Tabel 4-6.

Tabel 4-6 Voorlopige werkwijze om morfologische modellen op te zetten

Stap	Actie
1	Het hydrodynamische model (met bodemhoogtes in hoekpunten) schrijft de berekende bodemhoogte in celmidden weg naar een zogeheten sample-file.
2	Met het DeltaShell GUI van D-Flow FM wordt het hydrodynamische model geconverteerd naar een model met 'bodemhoogtes in celmidden'.
3	In de Spatial Editor van de GUI worden op basis van de hier bovengenoemde sample file bodemhoogtes gedefinieerd en wordt het model opgeslagen.

4.3.3.4 Conveyance

Het berekenen van het doorstroomoppervlak op de celranden wordt bepaald aan de hand van de gekozen bodemhoogte discretisatie op hoekpunten, t.w.:

- Gemiddelde van de hoekpunten (Conveyance2D = -1)
- Analytische doorstroming met uniforme stroomsnelheid (Conveyance2D = 1)
- Analytische doorstroming met stroomsnelheid op basis van de analytische waterdiepte (Conveyance2D = 3)

Het advies is om Conveyance2D = -1 toe te passen voor zesde-generatie hydrodynamische modelschematisaties.

4.3.4 Horizontale viscositeit

De resultaten van aanvullend onderzoek naar de keuzes voor horizontale viscositeit in de zesde-generatie modelschematisaties zijn beschreven in een memo (Deltares, 2017). De belangrijkste bevindingen zijn hieronder samengevat.

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. Om het effect van turbulente processen toch te kunnen meenemen bij het modelleren, worden deze opgelost op 'sub-grid' niveau. Hiervoor worden de horizontale eddy viscositeit en eddy diffusiviteit gebruikt. De horizontale eddy viscositeit en eddy diffusiviteit 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:

- 1 Een deel door moleculaire viscositeit
- 2 Een deel door '2D-turbulentie'
- 3 Een deel door '3D-turbulentie'

Voor de horizontale eddy viscositeit en eddy diffusiviteit kan in D-HYDRO 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 voor turbulentie beschikbaar, het zogeheten Smagorinsky model. Hiermee is het mogelijk om automatisch om te gaan met grote verschillen in celgrootte en mogelijk daarbij behorende stroomsnelheidsverschillen. Daarnaast kan de constante achtergrondwaarde worden gebruikt om het effect van een 3D snelheidsprofiel mee te nemen in 2D dieptegemiddelde modellen.

Voor de zesde-generatie D-HYDRO modellen wordt aanbevolen om gebruik te maken van de Smagorinsky-formulering (met constante $C_s = 0,20$) samen met de constante achtergrond viscositeit (waarde van 0,1) in 2D dieptegemiddelde modellen.

Voor 3D modelschematisaties kan er voor de verticale 3D-turbulentie gebruik gemaakt worden van een k-ε-model. De horizontale viscositeit wordt met het Smagorinsky model berekend.

Er wordt opgemerkt dat de horizontale viscositeit als kalibratieparameter gebruikt kan worden. Hierdoor kunnen afwijkende waardes gebruikt worden op basis van kalibratie met gemeten snelheden.

4.3.5 Implicietheid van de tijdsintegratie

De parameter Teta0 geeft de waarde van θ aan die gebruikt wordt in de numerieke tijdsintegratie en moet een waarde hebben tussen de 0,5 en 1. De waarde van θ 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.

Voor zesde-generatie modellen in D-HYDRO wordt een default waarde van $\theta=0,55$ toegepast.

4.3.6 Wandruwheid

Wanneer er geen stroming is door een celwand (edge), 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 de zesde-generatie modelschematisaties in het algemeen grootschalige gebiedsmodellen zijn, is het effect van de wand in het gebied meestal zeer klein en wordt in de zesde-generatie modellen voor RWS 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 worden meegenomen in de hydraulische modellen, aangezien ze grote invloed kunnen hebben op de waterstanden en 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. De te gebruiken coëfficiënten en de beoogde werking van kunstwerken dienen van te voren te worden besproken met experts.

Hieronder volgt een beschrijving van enkele belangrijke aandachtspunten bij het definiëren van kunstwerken. Meer informatie over het definiëren van kunstwerken is te vinden in D-HYDRO User Manual.

4.4.1.1 Keuze van geometrische parameters in D-HYDRO kunstwerken

Deze paragraaf bevat een advies voor de keuze van geometrische parameters in D-HYDRO kunstwerken. Allereerst dient vermeld te worden dat de kunstwerkformuleringen in D-HYDRO bedoeld zijn voor globale modellering en niet voor detailmodellering. Dit gold ook al bijvoorbeeld voor de kunstwerk-modellering in SOBEK en in SIMONA. Deze kunstwerkformuleringen worden toegepast als een roosterschematisatie dat te grof is om een kunstwerk in detail (bijvoorbeeld via de bodem) te schematiseren. Het doel is om, afhankelijk van de geometrie van het kunstwerk en de optredende stromingstoestand (kritisch, subkritisch, schuifstroming of niet), het juiste debiet door een kunstwerk te berekenen.

Het advies hier beperkt zich tot gebruik binnen D-HYDRO van een general structure en niet tot andere structures (simple weir, simple gate, ...). Een general structure in D-HYDRO heeft een vijftal geometrische parameters zoals beschreven in de D-Flow FM User Manual. De parameters zijn:

- Level upstream 1;
- Level upstream 2;
- Crest level;
- Level downstream 1;
- Level downstream 2

De 'Crest Level' wordt ingevuld op basis van de geometrie. Het kiezen voor een gelijke waarde voor al deze vier parameters wordt afgeraden om onrealistische debieten door een kunstwerk te voorkomen. Om betrouwbaardere resultaten te behalen is het advies om de levels voor en achter de Crest onder de Cresthoogte te zetten. Verder moeten Level 1 en Level 2 verschillen in hoogte en deze levels moeten oplopen. De 5 levels samen moeten een driehoeksvorm hebben.

Het advies is te starten met verschilwaarden van 5 cm voor al deze vijf parameters. Dit leidt tot de modelinvoer zoals aangegeven in Tabel 4-7.

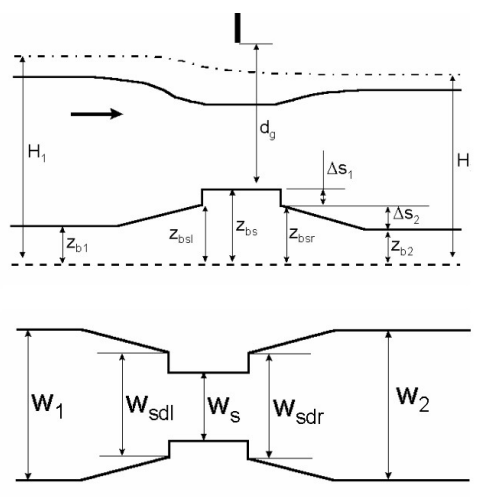
Tabel 4-7 Startwaarden voor general structure

Structure parameter	Startwaarde
Level upstream 1	10 cm onder crest level
Level upstream 2	5 cm onder crest level
Crest level	crest level
Level downstream 1	5 cm onder crest level
Level downstream 2	10 cm onder crest level

Afwijkingen van deze startwaarden in de huidige zesde-generatie modelschematisaties worden aangegeven in Bijlage C.

4.4.1.2 Breedtevariatie van kunstwerken in 2D of 3D.

In een 2D of 3D model wordt dezelfde general structure subroutine gebruikt als in 1D. De formulering van de general structure is gebaseerd op: energiebehoud naar kruin / momentbehoud van kruin. De grootte van de verliezen in het momentgedeelte hangt daarbij af van de breedte verhouding W_s / W_2 , breedte op de kruin / breedte na de kruin (zie Figuur 4-4).



Figuur 4-4 Geometrische parameters voor beschrijving general structure

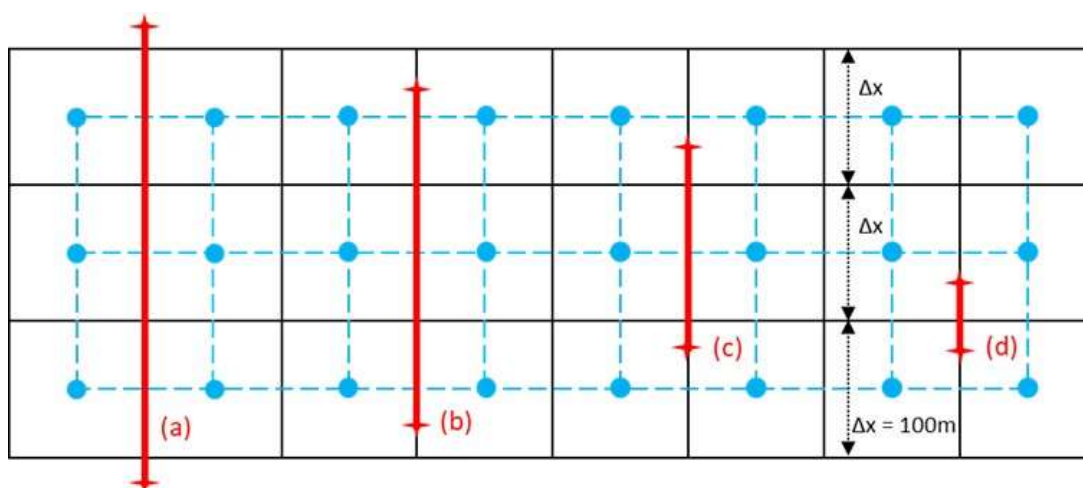
De verhouding W_s / W_2 is 1.0 bij modellen waarin de general structure ("kunstwerk") over meerdere cellen loopt. De grootte van de verliezen hangt nog wel af van de verticale expansie. Wordt er in een 2D model maar één flowlink doorsneden door het kunstwerk, dan wordt de 1D behandeling toegepast, en wordt de opgegeven horizontale expansie dan gebruikt. Worden er meer flowlinks doorsneden door het kunstwerk, dan wordt de 2D afhandeling met waarde één gebruikt.

De verhouding W_s / W_2 is op te geven middels de structure.ini file, maar speelt dus alleen maar een rol in 1D kanalen of als het kunstwerkslechts één flowlink doorsnijdt in 2D.

4.4.1.3 Kunstwerkbreedte in polyline

De maximale breedte waarover door een kunstwerk gestroomd kan worden, is gelijk aan de opgegeven kunstwerkbreedte in invoerfile ('.ini' bestand), mits de gesommeerde breedte van de interfaces van de flowlinks, die doorsneden zijn door de opgegeven polyline van het kunstwerk,

groter is dan de opgegeven kunstwerkbreedte. Dit wordt uitgelegd aan de hand van vier voorbeelden in Figuur 4-5.



Figuur 4-5 Definitie van kunstwerkbreedte. Voorbeelden van kunstwerken bestaande uit (a) 3 flowlinks; (b) 3 flowlinks; (c) 1 flowlink; en (d) geen flowlink

In Figuur 4-5, wordt een netwerk getoond van een kanaal met een breedte van 3 uniforme, rechthoekige cellen (in zwart getekend) van ieder Δx breed. De celcentra zijn de blauwe stippen en de flowlinks zijn de verbindende blauwe, gestippelde lijnen. Een kunstwerk wordt gedefinieerd op flowlinks (c.q. snelheidspunten) en kan uit meerdere flowlinks bestaan. Alleen de flowlinks die door de kunstwerk polyline worden doorsneden tellen mee. In dit figuur bestaan voorbeelden (a) en (b) uit maximaal 3 flowlinks. Voorbeeld (c) bestaat uit 1 flowlink. Voorbeeld (d) kruist geen enkele flowlink en wordt dus helemaal niet geïdentificeerd. De maximale kunstwerkbreedte in dit voorbeeld, met $\Delta x = 100\text{m}$, is dan (a) 300m breed; (b) 300m breed; (c) 100m breed en (d) 0m. Als in voorbeeld (a) een kunstwerkbreedte van bijvoorbeeld 80 m wordt opgegeven, dan zal alleen de middelste flowlink stromen. Als kunstwerkbreedte van 120 m is opgegeven, dan zal de middelste flowlink volledig stromen en stromen de bovenste en onderste flowlinks met een verkleinde breedte van elk 10 m.

4.4.2

Sturing kunstwerken

Binnen D-HYDRO Suite wordt de sturing van kunstwerken afgehandeld binnen D Real Time Control (D-RTC). 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 BOI moet er ook gerekend kunnen worden met falende keringen (zowel onterecht open als dicht) en gedeeltelijke sluitingen.
- Er moet ook rekening worden gehouden met eventuele lekdebieten.

De sturing van kunstwerken vanuit D-RTC zal als aparte module gebeuren. 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, waar noodzakelijk, 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 en het Op Verwachtingen Gestuurde Keringenscript (OVGK-script) plaatsvinden.

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 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 het opstuwend effect ten gevolge van brugpijlers ook meegenomen kan worden in de hydraulische modellen van RWS.

In de huidige WAQUA-modellen worden brugpijlers meegenomen in de bodemruwheid. Deze aanpak werkt in de praktijk niet goed. In Delft3D-v4 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 en wordt daarom ook gebruikt in D-HYDRO.

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. 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 BOI) worden de volgende criteria gehandhaafd voor de primaire waterkeringen⁹:

- Primaire keringen (direct buitenwater kerend): niet overstroombaar¹⁰
- Voorliggende waterkeringen (o.a. afsluitdammen en stormvloedkeringen) – zie hieronder.
- Compartimenterende waterkeringen (alleen de Diefdijk): niet overstroombaar
- Regionale keringen: overstroombaar

Als dijkeringen binnen een deelgebied een verschil in terugkeertijd van een factor 10 hebben, kan besloten worden de primaire keringen wel overstroombaar te maken om de topvervlakking goed te

⁹ 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.

¹⁰ Overstroombaar = standvast (gaat niet stuk), maar er gaat wel water overheen.

modelleren. Dit geldt bijvoorbeeld voor de Maaskades langs de Grensmaas, met uitzondering van het model met 'maaskades niet-overstroombaar' (=mknov).

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

4.4.5.1 Voorliggende waterkeringen

Een belangrijk afstempunt is de overstroombaarheid van voorliggende keringen en de beweegbare kunstwerken in die keringen. Er is eerder een opzet voor gemaakt om daar een generiek aanpak voor op te stellen. Dat is deels gelukt:

- "Buitenwateren" zijn wateren die bedreigd worden door stormen en/of hoge afvoeren. De buitenwateren zijn: Rijn, Maas, RMM, Hollandsche IJssel (getijde deel), IJsselmeer, Markermeer, Veluwrandmeren, Zwarte Meer, Zwarte Water, deel Overijsselse Vecht, Volkerak-Zoommeer, Grevelingen, Oosterschelde, Westerschelde, Noordzee, Waddenzee, Eems-Dollard.
- Buitenwateren zijn omringd (uitgezonderd zee-zijde) door primaire keringen of hoge gronden.
- Een "voorliggende kering" is een obstakel vóór een achterliggend buitenwater. In principe mag de voorliggende kering overstromen, omdat er immers nog een primaire kering achter ligt. Als dat gebeurt dan kan echter de voorliggende kering zelf niet meer getoetst worden. Op het moment dat een voorliggende kering mede de rand van het model vormt, zal de voorliggende kering nooit overstromen. Voorliggende keringen vormen in de modelschematisaties op meerdere locaties de rand van het model en zijn op die locaties dus per definitie niet overstroombaar.

Om binnen Nederland met de overstroombaarheid van voorliggende keringen op een vergelijkbare wijze om te gaan, en niet afhankelijk te zijn van gekozen modelgrenzen, en om een aantal van deze keringen toch te kunnen toetsen, zijn de keuzen voor overstroombaarheid van voorliggende keringen per gebied hieronder gebaseerd op:

- Voorliggende keringen zijn in de D-HYDRO modellen niet overstroombaar, uitgezonderd het oostelijk deel van de Europoortkering (Rozenburg-Hartelkering) en Ramspol-IJsselmuiden.
- De bewegende delen van de stormvloedkeringen (Maeslant-, Hartel-, Haringvliet-, Hollandse IJssel-, Ramspol-, (Oosterschelde-)) in de voorliggende keringen zijn wel overstroombaar.
- Overige beweegbare keringen, die een onderdeel van de primaire kering zijn of van een verbindende kering, sluiten volgens de geldende regels en zijn niet overstroombaar.

Alle keringen en obstakels worden in Baseline en in de schematisaties voor de D-Hydro en Swan modellen standzeker verondersteld. Havendammen zijn geen primaire en/of voorliggende keringen.

4.5 Modelschematisaties voor Meren

4.5.1 Inleiding

Binnen KPP2020/KPP2021 Hydraulica Schematisaties is aan verschillende D-HYDRO-modelschematisaties gewerkt van gebieden die gekarakteriseerd kunnen worden als een meer. Het gaat hierbij specifiek om de volgende gebieden:

- IJsselmeer, IJssel-Vechtdelta en Overijsselse Vecht
- Markermeer en Veluwerandmeren.
- Grevelingenmeer
- Veerse Meer
- Volkerak-Zoommeer

Aangezien er tot op dit moment nog geen richtlijnen zijn voor het opzetten van een “meren”-modelschematisatie¹¹, worden hieronder twee specifieke onderwerpen aangehaald die van belang zijn bij het opzetten van een dergelijke modelschematisatie. Het betreft de wijze van modelleren van neerslag en verdamping, het toepassen van een waterbalans en het opleggen van de sluitfout.

Net als bij andere keuzes in de modelopzet geldt dat onderstaande informatie als richtlijn gezien kan worden waarmee de vereiste consistentie tussen verschillende D-HYDRO-modelschematisaties voor RWS vergroot wordt. Indien nodig, kan er met onderbouwing van deze richtlijnen afgeweken worden.

4.5.2 Wijze van modelleren van neerslag en verdamping

Gegevens van neerslag en verdamping zijn vaak beschikbaar in een eenheid als mm/dag. Bij de modelopzet van een meren-modelschematisatie wordt gebruik gemaakt van een waterbalans waarin dit is omgerekend naar een debiet (m^3/s). Indien geen vooraf opgestelde waterbalans beschikbaar is, kan de regenval en verdamping worden omgerekend naar een debiet door gebruik te maken van het totale wateroppervlak van het meer bij een representatief meerpeil.

Regenval en verdamping worden gemodelleerd in de D-HYDRO Suite door middel van het toepassen van een *lateral discharge*. Een *lateral discharge* zorgt voor het toevoegen (of onttrekken) van debiet aan het model. De *lateral discharge* kan worden opgegeven op een specifieke puntlocatie of binnen een polygoon. In de laatste optie wordt het debiet naar rato van celgrootte verdeeld over de cellen binnen het polygoon. Naast een debietreeks is dan dus een polygoon nodig om het gebied aan te geven waarover de volumeverandering plaats zal vinden. De gebruiker moet dus goed opletten om de volumes te bepalen. Er is een verhouding tussen het totale oppervlak van het gebied en de polygoon waar neerslag en verdamping plaats vindt.

Er worden geen (zout)concentraties en temperatuur van de regenval voorgeschreven, dat is op dit moment ook technisch (nog) niet mogelijk.

Om volledige controle te hebben over de inkomende en uitgaande fluxen wordt geadviseerd om de polygoon op een dieptelijn van het model te specificeren waarvan bekend is dat deze grens niet onderschreden zal worden¹² tijdens de beoogde berekening of het beoogde bereik waarbinnen het model gebruikt gaat worden. Wanneer de polygoon ook droogvallende gebieden beslaat, wordt het onttrekkingsdebiet gelimiteerd (met als gevolg een niet-sluitende waterbalans).

¹¹ In dit geval een gesloten watersysteem. Deze aanpak kan daarom wellicht ook van toepassing zijn op kanalen.

¹² Dit gebied zou, na codewijzigingen, mogelijk ook door het rekenhart bepaald kunnen worden. Voorlopig wordt vastgehouden aan het handmatig opstellen van een polygoon om duidelijk te hebben welk gebied precies gebruikt wordt.

Bij een negatief debiet zal onttrekking van volume plaatsvinden, hierdoor wordt het celvolume kleiner en neemt de concentratie van constituenten in het resterende celvolume toe. Er worden dus, in tegenstelling tot het gebruik van put-termen, geen stoffen (zoals zout) uit het model onttrokken.

4.5.3 Waterbalans en sluitfout

Bij het opzetten van een D-HYDRO-model van een gesloten watersysteem kan er mogelijk gebruik worden gemaakt van een reeds beschikbare waterbalans. De toegepaste methode voor de water- en chloridebalans van het IJsselmeer met gebruik van gemeten waterstromen en chloridegehaltes, aangevuld met berekeningen en literatuurwaarden is ook voor het Volkerak-Zoommeer, Grevelingenmeer en Veerse meer gebruikt. De basisopzet is identiek, maar de afzonderlijke posten zijn gebied specifiek, zowel in aantal als in onderlinge verbindingen.

Deze bouwsteen beoogt de informatie voor hindcast beschikbaar te hebben voor alle meren-modelschematisaties van RWS. Voor operationele toepassing van een D-HYDRO-model is deze methode wellicht niet geschikt of in ieder geval nog niet getest, daarom richt deze paragraaf zich enkel op de situatie waarin de waterbalans vooraf bekend is (bijv. in een hindcast of scenario-situatie).

Indien er voor een gebied nog geen waterbalans beschikbaar is, kan er op basis van metingen van bijvoorbeeld (indirect bepaalde) debieten door kunstwerken en gegevens over regenval/verdamping een waterbalans worden opgesteld. In combinatie met hypsometrische gegevens kan een theoretisch meerpeil berekend worden. Dit theoretische meerpeil wijkt hoogstwaarschijnlijk af van het geobserveerde (gemiddelde) meerpeil van het watersysteem.

Omgekeerd kan het geobserveerde (ruimtelijk gemiddelde) over tijd variërende meerpeil worden omgerekend in volumeveranderingen over tijd. Het verschil tussen het netto debiet uit de waterbalans en het verwachte netto debiet o.b.v. het geobserveerde (gemiddelde) meerpeil, wordt de sluitfout genoemd. Deze bepaling van de sluitfout kan voorafgaand van een modelsimulatie berekend worden en is dus niet gebaseerd op modeluitvoer.

Ondanks dat de waterstand- en debietgegevens vaak op een relatief hoogfrequent tijdsinterval beschikbaar zijn (bijv. 10 min.), wordt deze niet per tijdstap gecorrigeerd maar wordt met de sluitfout/correctie over een langere periode gewerkt. Afhankelijk van de duur van het fenomeen kan een lopend gemiddelde (bijv. 7 dagen; of korter voor kort durend fenomeen) worden toegepast zodat een gladdere debietreeks ontstaat die als sluitfout kan worden toegepast.

In het KPP BOO Waterkwaliteitsmodelschematisaties is een generieke methode voor het opstellen van water- en stoffenbalansen ontwikkeld. Deze nieuwe aanpak wordt echter nog niet toegepast in de zesde-generatie modelschematisaties.

De sluitterm wordt los van de overige forceringen gespecificeerd en wordt dus niet verdisconteerd in andere debieten. Wanneer de bepaling en verwerking van de sluitfout niet kan worden overgenomen uit het resultaat van de generieke methode voor het opstellen van water- en stoffenbalansen (KPP BOO Waterkwaliteitsmodelschematisaties), wordt geadviseerd om de sluitfout op te leggen op de plek waar de onzekerheid in het netto debiet (in absolute zin) het grootst is. Afhankelijk van deze locatie kan dit worden opgelegd als puntbron of als *lateral discharge*.

4.6 3D-modellering

Voor de meeste gebieden (met uitzondering misschien van de rivieren), is het vanuit de toepassingen gewenst om in de toekomst 3D te kunnen rekenen omdat de fysica in principe beter wordt gerepresenteerd in een 3D-model. Voor toepassingen met stratificatie van zout, temperatuur of sediment is dit sowieso vereist. Om het beheer en onderhoud van de zesde-generatie modelschematisaties voor RWS te stroomlijnen wordt, waar mogelijk, een 3D-model afgeleid van de 2D schematisatie. Hierdoor wordt er voor gezorgd dat de basis rooster hetzelfde is voor beide modelschematisaties.

4.6.1 Laagverdeling

Afhankelijk van de toepassing kunnen er verschillende eisen worden gesteld aan de 3D laagverdeling. Voor goed-gemengde, dynamische hydrodynamische gebieden wordt traditioneel een σ -laagverdeling (met in de tijd bewegende lagen) gebruikt. Voor zeeën en estuaria waarin steile gradiënten in de diepere lagen een prominente rol kunnen spelen (o.a. dichtheid-gedreven stromingen, slibtransport, etc.) wordt echter een z-laagverdeling (met vast laaginterfaces) bij de bodem aanbevolen. Vervolgens moet in deze systemen ook rekening worden gehouden met een dynamische toplaag (e.g. getij), maar met steile gradiënten in de diepere lagen. Voor deze toepassingen wordt een z- σ -laagaanpak aanbevolen (met σ -lagen in de bovenste lagen en z-lagen in de onderste lagen).

Voor zwak-dynamische gebieden (e.g. meren) waarin numerieke verticale (crosswind) diffusie de overhand krijgt op de natuurlijke diffusie, wordt aanbevolen om z-lagen te gebruiken. Dat is vaak het geval bij gestratificeerde, zwak-dynamische systemen met (scherpe) bodemgradiënten.

De gekozen verticale laagdikte is afhankelijk van de verticale gradiënten die de gebruiker wil representeren. Vaak zijn die te vinden aan de bodem (door stroming), aan het oppervlak (door wind of opwarming) en daar tussenin (stratificatie). Kortom: er kunnen over de gehele waterkolom relevante verticale gradiënten zijn. Het is daarom aanbevolen hoe dan ook om te beginnen met een equidistante laagverdeling. Gemotiveerd kan daar altijd van worden afgeweken, bijvoorbeeld met een gevoeligheidsanalyse (waarbij ook rekentijd nog een rol kan spelen).

Voor specifieke toepassingen kunnen andere eisen aan de laagverdeling worden toegepast zoals aangegeven in Tabel 4-8.

Tabel 4-8 Eisen aan 3D laagverdeling voor verschillende toepassingen

Toepassing	Eisen aan laagverdeling
Morfologie	Logaritmisch profiel met grootste dichtheid vlakbij de bodem (met name voor zand-morfologie)
Waterkwaliteit	Voor diepe wateren meer verticale resolutie rond de scherpe verticale gradiënten die voorkomen bij: een stratificatie/spronglaag; bij het oppervlak (waar de meeste processen plaatsvinden), en nabij de bodem (bijv. zuurstof)
Slibtransport	Meer verticale resolutie bij de bodem waar er steilere gradiënten zijn in de concentraties.
Wind/golven	Grootste verticale resolutie aan het wateroppervlak, hoewel voor golfmodellering wordt in het algemeen gebruik gemaakt van diepte-gemiddelde snelheden

4.6.2 Invoerparameters voor 3D-modellering

Voor 3D modellering zijn de belangrijkste aandachtspunten:

- Er dient een keuze gemaakt te worden tussen een σ -lagen, z-lagen of z- σ -lagen aanpak voor de verticale laagverdeling.
- Het aantal lagen dient gekozen te worden en de verdeling (bijvoorbeeld percentages) van de lagen.

- De modelinvoer voor lozingen dient eventueel uitgebreid te worden door een verticale locatie toe te voegen, in aanvulling op de x- en y-coördinaten. Zo niet, dan vindt de lozing uniform in de verticaal plaats.
- De randvoorwaarden dienen eventueel uitgebreid te worden door in de verticaal variërende randvoorwaarden op te geven. Zo niet, dan blijven de randvoorwaarden uniform in de verticaal.
- Er dient een turbulentiemodel gekozen te worden. In geval van zout- en/of temperatuurgelaagdheid zal vaak het k- ϵ turbulentiemodel gekozen worden. In D-HYDRO is bijvoorbeeld ook het k- τ turbulentiemodel beschikbaar, wat in de literatuur ook wel k- ω wordt genoemd. Afhankelijk van de modeltoepassing dient een geschikt turbulentiemodel gekozen te worden.

4.6.3 Mogelijke oscillaties in 3D-modelresultaten

Een numerieke schema voor ongestructureerde roosters vereist een andere aanpak dan voor gestructureerde roosters. In vergelijking met Delft3D en SIMONA is een nieuw aspect dat zogeheten $2\Delta x$ -oscillaties (zgn. checkerboarding) kunnen optreden in 3D-modelsimulaties met D-HYDRO. Dit wordt veroorzaakt door het toegepaste numerieke schema in D-Flow FM voor 2D, dieptegemiddelde modellen, waarin de zogeheten Perot-methode wordt toegepast (zie D-Flow Flexible Mesh – Technical Reference Manual).

Dergelijke $2\Delta x$ -oscillaties treden vooral op in 3D-modelsimulaties. In 2D-modelsimulaties zijn deze oscillaties zo klein dat ze niet vrijwel nooit opgemerkt worden. In 3D-modelsimulaties is dat echter anders en kan dit wel regelmatig optreden. Het valt echter niet te voorspellen wanneer dit wel en niet optreedt. Als het optreedt, dan is er een hogere-orde filter beschikbaar in D-Flow FM om $2\Delta x$ -oscillaties te reduceren. Een gebruiker kan dit aanzetten via het keyword '`HorizontalMomentumFilter`'. Dit heeft wel grote gevolgen voor de rekentijd. (e.g. 25-60% trager). Sinds D-HYDRO release 2022.01 is dit filter beschikbaar voor σ -lagen, z-lagen en z- σ -lagen.

De verticale advection kan zowel expliciet als impliciet in de tijd geïntegreerd worden; zie respectievelijk `VertAdvType=3` of `6`. De expliciete optie is momenteel de defaultaanpak, omdat deze optie veel minder checkerboarding oplevert dan de impliciete aanpak. De expliciete optie kan echter wel een tijdstapbeperking opleveren. De gebruiker heeft dus de keuze uit deze twee opties. Dit wijkt af van veel andere 3D-systemen, zoals Delft3D 4 en Simona, waarin een impliciete aanpak toegepast wordt. We merken op dat de verticale advection en de verticale diffusie in D-HYDRO wel impliciet in de tijd geïntegreerd worden.

Als de checkerboarding inderdaad hinderlijk is voor een specifieke 3D toepassingen wordt de gebruiker aanbevolen om in ieder geval één simulatie te doen met het filter aangezet en vervolgens met het filter uitgezet, en vervolgens de resultaten te vergelijken. Hierdoor kan bepaald worden of de filter wel of niet nodig is voor de specifieke toepassing. Bij gebruik van expliciete verticale advection is de noodzaak vaak beperkt.

4.7 Overige aspecten

4.7.1 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 BOI-uitvoerlocaties. Mogelijke oorzaken van oscillaties in de resultaten zijn in Tabel 4-9 beschreven.

Tabel 4-9 Beschrijving van mogelijke oorzaken van oscillaties

Oorzaak van oscillaties	Beschrijving
Droogval en onderlopen	Het droogvallen en onderlopen van roosterzellen 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 (Vooral bij gebruik van Villemonte en Tabellenboek aanpak).
Translatiegolven	Het in korte tijd openen 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 eb- en 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-HYDRO 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 BOI zijn met name oscillaties rond de maximale waterstanden ongewenst. 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.

4.7.2 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 belangrijk 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-HYDRO 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, maar wel aan het specifieke model. Deze file kan worden gegenereerd door het draaien van een inspeelberekening. Op dit moment bevat de restart-file echter nog geen toestandsinformatie van kunstwerken. Schuifstanden worden opgegeven als tijdreeksen of apart via de D-RTC module geregeld.

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

4.7.2.1 Rivieren

Voor rivieren geldt over het algemeen dat initieel alleen het zomerbed (gedeeltelijk) gevuld moet zijn met water samen met de plassen in de uiterwaarden. Bij een initieel volledig gevuld winterbed verlies je het bergend effect van de uiterwaarden. Als de plassen in het winterbed niet gevuld zijn, is er initieel 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).

4.7.2.2 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 in Tabel 4-10 beschreven.

Tabel 4-10 Procedure voor het maken van initieel meerpeil

Stap	Handelingen
1	Begonnen wordt met een waterstand lager dan het laagste punt waar water kan komen.
2	Er wordt een constant debiet opgelegd op een aantal locaties verdeeld over het gebied. De verdeling hangt af van de lokale geometrie (met name bij kleine vaargeulen een wat lagere waarde kiezen om instabiliteiten te voorkomen).
3	Laat de simulatie vervolgens zo ver doorlopen totdat het gewenste initiële meerpeil bereikt is.
4	Start de simulatie door maar dan zonder de eerder opgelegde constante debieten om de waterstand gelijk te krijgen (3 tot 5 dagen).
5	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.
6	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.

4.7.2.3 Zeeën en Estuaria

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 zout prognostisch worden meeberekend zijn de benodigde inspeeltijden veelal een stuk langer en afhankelijk van de lokale verblijftijd. Uniforme condities kunnen worden opgesteld die ongeveer overeenkomen met het volume-gemiddelde zoutgehalte

en temperatuur ten tijde van het begin van de berekening. Voor de DCSM FM-3D modelschematisatie is gebleken dat 1 jaar inspelen vanaf uniforme startcondities veel te weinig is. Aanbevolen wordt om voor de Noordzee niet met uniforme zout- en temperatuurcondities te beginnen. Bij initialisatie met initiële condities die redelijk overeenkomen met de werkelijke condities zou 1 jaar voldoende moeten zijn.

4.7.2.4 Rekentijd en parallelisatie

De rekentijden van de zesde-generatie modellen zijn grotendeels afhankelijk van de resolutie van het rekenrooster (o.a. tijdstaplimiterende cellen) en de gebruikte hardware en caching mogelijkheden. De te verwachten rekentijden van de nieuwe modellen moeten worden afgezet tegen de wensen vanuit de verschillende toepassingen bij RWS. Absolute grenzen aan rekentijden zijn op voorhand niet te geven. Wat wel en niet haalbaar is moet in overleg met RWS kerngebruikers worden vastgesteld, temeer er ook een afhankelijkheid is van de beschikbare hardware.

De rekentijd kan ook worden gereduceerd door gepartitioneerd te rekenen over meerdere nodes of cores. De schaling van de rekenperformance van D-HYDRO Suite 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 in de model-rapportage 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 rekentijden tussen modellen, dient dit op een eenduidige manier te gebeuren. Er moet hier onderscheid worden gemaakt tussen:

- Pre-processing;
- Communicatie (in het geval van gepartitioneerd rekenen);
- Daadwerkelijke rekentijd;
- I/O;
- 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 reken capaciteit van computers voldoende is toegenomen, moet het zesde-generatie model als één landelijk model van Nederland kunnen rekenen.

4.7.3 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 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-HYDRO Suite schrijft de data weg in files in het 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-HYDRO beschikbaar is.

Vanaf 2022 gaat er bij Deltares gewerkt worden aan een uitbereiding van HYDROLIB-bibliotheek. Hiermee wordt het mogelijk om in de toekomst voor D-HYDRO gebruikers mogelijk op een meer gestandaardiseerde wijze aan pre- en postprocessing te gaan doen.

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 D):

5.1.1 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, 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.

5.1.2 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 ook 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.

5.1.3 Richtlijnen voor kalibratie en validatie

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

- 1 Kalibratie en validatie moeten waar mogelijk plaatsvinden over het hele toepassingsbereik van het model.
- 2 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.
- 3 Voor de verschillende watersystemen dienen zoveel mogelijk dezelfde perioden te worden gekozen.
- 4 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.).
- 5 Kalibratie vindt plaats met behulp van kalibratiefactoren en bij voorkeur niet direct op de te kalibreren grootheid zelf.
- 6 Er vindt bij voorkeur geen kalibratie van geometrische informatie (zoals de bodem) plaats.
- 7 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

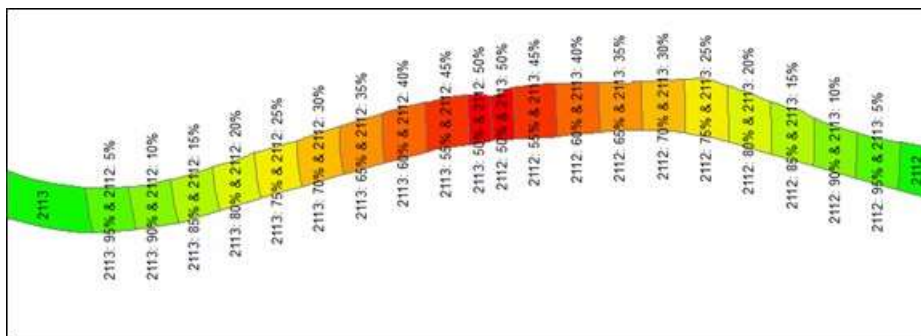
waarden. Hierbij wordt ook gekeken naar de consistentie met ander modellen in de keten (zoals meteorologische- en golfmodellen). Dit punt is strikt genomen geen functionele eis maar wel een belangrijk uitgangspunt. Er dient voor te worden gezorgd dat er geen onrealistisch verloop van de kalibratiefactoren optreedt en dat de overgang tussen gebieden glad verloopt.

- 8 Er dient ook te worden gevalideerd voor extreme omstandigheden (BOI-condities) middels een hoekpunten analyse. 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).
- 9 Bij validatie en kalibratie niet alleen kijken naar waterstanden, maar indien mogelijk, ook naar debieten en stroomsnelheden. Voor 3D sommen moet ook worden gekeken naar temperatuur en saliniteit.
- 10 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.
- 11 Bij voorkeur wordt er gebruik gemaakt van tenminste 3-5 onafhankelijke (extreme) events.

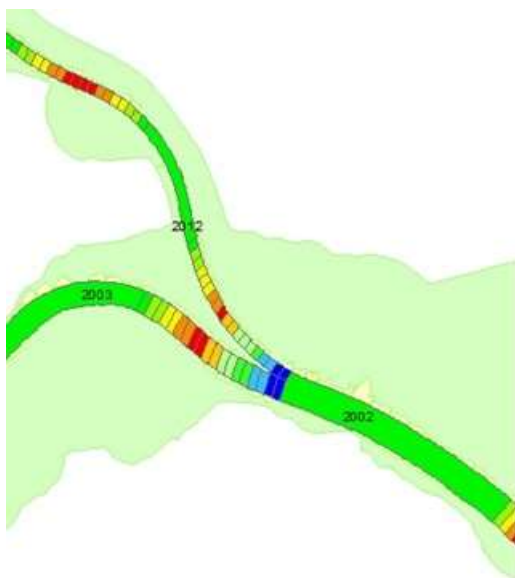
Bij het bouwen en opzetten van geavanceerde modellen is het vooral belangrijk om goed te kunnen valideren en om voldoende metingen daarvoor te hebben. Geavanceerdere modellen vragen andere kalibratiemethodieken en meer aandacht voor de metingen. De kalibratie hangt vooral op de beschikbaarheid van metingen. Bij de opzet van de zesde-generatie worden geen nieuwe metingen verzameld, maar wordt gebruik gemaakt van al beschikbare data. Er worden bij voorkeur 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.

5.1.3.1 Gladde overgangen kalibratiefactoren

Bij het gebruik van kalibratiefactoren moet er voor worden gezorgd dat de overgang glad verloopt, zodat er later geen ongewenste effecten plaatsvinden als met morfologie wordt gerekend. Hiervoor is een aparte functionaliteit beschikbaar binnen Baseline 6 om deze gladde overgangen te creëren (zie Figuur 5-1). Standaard wordt een overgangstraject van in totaal 2 km gebruikt. Bij splitsingspunten moet er voor worden gezorgd dat deze overgangen zich in zijn totaal op de afsplitsende tak bevindt (zie Figuur 5-2), omdat het niet mogelijk is om een overgang tussen drie of meer polygonen te creëren.



Figuur 5-1 Transitie tussen twee kalibratietrajecten. Voor iedere polygoon is aangegeven voor hoeveel procent dit afhankelijk is van de kalibratiefactoren van 2112 en 2113



Figuur 5-2 Gladde overgang van kalibratiefactoren bij een splitsingspunt.

In de huidige modelschematisaties zijn op dit moment deze gladde overgangen alleen geïmplementeerd voor de kalibratiepolygonen. In de laatste Baseline 6 versie is het ook mogelijk om gladde overgangen voor de achtergrondruwheid te creëren. Voordat er morfologische sommen kunnen worden gedaan, dienen deze gladde overgangen ook voor de achtergrondruwheid te worden doorgevoerd, omdat er anders ongewenste morfologische effecten kunnen optreden bij de plotselinge overgangen in ruwheid.

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 D), waarvan de belangrijkste de bias, standaarddeviatie en RMSE zijn. Deze criteria kunnen op een groot aantal verschillende (bewerkte/gefilterde) grootheden worden toegepast, zoals:

- waterstand;
- stroomsnelheid / richting;
- debiet;
- zoutgehalte;
- watertemperatuur;
- timing en hoogte van hoogwaters;
- timing en hoogte van laagwaters;
- getijamplitude en fase (per component);
- scheve opzet.

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, zoals:

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

5.3 Onzekerheidsanalyse

5.3.1 Achtergrond

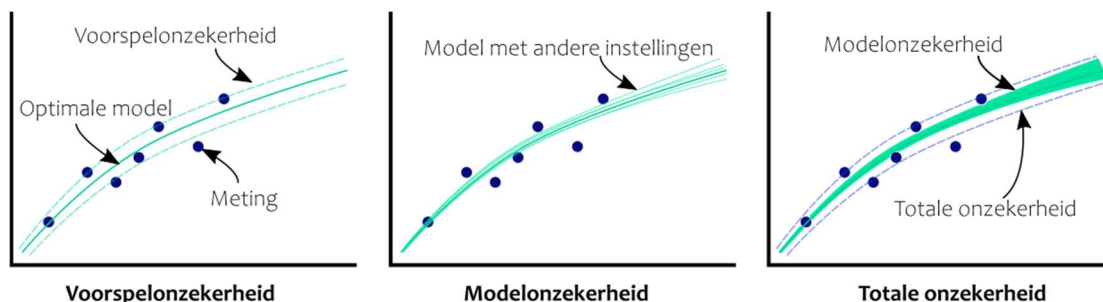
De zesde-generatie modellen voor RWS worden volgens een vastgelegde procedure gebouwd en afgeregeld. Deze procedure wordt periodiek herzien en omvat naast het stromingsmodellen ook bepalingen voor de te gebruiken databases waarop modellen worden gebaseerd. De nauwkeurigheid van het model wordt binnen deze procedure geoptimaliseerd (door kalibratie) en getest (door validatie).

De geschiktheid van een model voor een toepassing hangt in belangrijke mate af van deze bewezen nauwkeurigheid, die tijdens modelbouw wordt vastgesteld. De nauwkeurigheid kan echter niet eenduidig worden vastgesteld voor alle mogelijke toepassingen. Er zijn bijvoorbeeld toepassingen die inherent ontestbaar zijn doordat metingen die equivalent zijn aan de geproduceerde modeluitvoer onmogelijk zijn om uit te voeren. Gebruikers van modeluitvoer weten doorgaans wel dat modellen geen perfecte voorspellers zijn, en dat de nauwkeurigheid van een model ook niet altijd bekend is. Dit wordt soms 'onzekerheid' genoemd. Er is echter geen duidelijke richtlijn om die onzekerheid van modeluitvoer vast te stellen.

In het rapport *"Naar een conceptuele basis voor omgaan met onzekerheid in stromingsmodellen van Rijkswaterstaat"* (Berends & Diermanse, 2021) wordt beschreven waarom en hoe onzekerheid een rol speelt bij RWS stromingsmodellen, om vervolgens te komen tot een praktische basis om onzekerheid in de praktijk te beoordelen. We stellen ons hierbij niet tot doel om een leidraad te geven voor een systematische verkenning van onzekerheden, maar om te komen tot een gestandaardiseerde documentatie van onzekerheidstesten op basis van een praktisch toepasbare conceptuele basis. Hieronder volgt een korte samenvatting van de hoofdbevindingen in dit rapport.

5.3.2 Een praktische definitie van modelonzekerheid

De (on)-nauwkeurigheid van modellen wordt ook wel 'onzekerheid' genoemd, waarmee wordt bedoeld dat modelvoorspellingen kunnen afwijken van de werkelijkheid, en dat de grootte van deze afwijking niet of slechts ten dele bekend is. In dit document noemen we de afwijking tussen model en werkelijkheid totale onzekerheid. In dit hoofdstuk wordt deze totale onzekerheid uitgesplitst in twee componenten : voorspelonzekerheid en modelonzekerheid.

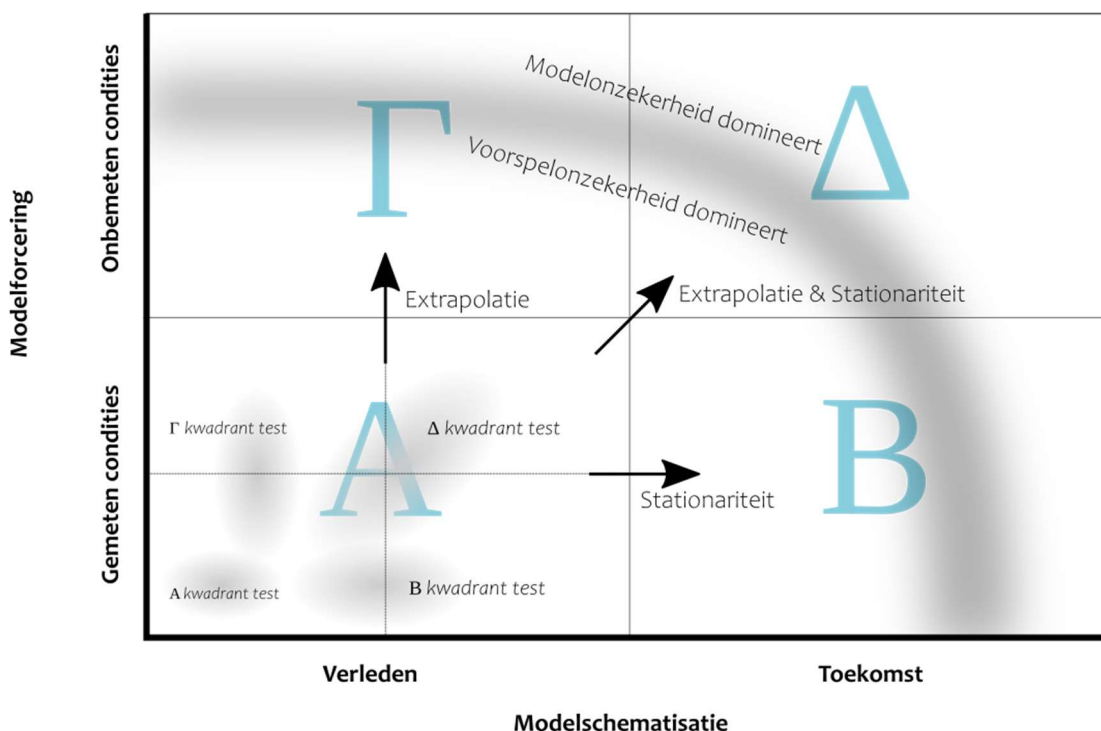


Figuur 5-3 Het verschil tussen model-, voorspel- en totale onzekerheid. In dit voorbeeld kunnen de assen worden geïnterpreteerd als rivierafvoer op de horizontale as en waterstand op de verticale as (naar Berends & Diermanse, 2021). In het middelste plaatje wordt met "Model met andere instellingen" ook modellen met andere randvoorwaarden bedoeld alsook andere parameter instellingen.

5.3.3 De onzekerheidsmatrix

Riviermodellen worden gebruikt voor verschillende toepassingen, zoals het (real-time) voorspellen van waterstanden in de nabije toekomst, het simuleren van het effect van (geplande) veranderingen in het systeem, of het bestuderen van het systeemgedrag. Voor sommige van deze

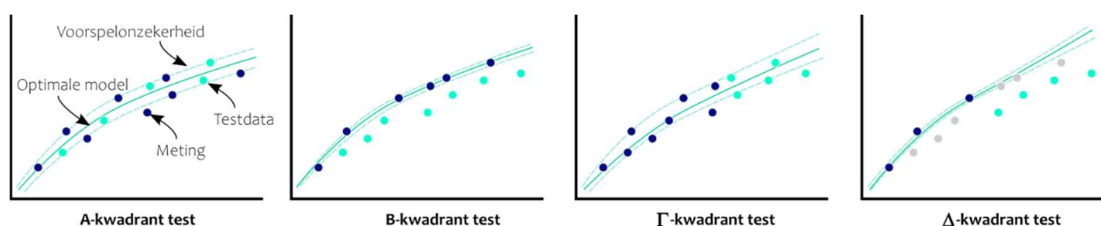
toepassingen zijn metingen beschikbaar; voor andere niet. Het hangt dus van de toepassing af, wat voor soort onzekerheid een rol speelt. Om hier handen en voeten aan te geven, adopteren we de *onzekerheidsmatrix* waarin de verschillende toepassingen kunnen worden getekend (Figuur 5-4).



Figuur 5-4 De onzekerheidsmatrix (naar Berends & Diermanse, 2021)

5.3.4 Het toetsen van de voorspelonzekerheid

Modellen kunnen enkel getoetst worden in het A-kwadrant, omdat enkel daar gegevens beschikbaar zijn. Er zijn echter wel degelijk methodes om te testen wat de voorspelonzekerheid is bij toepassing in de overige kwadranten, door binnen kwadrant A de beschikbare data te splitsen in een set waarop het model wordt geconditioneerd (gekalibreerd) en een set waarop het model wordt getoetst. De wijze van het splitsen van de data bepaalt voor welke toepassing het model getest wordt. Deze testen zijn schematisch weergegeven in Figuur 5-5.



Figuur 5-5 Door de data op te splitsen kan getest worden voor verschillende toepassingen.

5.3.5 Een standaard modelbijlage voor riviermodellen

De doelstelling van een modelbijlage is het inzichtelijk ontsluiten van beschikbare informatie over modelnauwkeurigheid- en onzekerheid voor gebruikers, door het opstellen van een gestandaardiseerd formulier dat inhoudelijk verbonden is aan het bovengenoemde terminologisch raamwerk.

Om tot een geordende opsomming van informatie te komen, stellen we de volgende onderdelen voor:

- Een modelinformatieformulier, waarbij ten minste wordt opgenomen:
 - De naam en versie van het model
 - De software waarmee het model is getest
 - Referenties naar de documentatie van het model
- Een overzicht van testen, waarbij per test ten minste wordt opgenomen:
 - Welke uitvoervariabele getest/gekwantificeerd word
 - Voor welk gebruik getest wordt, gelinkt aan een van de kwadranten in de onzekerheidsmatrix.
 - Op welk bereik getoetst is en met welke dataset
 - De uitkomst van de test

5.3.5.1 Voorbeeld: het Maasmodel

In verschillende rapporten over het Maasmodel zijn testen uitgevoerd die uitspraken doen over de modelnauwkeurigheid (voorspelonzekerheid). Deze testen zijn geïnterpreteerd in het kader van bovengenoemde onzekerheidsmatrix. Een samenvatting van deze resultaten wordt weergegeven in onderstaande tabellen (voor meer details zie Berends & Diermanse, 2021)

Tabel 5-1 Modelinformatieformulier van dflowfm2d-maas_6. Deze informatie is ook (deels) opgenomen in de factsheets.

Algemene informatie	
Naam	dflowfm2d-maas_6*
Versie	1a
Te gebruiken met software versie(s)	D-HYDRO 2021-04 of hoger***
Gebaseerd op database	De baseline-maas_6* familie
Randvoorwaardemodellen	RGWM 2.2.1 Qf relatie Eijdsen**
Documentatie	Ontwikkeling: Deltares rapport 11200569-003-ZWS-0014 Actualisatie j19: 11206813-002-ZWS-0021

Tabel 5-2 Overzicht van de onzekerheidstesten met het Maasmodel

Test id	Kwadrant	Omschrijving en testvariabele	Type onzekerheid
#1	A-kwadrant test	Waterstand op LMW stations bij lage afvoer	Voorspelonzekerheid
#2	A-kwadrant test	Waterstand op LMW stations bij middellage afvoer	Voorspelonzekerheid
#3	B-kwadrant test	Waterstand op LMW stations bij middelhoge afvoer	Voorspelonzekerheid
#4	B-kwadrant test	Waterstand op LMW stations bij hoge afvoer	Voorspelonzekerheid
#5	A-kwadrant test	Waterstand op LMW stations bij zeer hoge afvoer	Voorspelonzekerheid
#6	Δ-kwadrant verkenning	Waterstand op LMW stations bij extreme afvoer	Voorspelonzekerheid
#7	Γ-kwadrant verkenning	Waterstand op LMW stations bij extreme afvoer	Voorspelonzekerheid

Tabel 5-3 Details van Test #1 van onzekerheidstesten voor het Maasmodel. Voor de overige testen zie Berends & Diermanse (2021)

Test #1	
Doel	De nauwkeurigheid vaststellen waterstanden op LMW locaties
Type test	A-kwadrant test
Type onzekerheid	Voorspelonzekerheid van deterministisch model
Grootheid	Waterstanden op LMW stations
Testperiode	Juli 2014
Bereik	0 m ³ s ⁻¹ t/m 100 m ³ s ⁻¹
Testresultaat	Bias: 4.8 cm Standaarddeviatie: 9.1 cm
Documentatie	"Validatie L" 11200569-003-ZWS-0014, hoofdstuk 5

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 hoe er met verschillende zaken rekening is gehouden. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op een aantal aspecten dat 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 voor schematisaties wordt gehanteerd. Met een eenduidige naamgeving kunnen direct vanuit de naam van een schematisatie of schematisatie-onderdeel de belangrijkste eigenschappen (type, gebied, situatie, generatie, versie) worden afgelezen.

Voor de naamgeving van de modellen wordt gebruik gemaakt van het richtlijn document van RWS waarin de gewenste naamgeving conventies voor RWS modellen zijn beschreven (zie bijlage G).

De richtlijnen betreffen o.a. afspraken over de naamgeving van:

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

In de naamgeving van modelschematisaties die afgeleid zijn uit een specifieke gebiedsschematisatie (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.

6.3 Mappenstructuur

Hieronder volgt een voorbeeld van de mappenstructuur met bijbehorende naamgeving zoals deze wordt aangehouden bij de uitgeleverde modellen. Uitgangspunt hierbij is een model dat geschikt is voor het uitvoeren van meerdere simulaties met effectief bestandsbeheer en toepasbaar binnen de Sommen Generator WaterModellen (SGWM) van RWS.

De onderstaande mappenstructuur wordt geplaatst in de map. Merk op dat de dflowfm2d-schematisatiename altijd is opgebouwd uit de baseline-schematisatiename met een achtervoegsel a, b, ...

```
/baseline/maas/j11_6-v1/modellen/dflowfm2d/j11_6-v1a/
```

Voor de opbouw van bestanden vanuit Baseline-NL staat dit uitgebreider beschreven in Spruyt & Hoefsloot (2019).

```
/baseline/nl/j19_6-v1/modellen/  
    ' baseline/maas/j19_6-v1/...
```

In de mappenstructuren is niet verwerkt welk versienummer van de (D-HYDRO) software gebruikt dient te worden voor de berekening.

6.3.1 Hoofdstructuur

De hoofdstructuur bestaat uit de volgende mappen:

➤ boundary_conditions	<i>Randvoorwaarden (BC)</i>
➤ computations	<i>Hier worden alle berekeningen uitgevoerd</i>
➤ general	<i>Algemene bestanden die in alle simulaties gebruikt worden en niet afkomstig zijn uit Baseline</i>
➤ geometry	<i>Alle (geometrische) bestanden die afkomstig zijn uit Baseline</i>
➤ initial_conditions	<i>Initiële condities</i>
➤ rtc	<i>Realtime-control sturing.</i>

- De geometry map komt voor de meeste modellen direct uit Baseline. De weergegeven structuur wordt door Baseline 6 uitgevoerd.
- Als een handmatige correctie nodig is van de geprojecteerde gebiedsschematisatie (liever niet) en deze correctie is specifiek voor de modelschematisatie, dan wordt dat binnen de (submap in de) geometry map gedaan. Het aangepaste bestand krijgt het achtervoegsel '_corr' (corrected). Het oorspronkelijk bestand blijft ook bestaan.
Bijvoorbeeld:
 - fixed_weirs_corr.xyn
- Handmatig aanvullingen (zoals uitvoerlocaties) die niet schematisatie-afhankelijk zijn en niet in Baseline (kunnen) worden verwerkt, worden toegevoegd aan de general map. In de naamgeving wordt zoveel mogelijk aangesloten bij de beschrijvende bestandsnamen vanuit Baseline.
Bijvoorbeeld:
 - NR_922.3_L_ST_Stuw-Amerongen-vizierboog-zuid.pli

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 en waarmee ook bij de opslag van de modelschematisaties rekening wordt gehouden.

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

- Ontwikkeling (kalibratie/validatie)
- Kwaliteitsborging (aanvullende verificatie en testen, bijvoorbeeld hoekpunten analyse)
- 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.informatiehuisswater.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) (www.waterveiligheidsportaal.nl), waar onder andere het Nationaal Basisbestand Primaire Waterkeringen (NBPW) onder valt.

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). 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 Kennisfaciliteit Datamanagement

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.

6.5.5 Helpdesk Water

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 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 beoordeling van de aanvraag door de verantwoordelijke kerngebruiker(s) bij RWS, kan de betreffende schematisatie vervolgens wel of niet worden uitgeleverd.

6.6 Opslag van RWS Watermodellen en Gebiedsschematisaties in Subversion bij Deltares

Met de ontwikkeling van de zesde generatie modelschematisaties en gebiedsschematisaties worden er veel nieuwe stappen gezet richting de realisatie van een state-of-the-art modelinstrumentarium voor Rijkswaterstaat. De modelschematisaties van deze watersystemen sluiten naadloos op elkaar aan. Daarmee wordt het mogelijk om op termijn één model voor het gehele hoofdwatersysteem te ontwikkelen.

Nadat de ontwikkelingen zijn afgerond dienen de model- en gebiedsschematisaties op gedegen en overzichtelijke wijze te worden gearhiveerd – zodat het reproduceerbaarheid, consistentie en toepasbaarheid gegarandeerd blijft. De archivering en uitlevering van model- en gebiedsschematisaties van Rijkswaterstaat is belegd bij Deltares en wordt gefaciliteerd via de Helpdesk Water. Tot op heden gebruikt Deltares voor het beheer en onderhoud aan de model- en gebiedsschematisaties van RWS het versiebeheersysteem Subversion in combinatie met het JIRA-issue tracking systeem. Ook voor de zesde generatie wordt dit systeem beoogd, echter de nieuwe opzet vanuit een landelijk model en het werken vanuit een Baseline-boom voor heel Nederland, vraagt een nieuwe opzet voor de opslagstructuur van de model- en gebiedsschematisaties van de zesde generatie.

Details over de opslagstructuur zijn opgenomen in Appendix H.

7 Referenties

- Berends, K. and Diermanse, F. (2021) Naar een conceptuele basis voor omgaan met onzekerheid in stromingsmodellen van Rijkswaterstaat, Deltares rapport 11206813-018-ZWS-0003, december 2021
- Deltares (2017): Horizontal eddy viscosity settings for the 6th generation models, Deltares memo 11200569-003-ZWS-0013
- Deltares (2020). Werkplan inbeheername beheergebiedsoverschrijdende watermodellen. Deltares rapport 11203707-000-ZWS-0014, juni 2020
- Deltares (2021a) Opzet structuur G6 repository, Deltares memo 11206814-002-ZKS-0001, oktober 2021
- Deltares (2021b) Toepassingsadvies D-Waves, Deltares memo 11206814-005-ZKS-0003, oktober 2021
- Doornik, W. van, (2020) Baseline-NL-Land, Lievense Documentcode: WAB011734.RAPP001
- Goede, E. de (2015): Stand van zaken postprocessing voor D-Flow Flexible Mesh per april 2015. Deltares memo 1205718-000-DSC-0123
- Jong, J.S. de (2017). Aanbevelingen op bodemhoogteschematisatie in D-HYDRO. Deltares memo 11200569-003-ZWS-0012
- 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.W.J., van Dam, A., Stelling, G.S., and de Goede, E.D. (2011) Efficient scheme for the shallow water equations on unstructured grids with application to the Continental Shelf, Ocean Dyn., vol. 61, no. 8, pp. 1175–1188
- Kernkamp, H.W.J, Petit, H.A.H., Gerritsen, H., de Goede, E.D. (2005) A unified formulation for the three-dimensional shallow water equations using orthogonal co-ordinates: theory and application. Ocean Dynamics volume 55, pages 351–369.
- 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 12th UnTRIM User Workshop, 19 mei 2015
- Prinsen, G. (2021). Landelijk Sobek Model LSM3 - Update en verificatiesom 2018. Deltares rapport 11206813-016-ZWS-0009_v1.0
- RWS (2012): Memo Naamgeving conventies modellen Rijkswaterstaat, Versie 1,0, februari 2012
- RWS (2019): Rivierkundig Beoordelingskader versie 5.0, juni 2019.
- 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. & Hoefsloot, F. (2019). Plan van Aanpak Baseline-NL. Deltares rapport 11203714-013-ZWS-0010 i.s.m. LievenseCSO

- 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
- Spruyt, A., Minns, T., Zijl, F., Genseberger, M., Yossef, M., van der Kaaij, T., de Goede, E. (2017) Ontwikkeling zesde-generatie modellen met D-HYDRO: Generieke technische en functionele specificaties. Deltares rapport 11200569-000-ZWS-0028
- Sterl, A. (2017) Drag at high wind velocities - a review, KNMI Technical Report TR-361, De Bilt
- Sterl, A. (2018) On the added value of coupled wind-wave-current modelling, KNMI Technical report TR-365. De Bilt.
- 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
- Tiessen, M., de Goede, E., Groenenboom, J., Zijl, F., Winter, G., Kranenburg, W. (2018) Onderzoek naar Nauwkeurigheid voor Zoutindringing met D-HYDRO, Deltares rapport 11202219-006-DSC-0008
- 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. ; Wijnbenga, J.H.A. (2005). Eddy viscositeit in WAQUA modellen voor Rijnakken en Maas. WL Delft Hydraulics, Report Q3846.
- Wesselijs, W. & A Fujisaki (2020): Landelijk SOBEK model in SOBEK3 (LSM3) - Modelbouw en verificatiesom 2003. Deltares rapport 11203714-012-ZWS-_v0.2
- Yossef, M. F. M. (2005). Morphodynamics of rivers with groynes. (Ook verschenen als proefschrift Technische Universiteit Delft, 2005 PhD), DUP Science, Delft

A Programma van eisen zesde generatie Watermodellen 2D en 3D

A.1 Eisen voor het gehele modelsysteem

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.

A.1.1 Algemene eisen

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.

A.1.2 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.

A.1.3 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 lineair, 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.

A.1.4 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.

A.1.5 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 Rijn 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 begrenzingen 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. Dit punt is strikt genomen geen functionele eis maar wel een belangrijk/gewenst punt.

A.1.6 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.

A.1.7 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).

A.1.8 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.

A.2 Gebiedsindeling en eisen per gebied

De hoofdingdeling van gebieden 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 hoofdstukken hieronder wordt per hoofdgroep en watersysteem een nadere detaillering van de eisen vanuit RWS gegeven.

A.2.1 Maas

Onderwerp	Eisen
Toepassing	Vergunningverlening Planologische scenario's: Effectstudies, verkenningen, toetsen maatregelen Waterveiligheid: HR, OR, instellen kunstwerken, advies hoogwaterveiligheid Waterverdeling: inzet retentiegebieden, instellen kunstwerken Scheepvaart: baggerstrategie, dwarsstroming, vaardiepte Afleiden basisgegevens waterbeheer, zoals betrekkinglijnen. Beantwoorden dagelijkse vragen In de toekomst wellicht operationele verwachtingen
Interessegebied	Het gehele gebied
Processen	Debiet (waterbalans) Waterstand: dagelijks, hoog, extreem hoog, laag, extreem laag (if data permits) Stroomsnelheid en -richting Zowel afvoergolven als stationaire afvoeren
Rekenrooster	Resolutie zomerbed ongeveer 40 meter in lengte Inlaat retentie gebieden Stroomgeleidingskaden Invaart van aangetakte plassen Het moet mogelijk zijn om het gebied automatisch met een factor te kunnen verfijnen
Kalibratieperioden	Zo recent mogelijke perioden Zo veel mogelijk rekening houden met, dezelfde, perioden in andere gebieden In ieder geval de hoog waters van 1995 (kalibratie) en 1993 (validatie) Lage en hoge afvoer omstandigheden
Kalibratie	Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen. 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. Kalibreren op verschillende omstandigheden (van een lage tot hoge afvoer). 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 Wens: gelijkmatig verloop van kalibratiefactoren 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.
Validatie	Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen. Een gemiddelde afwijking (GV of BIAS) per station van plus of min 0,05 meter is heel goed, 0,10 meter is goed. Een gemiddelde afwijking (GV of BIAS) over alle stations van plus of min 0,05 meter is heel goed, 0,10 meter is goed. Afvoeren Stroomsnelheden
Berekening	Actueel en robuust zijn van belang en nauwkeurigheid iets minder en rekensnelheid nog iets minder Maximaal 10 uur voor een deelmodelgebied (eis voor vergunningverlening)
Overig	geschikt voor zout geschikt voor temperatuur geschikt voor 3d toepassingen door middel van hetzelfde rooster waaraan het benodigde aantal lagen worden toegevoegd geschikt voor koppeling met morfologie geschikt voor koppeling met stofverspreiding geschikt voor koppeling met waterkwaliteit

Onderwerp	Eisen
Toepassingen	Waterveiligheid: HR, OR, advies hoogwaterveiligheid, hoogwaterberichtgeving, beheer en onderhoud kust Scheepvaart: baggerstrategie, dwarsstroming, vaardiepte, tijpoorten, baggeren en storten Calamiteit: overstroming, verontreiniging, Search and Rescue Planologische scenario's: Effectstudies, verkenningen, toetsen maatregelen Beantwoorden dagelijkse vragen Aanleveren randvoorwaarden voor 3D model RMM tbv kierbesluit Haringvliet en vervanging van het OSR tbv 3D stroom informatie
Interessegebied	De Nederlandse kustzone, Waddenzee, Eems-Dollard, Westerschelde, Oosterschelde, Nieuwe Waterweg
Processen	Waterstand: getij, dagelijks, hoog, extreem hoog, laag, extreem laag Stroming (snelheid en richting) Wind Golven Zout
Rekenrooster	Resolutie in Waddenzee en Eems-Dollard voldoende om water en sedimentuitwisseling op de platen te laten plaatsvinden, orde 100-200 meter Voor WBI toepassingen is een fijnere resolutie noodzakelijk, nog af te stemmen Inlaat retentie gebieden Locatie Oosterscheldekering, Haringvlietstuizen, Maeslantkering, Hartelkering, Hollandsche-IJsselkering, Ems-Sperwerk Het moet mogelijk zijn om het gebied automatisch met een factor te kunnen verfijnen
Kalibratieperioden	Zo recent mogelijke perioden Zo veel mogelijk rekening houden met, dezelfde, perioden in andere gebieden In ieder geval de Sinterklaasstorm van december 2013
Kalibratie	Eerst het noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen (denk ook aan zoetwater) Reststroom (richting en orde grootte) Kalibratie van het getij, over een geheel jaar Waterstanden kalibreren op basis van een kalibratiefactor over de ruwheden van delen van het gebied. Nog vaststellen welke delen dat zijn Kalibreren op verschillende omstandigheden. Als eerste de gemiddelde afwijking per station van de waterstand in de te beschouwen periode tussen -0,05 en 0,05 m. Wens: gelijkmatig verloop van kalibratiefactoren 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.
Validatie	Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen. Een gemiddelde afwijking per station van 0,05 meter is heel goed, 0,10 meter is goed. Een gemiddelde afwijking over alle stations van 0,05 meter is heel goed, 0,10 meter is goed. Validatie getij Validatie stormen Validatie stroomsnelheden en richting Validatie laag- en hoogwater
Acceptatiemodel	voor slibverspreiding en primaire productie (3D) Online koppeling slibmodellering Offline koppeling slibmodellering Online koppeling primaire productie Offline koppeling primaire productie Waterstanden Modellering getij Stroming kan waarschijnlijk niet. De ROFI is belangrijk maar er is waarschijnlijk onvoldoende informatie hoe de ROFI er uit moet zien.
Berekening	Actueel en robuust zijn van belang en nauwkeurig en snelheid iets minder
Overig	geschikt voor 3d toepassingen door middel van hetzelfde rooster waaraan het benodigde aantal lagen worden toegevoegd geschikt voor temperatuur geschikt voor koppeling met golven geschikt voor koppeling met morfologie geschikt voor koppeling met stofverspreiding geschikt voor koppeling met waterkwaliteit Jaarlijkse variaties gemiddelde waterstand tussen Kanaal en Atlantische randen van de Noordzee en Nederlandse kust t.b.v. nutriëntinvoer vanuit het oceaen Estuariene circulatie t.b.v. zoutverspreiding en slibverspreiding 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

A.2.3

Markermeer en Veluwerandmeren

Onderwerp	Eisen
Toepassing	Waterveiligheid: HR, OR, advies hoogwaterveiligheid, hoogwaterberichtgeving Waterverdeling: peilbeheer, instellen kunstwerken Scheepvaart: baggerstrategie, Calamiteit: overstroming, verontreiniging Planologische scenario's: Effectstudies, verkenningen, toetsen maatregelen Beantwoorden dagelijkse vragen
Interessegebied	Het Markermeer (met nadruk de oeverzones), IJmeer, Eemmeer en Eem, Veluwerandmeren
Processen	Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen Waterstand: dagelijks, hoog, extreem hoog, laag, extreem laag Stroomsnelheid Wind Golven Waterbalans
Rekenrooster	Resolutie in midden Markermeer kan minder dan de oeverzones, Het moet mogelijk zijn om het gebied automatisch met een factor te kunnen verfijnen Locatie kunstwerken: Houtribspuisuis,
Kalibratieperioden	Zo recent mogelijke perioden Zo veel mogelijk rekening houden met, dezelfde, perioden in andere fysisch vergelijkbare(?) gebieden In ieder geval de Sinterklaasstorm van december 2013
Kalibratie	Eerst debiet en waterbalans zo goed mogelijk op orde brengen Stroomsnelheden bij verschillende windperioden (afhankelijk van beschikbare metingen) Waterstanden beoordelen tijdens stormperioden 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 Kalibreren op verschillende stormen. Als eerste de gemiddelde afwijking per station van de waterstand in de te beschouwen periode tussen -0,05 en 0,05 m. Wens: gelijkmatig verloop van kalibratiefactoren 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.
Validatie	Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen. Een gemiddelde afwijking per station van 0,10 meter is heel goed, 0,20 meter is goed. Een gemiddelde afwijking over alle stations van 0,10 meter is heel goed, 0,20 meter is goed. Validatie stormen Validatie stroomsnelheden Validatie laag water
Berekening	Actueel, robuust en nauwkeurig zijn van belang, rekensnelheid iets minder
Overig	geschikt voor 3d toepassingen door middel van hetzelfde rooster waaraan het benodigde aantal lagen worden toegevoegd geschikt voor temperatuur geschikt voor koppeling met golven geschikt voor koppeling met morfologie geschikt voor koppeling met stofverspreiding geschikt voor koppeling met waterkwaliteit

A.2.4

IJsselmeer

Onderwerp	Eisen
Beoogde toepassingen	verbetering zoutmodellering IJsselmeer door zomer 2018 na te rekenen evaluatie droogte 2018
Verwachte situaties	Narekenen periode zomer/najaar 2018 en evaluatie naast metingen
Benodigde functionaliteiten	Vanwege zwak dynamisch systeem: 3D met z-lagen Aanvoer van water en zout via tijdreeksen bij de spuisluizen (lekken), in deze fase geen kunstwerkmodellering Lozingen en onttrekkingen: forcering met tijdreeksen van Q en S Afvoer van water en zout via tijdreeksen bij de spuisluizen (spuien)), in deze fase geen kunstwerkmodellering Forcering met tijdreeksen van Q en/of opgetreden hefhogtes Model zelf te berekenen bijbehorende laagverdeling en invloed op S Realistische windforcering Realistische initiële situatie (3D zoutstructuur) Lateralen: lozingen en onttrekkingen waterschappen, op basis van reeksen van Q en S Rivierafoer Verdamping en neerslag Schutsluizen: te forceren met tijdreeksen van Q, waterstanden en S (?) Aandachtspunt bij narekenen: waterbalans en zoutbalans Op termijn kunstwerken voor de doorlaat middelen (spuisluizen)

Onderwerp	Eisen
Toepassing	Waterveiligheid: Peilbeheer en aansturing kunstwerken, HR, OR, advies hoogwaterveiligheid, hoogwaterberichtgeving, beheer en onderhoud kunstwerken Calamiteit: overstroming, verontreiniging, Search and Rescue Waterverdeling: instellen kunstwerken, hoogwater Scheepvaart: baggerstrategie, baggeren en storten Planologische scenario's: Effectstudies, verkenningen, toetsen maatregelen Beantwoorden dagelijkse vragen
Interessegebied	Gehele gebied met extra nadruk op de Oosterscheldekering
Processen	Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen. Waterstand: getij, dagelijks, hoog, extreem hoog, laag, extreem laag Stroomsnelheid Wind Golven Zout
Rekenrooster	Locatie Oosterscheldekering Het moet mogelijk zijn om het gebied automatisch met een factor te kunnen verfijnen Verbinding met Veerse Meer via de Katse Heule Kanaal door Zuid Beveland Krammersluizen, Bergse Diepsluis(?), Flakkeese spuisluis (?), Rammegors
Kalibratieperioden	Zo recent mogelijke perioden Zo veel mogelijk rekening houden met, dezelfde, perioden in andere gebieden In ieder geval de Sinterklaasstorm van december 2013 Een periode met een sluiting van de Oosterscheldekering Oostenwind is ook relevant, WBI
Kalibratie	Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen (denk ook aan zoet water) Reststroom (kalibreren op richting en ordegrootte) Kalibratie van het getij Kalibratie van lekopening Waterstanden kalibreren op basis van een kalibratiefactor over de ruwheden van delen van het gebied. Nog vaststellen welke delen dat zijn Kalibreren op verschillende omstandigheden. Als eerste de gemiddelde afwijking per station van de waterstand in de te beschouwen periode tussen -0,05 en 0,05 m. 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. Wens: gelijkmatig verloop van kalibratiefactoren
Validatie	Eerst noodzakelijk debiet zo goed mogelijk op orde brengen (denk ook aan zoet water) Een gemiddelde afwijking per station van 0,05 meter is heel goed, 0,10 meter is goed. Een gemiddelde afwijking over alle stations van 0,05 meter is heel goed, 0,10 meter is goed. Validatie getij Validatie stormen Validatie stroomsnelheden Validatie laag water Validatie sluiting
Berekening	Actueel, robuust en nauwkeurig zijn van belang boven rekensnelheid
Overig	geschikt voor 3d toepassingen door middel van hetzelfde rooster waaraan het benodigde aantal lagen worden toegevoegd geschikt voor temperatuur geschikt voor koppeling met golven geschikt voor koppeling morfologie geschikt voor koppeling met stofverspreiding geschikt voor koppeling waterkwaliteit

A.2.6

Haringvliet

Onderwerp	Eisen
Beoogde toepassingen	Lerend implementeren Kier, behoefte aan 3D model ter ondersteuning van de onderzoeken Formuleren en semi-kwantitatief onderbouwen van hypothesen Analyse van de experimenten door ze na te rekenen Nog niet bemeten situaties berekenen t.b.v. opstellen/aanscherpen beheerregels Haringvlietssluisen
Benodigde functionaliteiten	Vanwege aanwezigheid diepe putten (> 30 m diep): 3D met z-lagen narekenen van opgetreden situaties realistische initiële situatie (3D zoutstructuur, initiële stroomsnelheden lijken niet nodig in deze situatie (rivierafvoer)?) realistische randen (3D zoutstructuur i.c.m. debiet, waterstanden, en snelheden) realistische windforcering (ruimtelijk variërend niet per se nodig?) aansturen schuifopeningen met tijdsreeksen hefhogtes berekenen van scenario's. De scenario's hebben betrekking op: instellingen van de Haringvlietssluisen Initiële situaties t.a.v. zout (ruimtelijke 3D structuur) Realistische of geïdealiseerde windforcering
Fasering in complexiteit	Eerst situaties met gesloten sluisen Op de plek van de sluisen een gesloten rand Daarna situaties met Haringvlietssluisen volgens huidig beheer (alleen open bij eb). Er wordt (nog) niet gekeken naar de zeekant Rand wordt beschouwd als debietranden of onttrekkingen. Hoe zit het met verdeling onttrekkingen/lagen? En gelaagdheid? Situaties met Haringvlietssluisen ook bij vloed open komen in de loop van 2019 gewenst 3D aan beide kanten van de sluisen In kunstwerk zelf is 3D benadering wellicht niet nodig (?) (te bevestigen met zoutmetingen die in een kolk zullen worden uitgevoerd). Kunstwerk moet wel water uit/naar de relevante lagen halen en leveren Aansturing Haringvlietssluisen op basis van tijdreeksen, maar op termijn wel op basis van waterstanden binnen en buiten
Acceptatiemodel	Inlaatproef 1997 Periode van 10 dagen Uitgebreid bemeten (vast en varend) Ook berekend met OSR Vereist: Realistische windforcering Aansturing Haringvlietssluisen met tijdreeksen hefhogtes Forcering aan rivieranden met opgetreden afvoer- en/of waterstandreeksen Uit ervaring met OSR, forcering zeeranden met 3D randvoorwaarden (stroomsnelheden en zout, aangevuld her en der met waterstanden)

A.2.7

Noordzeekanaal & Amsterdam-Rijnkanaal

Onderwerp	Eisen
Beoogde toepassingen	evaluatie en verbetering model Arcadis t.b.v. harmonisatie 3D 6e generatie modellen kennisontwikkeling systeemwerking NZK/ARK t.b.v. peil- en zoutbeheer (opdracht van RWS West-Nederland Noord)
Benodigde functionaliteiten	Vanwege zwak-dynamisch systeem: 3D met z-lagen
Verwachte situaties	Narekenen van opgetreden situaties, vooral periodes waarbij 100-punt metingen zijn uitgevoerd (2015, 2017, 2018) Forcering met tijdreeksen van afvoer (gemaal, schutsluisen), wellicht waterstanden, en zout (ook met structuur over de verticaal bij schutsluisen) bij IJmuiden Forcering met tijdreeksen van afvoer, bij Irenesluisen en Beatrixsluis Forcering bij Oranjsluisen? Realistische initiële situatie (3D zoutstructuur) Forcering lateralen met reeksen van afvoer, saliniteit en temperatuur (warmtelozingen havens NZK) Realistische windforcering Verdamping en neerslag (t.b.v. realistisch peil) Warmtemodel (warmte-uitwisseling atmosfeer t.b.v. warmtelozingen) Aandachtspunt bij narekenen 2018: bellenscherm aanwezig. Hoe hiermee om te gaan? Aandachtspunt bij narekenen: waterbalansen zoutbalans
Acceptatiemodel	warmtelozingen in havenbekkens NZK en zout bij meetpunten Situatie: nog nader te bepalen

Onderwerp	Eisen
Beoogde toepassingen	systeemwerking na realisatie doorlaatmiddel Brouwersdam t.b.v. peilbeheer en gezonde waterkwaliteit verkenning mogelijkheid om peil te corrigeren voor scheefstand (stormopzet) WBI
Verwachte situaties	WBI sommen Narekenen van opgetreden situaties Scenario's berekenen situatie na realisatie doorlaatmiddel Brouwersdam en scenario's peilbeheer
Benodigde functionaliteiten	Vanwege zwak dynamisch systeem: z-lagen Temperatuurmodellering (geen lozing, alleen onder invloed van atmosferische forcering) Realistische windforcering Realistische initiële situatie (3D zoutstructuur, temperatuur) Doorlaatmiddel Brouwersdam, Brouwerssluis en wellicht aanvoer via Flakkeese Spuisluis: forcering Q, T, en S met tijdreeksen, en bijbehorende verdeling naar z-lagen Uitstroom Flakkeese Spuisluis (en wellicht doorlaatmiddel Brouwersdam en Brouwerssluis): negatieve debietrand en/of onttrekking, en bijbehorende laagverdeling en invloed op temperatuur en saliniteit Lateralen (gemalen waterschappen) te forceren met reeksen van Q, T, en S, en bijbehorende laagverdeling Verdamping en neerslag Koppeling (online en offline) met WAQ t.b.v. modellering zuurstof, wellicht meer Aandachtspunt bij narekenen: waterbalans Op termijn is ook de werking van kunstwerken voorzien (doorlaat Brouwersdam)
Acceptatiemodel	Ontwikkeling zout en temperatuur gelaagdheid bij zwak dynamisch systeem onder invloed van atmosferische forcering Aan de hand van VTSO metingen en vergelijking met Delft3D Online koppeling zuurstofmodellering Aan de hand van VTSO metingen en vergelijking met Delft3D Offline koppeling zuurstofmodellering Aan de hand van VTSO metingen en vergelijking met Delft3D

B 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 verdringsreeks, 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 SLA Crisismanagement (overeenkomst tussen I&W 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 5.0 uit 2019.



Fig. B-1 Het Rivierkundig Beoordelingskader beschrijft hoe Rijkswaterstaat ingrepen rivierkundig beoordeelt. Het betreft ingrepen die vallen onder het regime van de Waterwet. (Bron: RWS, 2019)

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.

B.7.1 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.

B.7.2 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 Maasafvoercontract 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. Deze kaders worden in de volgende tabel samengevat.

Tab. B-1 Samenvatting van Europese kaders

Europese kader	Beschrijving
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 zwartlijststoffen 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	Richtlijn voor de eenduidige opslag voor data. Alle modeluitvoer zou in principe daar al zo veel mogelijk in moeten voorzien

C Basisinstellingen voor numerieke en fysische modelparameters

In de D-HYDRO 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-HYDRO 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 defaultwaarden van de D-HYDRO software. Dit zijn defaultwaarden 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 defaultwaarde voor de breedtegraad in D-HYDRO (Anglat) is 0.0° , wat correspondeert met de evenaar. Voor de zesde-generatie modelschematisaties wordt als basisinstelling een breedtegraad van 52.0° toegepast.

De basisinstellingen bestaan uit voornamelijk fysische en numerieke parameters. De basisinstellingen voor de fysische parameters (dichtheid van lucht, referentiedichtheid van water, enz.) zijn overgenomen uit SIMONA en Delft3D v4. De basisinstellingen voor de numerieke parameters (drempel voor droogval/onderlopen, advectionschema voor impulsvergelijkingen, enz.) zijn bepaald op basis van de ervaringen die met de D-HYDRO software is opgedaan.

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 hoeven te worden. Dit principe wordt ook in D-HYDRO toegepast.

C.1 D-HYDRO User Manuals en Technical Reference Manuals

Voor het opzetten van D-HYDRO modelschematisaties alsmede voor het draaien van modelsimulaties wordt de gebruiker verwezen naar de D-HYDRO User Manuals en Technical Reference Manuals. De meest recente versies van de D-Flow FM User Manual en Technical Reference Manual zijn te vinden op:

<https://www.deltares.nl/en/software/delft3d-flexible-mesh-suite/>

onder de knop "Download".

Voor een meer compleet overzicht van alle beschikbare User Manuals en Technical Reference Manuals ga naar:

<https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/>

C.2 Algemene aanpak voor keuze van parameters in zesde-generatie model

Een zesde-generatie model dient opgezet te worden met het DeltaShell Grafische User Interface (zie D-Flow Flexible Mesh – Delta Shell, User Manual). Per definitie bevat een model dan alleen

defaultwaarden voor de keywoorden. Vervolgens kan hiervan afgeweken gaan worden, wat uiteengezet wordt in de twee volgende secties.

De keywords in de master definition file die gegenereerd worden door het DeltaShell GUI worden opgesomd in Appendix A.1 van de D-Flow FM User Manual.

Voor ieder keyword staat de defaultwaarden gespecificeerd. De belangrijkste groepen zijn:

- [Geometry] over o.a het rooster, de locatie van de kunstwerken, overlaten, dunne dammen en cross-secties;
- [Numerics] met o.a de drempel voor droogval/onderlopen, advectionschema voor impulsvergelijkingen;
- [Physics] met o.a de coëfficiënten voor de horizontale viscositeit/diffusie.

Daarnaast zijn er ook keywords die niet door het DeltaShell Grafische User Interface worden gegenereerd maar wel door een modelleur aangepast mogen worden. Appendix A.2 van de D-Flow FM User Manual bevat een overzicht van deze keywords. Dit zijn vooral keywords voor 3D-modellering, waarvoor nog geen GUI ontwikkeld is.

Verder zijn er numerieke keywords die in principe niet door een modelleur aangepast mogen worden. Deze keywords worden opgesomd in Paragraaf 5.12 van de Technical Reference Manual van D-Flow FM (Deltares, 2019b). Dergelijke keywords zijn vaak geïntroduceerd bij de ontwikkeling van de rekenkern. Het is verstandig om in de invoerfile zo weinig mogelijk keywords te hebben.

Tab. C-1 Samenvatting van keyword definities locaties

Locaties van keyword definities	Beschrijving
Appendix A.1 van de D-Flow FM User Manual	keywords door GUI gegenereerd en via GUI aan te passen door gebruikers
Appendix A.2 van de D-Flow FM User Manual	keywords niet door GUI gegenereerd, maar handmatig aan te passen door gebruikers
Paragraaf 5.12 van de D-Flow FM Technical Reference Manual	keywords niet door GUI gegenereerd en in principe niet aan te passen door gebruikers

C.3 Afwijkingen van de basisinstellingen voor numerieke parameters

Voor 2D-toepassingen worden alle relevante numerieke defaultwaarden opgesomd in de hierboven genoemde paragrafen. Hiervan mag niet afgeweken worden. Tot nu toe is er ook geen aanleiding geweest om één van de numerieke parameters aan te passen.

Voor 3D-toepassingen worden alle relevante numerieke defaultwaarden opgesomd in de hierboven genoemde paragrafen. Hiervan mag in principe niet worden afgeweken. Dit is iets minder strikt in vergelijking tot 2D-modellering, omdat 3D-modellering nog niet formeel vrijgegeven is als 'general availability' software. Echter, de ontwikkeling is al dermate ver dat voor de numerieke 3D keywords (Vertadvtypmom, Vertadvtypsal, Vertadvtypstem, ..) niet van de defaultwaarde mag worden afgeweken. Wat nog wel in ontwikkeling is voor 3D, is hoe de verticale laagverdeling gespecificeerd dient te worden. Dit staat echter los van de numerieke keywords. Eventuele aanpassingen van de defaultwaarden zal plaatsvinden in overleg met de software-afdeling van Deltares.

C.4 Afwijkingen van de basisinstellingen voor fysische parameters

In tegenstelling tot bij de numerieke parameters, mag bij sommige fysische parameters wel worden afgeweken van de defaultinstellingen. Deze instellingen kunnen namelijk per gebiedstoepassing enigszins variëren.

Bij de huidige zesde-generatie modelschematisaties (Noordzee, estuaria, rivieren en meren) geeft de volgende tabel de gebruikte afwijkingen in de basisinstellingen ten opzichte van de defaultwaarden van de D-HYDRO software voor wereldwijde toepassingen:

Tab. C-2 Afwijkingen van basisinstellingen

Parameter	Toegestane afwijking
Getijopwekkende krachten = Tide Generating Forces (TGF)	Getijopwekkende krachten worden toegepast voor de Noordzee, maar niet voor rivieren en meren. Dit is een toegestane afwijking, omdat het voor de Noordzee relevant is en het effect hiervan voor rivieren en meren te verwaarlozen is. De effecten van Tide Generating Forces (TGF) hebben een amplitude van ca. 10 cm door het hele Noordzee model. Getijcomponenten met een Doodson Number van 55.565 tot 375.575 zijn meegenomen.
Interne golven	In de (2D) Noordzee modelschematisatie wordt het effect van het opwekken van interne golven meegenomen als bron van energie dissipatie die afhankelijk is van de lokale bathymetrie, lokale snelheden en de lokale diepte-gemiddelde Brunt-Väisälä frequentie (invoer).
Inverse barometercorrectie op open randen	Inverse barometercorrectie op open randen (PavBnd) wordt toegepast voor de Noordzee maar niet voor rivieren en meren. waar het niet relevant is.
Wind-drag formulering	Voor de Noordzee en RMM wordt de Charnock-formule toegepast (=4) Voor rivieren en meren wordt de Smith & Banke formulering toegepast (=2), of anders de RWS trapjeslijn methodiek dat gebruik maakt van opgegeven breakpoints.
Wind-drag coëfficiënten (Cdbreakpoints)	Voor de Noordzee, RMM en Waddenzee wordt de winddrag coëfficiënt consistent gekozen met het meteorologisch model dat voor de aansturing gebruikt wordt. In de praktijk betekent dit vaak het gebruik van een Charnock formulering voor het berekenen van de wind-drag coëfficiënten. In geval van aansturing met Harmonie wordt de windschuifspanning direct opgelegd.
Breedtegraad (Anglat)	De breedtegraad (Anglat) van zesde-generatie modelschematisaties is 52.0° en niet 0.0° (evenaar), wat de default is. Voor de Noordzee en Waddenzee, wordt de ruimtelijk afhankelijke breedtegraad van het rooster gebruikt.
Lengtegraad (AngLon)	De lengtegraad (AngLon) wordt alleen gebruikt in het heat-flux model. Om consistent te zijn met parameter settings gericht op Nederland zou een waarde van AngLon = 5 kunnen worden gebruikt (Default = 0.0).
Tzone	1 i.p.v. 0, om het mogelijk te maken data van verschillende tijdzones te gebruiken en het model in Nederlandse wintertijd (MET) te laten rekenen.
Uniforme bodemwrijving (UniFrictCoef)	De uniforme bodemwrijving (UniFrictCoef) is 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.
Andere afwijkingen voor (2D) DCSM-FM	BedlevUni = 5 (default = - 5) OpenBoundaryTolerance = 0.1 (default =3) Izbndpos = 1 (default = 0) RelativeWind = 1 (default = 0) RhoAir = 1.2265 (default = 1.205) Dtfacmax = 1.5 (default = 1.1)
PathsRelativeToParent	1 i.p.v. 0, zodat het model zonder wijzigingen in DeltaShell geïmporteerd kan worden.
Trachytopen (TrtRou)	Voor alle modellen behalve DCSM (Noordzee): Y i.p.v. N, omdat gebruik gemaakt wordt van trachytopen

Specifiek voor de RMM modelschematisatie zijn de volgende afwijkingen van toepassing.

Tab. C-3 Parameter afwijkingen voor RMM modelschematisatie

Groep	Keyword	Waarde en reden
physics	Salinity	1 i.p.v. 0, omdat het effect van zout op de waterstand wordt doorgerekend
physics	Temperature	1 i.p.v. 0, omdat het effect van temperatuur op de waterstand wordt doorgerekend
physics	InitialTemperature	9 i.p.v. 6, omdat dit de temperatuur is van het zeewater aan het begin van de kalibratieperiode
numerics	TransportMethod (*)	2 i.p.v. 1, het model wordt met een constant zoutveld doorgerekend (diagnostisch)
numerics	Zerozbninflowadvection (*)	1 i.p.v. 0, om een jet op de zuidelijke zeerand te voorkomen
numerics	Izbnpos	1 i.p.v. 0, omdat de randvoorwaarden zijn afgeleid op de modelrand waar ook de pli-file ligt
wind	Rhoair	1.2265 i.p.v. 1.205 (**)
time	DtUser	60 i.p.v. 300, om instabiliteit in de waterstanden als gevolg van te snel openende of sluitende keringen te voorkomen. Deze instabiliteit werd bij Gouda waargenomen als gevolg van de sluiting van de Hollandsche IJsselkering tijdens de Sinterklaasstorm in december 2013. Tevens is de tijdstap voor trachytopen standaard 60 seconden, welke een veelvoud van DtUser moet zijn (dus niet minder). De waarde van 60 seconden voor DtUser en DtTrt wordt ook gebruikt voor de modellen voor de Maas en Rijnakken.

C.5 Parameters voor 3D-modelschematisaties

Additionele keywords t.b.v. 2D- en 3D-modellering zijn beschreven in Appendix A.2 en A.3 van de D-Flow FM User Manual.

De huidige GUI van D-HYDRO kent alleen een beperkt aantal keywords voor 3D modellering zoals beschreven in Appendix A.2 van de User Manual. In deze appendix staat een tabel met keywords voor 3D modellering die nog niet in het GUI opgenomen zijn. Deze lijst kan in de toekomst verder uitgebreid worden n.a.v. ervaringen met het opzetten van de nieuwe 3D modelschematisaties in D-HYDRO.

De ontwikkeling van een GUI voor 3D-toepassingen met D-HYDRO is nog niet gestart. Naar verwachting zal dit in 2021 starten.

Soms is een keyword nog in testfase. In de user manual wordt-ie dan een 'research keyword' genoemd; zie Tabel A.3 in Appendix A.3 met een overzicht van deze keywords. Deze keywords dienen of geoperationaliseerd of verwijderd te worden. Dat laatste is van toepassing als besloten wordt dat een modelleur niet de mogelijkheid krijgt om dit keyword te veranderen.

D Kwaliteitsborging van modelleringsaanpak

D.1 Good Modelling Practice

Foremost in Good Modelling Practice (GMP) is the question the model must address. What is the answer the model must provide or support? Always remembering that professional judgement is the ultimate assessment.

Each indicator that the model must generate, is defined by six characteristics as defined in the following table. Note that there may be multiple indicators.

Tab. D-1 Examples of model indicators

Model indicator	Examples
Parameter and unit	Suspended Particulate Matter in g/m ³
Time	2014 May 12, 2014 14:15
Horizontal location	(x, y)
Vertical location	1 m below water surface -3 m CD
Statistics	Annual average 90% exceedance
Required accuracy	trend plus or minus <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 the following figure.

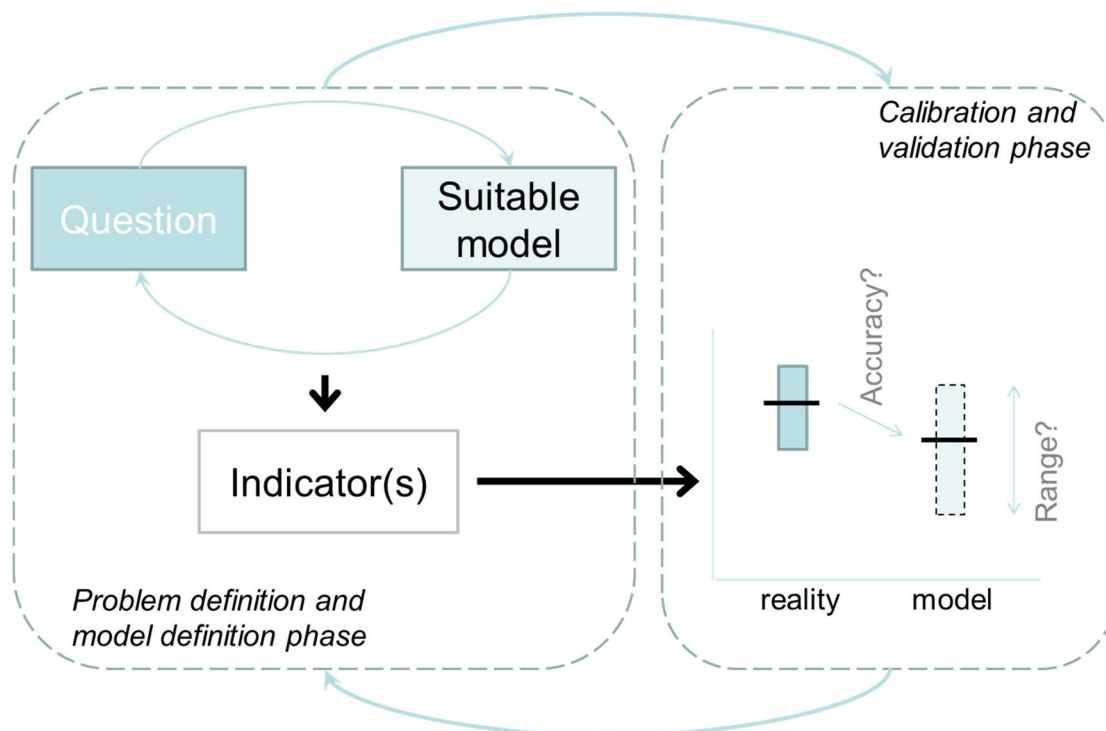


Fig. D-1 Schematic representation of the first two phases of a modelling study according to Good Modelling Practice

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:

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

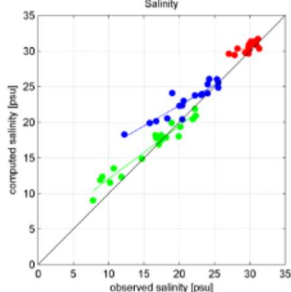
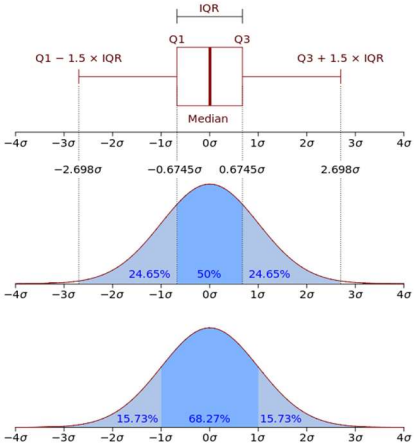
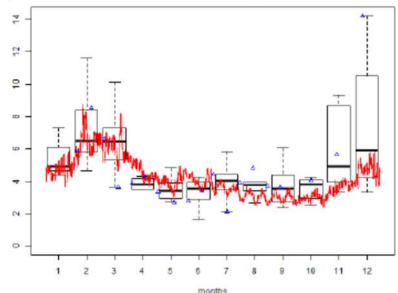
The latter is illustrated with an example. The SPM concentration at any location depends on several factors such as available fines, currents, waves etc. The simulated SPM concentration is considered reliable if the contribution of each factor is reliable. Calibration and validation must therefore not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

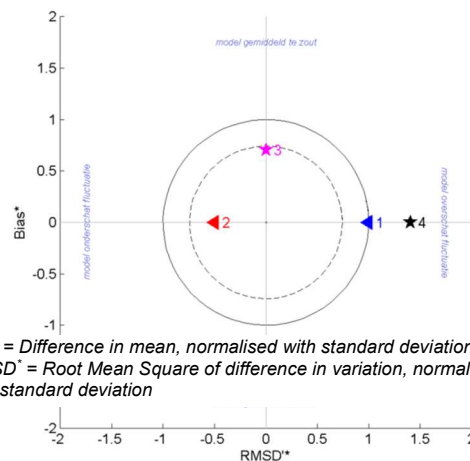
The key concept of calibration and validation is comparison of model results against field measurements. This means that calibration and validation are always carried out for historic situations. Such a comparison is done visually by comparing model results with data points plotted on a map or time series.

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.

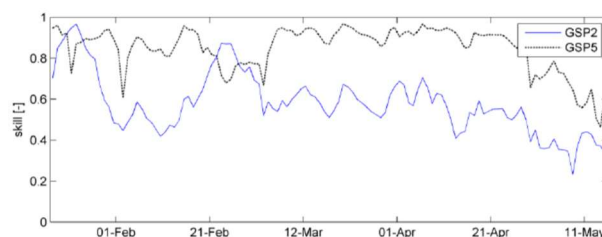
The most used methods for plotting goodness-of-fit are briefly described in the following table.

Goodness of Fit	Description
Linear regression / Correlation coefficient 	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 R^2. When relatively few data points are available, Spearman's rank correlation can be used.
Boxplot 	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 be combined with statistical tests on significance such as a p test. 
Target diagram	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. A deviation on the y-axis indicates to what extent the calculated average deviates from the measured average. A deviation on the x-axes 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.

Prediction skill



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.

D.2 Definities modelbeoordeling

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.

D.2.1 Kalibratie, validatie en verificatie

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

Term	Definitie
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.
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.
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.

D.2.2 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,

GOF criteria	Definitie
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.
Standaardafwijking	De standaardafwijking of σ (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.
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.
Relatieve bias	Naast de absolute bias kan er ook worden gekeken naar de relatieve bias, wanneer het grote en onderling sterk verschillende waarden betreft: $Relatieve\ Bias = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{y_{sim,k} - y_{ref,k}}{y_{ref,k}}$
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: $CV = \frac{\sigma}{gemiddelde}$ De variatiecoëfficiënt is een relatieve spreidingsmaat, wat inhoudt dat de spreiding gemeten wordt ten opzichte van het gemiddelde.
Verskil 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 waarden rond de piek (om zo toevallige uitschieters uit te sluiten). Dit kan zowel de maximale waarde zijn ($\Delta\zeta_{max}$) of de minimale waarde ($\Delta\zeta_{min}$):

	$\Delta\zeta_{max} = \max(y_{sim,k}) - \max(y_{ref,k})$ $\Delta\zeta_{min} = \min(y_{sim,k}) - \min(y_{ref,k})$ Deze maat kan o.a. worden gebruikt voor de amplitude van de getijbeweging, afvoergolven en bij stormpieken.
Verskil 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: $\Delta t_{max} = t_{max}(y_{sim,k}) - t_{max}(y_{ref,k})$ $\Delta t_{min} = t_{min}(y_{sim,k}) - t_{min}(y_{ref,k})$ Deze maat kan worden gebruikt om te bepalen hoe groot de faseverschuiving is.
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.
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: $Mean_stations = \frac{\Sigma (Statistiek\ per\ station)}{Aantal\ stations}$ $RMS_stations = \sqrt{\frac{\Sigma (Statistiek\ per\ station^2)}{Aantal\ stations}}$ Het gebruik van RMS heeft als voordeel dat fouten niet tegen elkaar uitgemiddeld worden.

D.2.3 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 tijdsschaal (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.

D.2.4 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, grootheid 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

E Kwaliteitscriteria voor roostergeneratie

Zesde-generatie D-HYDRO modelschematisaties zijn gebaseerd op ongestructureerde roosters. Zesde-generatie modellen bieden hierdoor meer roosterflexibiliteit dan voorheen. Gestructureerde roosters, met een administratie langs (M- en N-) roosterlijnen, zoals in SIMONA en Delft3D-FLOW, zijn niet meer van toepassing. De ongestructureerde roosters in D-HYDRO kunnen bestaan uit zowel kromlijnige cellen, rechthoekige cellen, drie-, vier-, vijf- of zeshoekige cellen, of een combinatie van alle voorgaande cellen. Roosterverfijningen kunnen op eenvoudige wijze worden gerealiseerd door combinaties van driehoeken en vierhoeken.

De keuzes voor roosteropzet en het gebruik van driehoekige en/of vierhoekige roostercellen kunnen worden beïnvloed door eisen aan:

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

De volgende hoofdstukken geven de richtlijnen aan die gebruikt zijn ter onderbouwingen van de opzet van de specifieke roosters voor de zesde-generatie modelschematisaties voor RWS.

E.1 Driehoekige versus vierhoekige roosters

Bij het testen en evalueren van de nieuwe zesde-generatie modelschematisaties met zowel driehoekige als vierhoekige roostercellen is gebleken dat het verschil in nauwkeurigheid van de modelresultaten voor de waterstanden in het algemeen gering is. Andere aspecten zullen een rol spelen bij de uiteindelijke keuzes van roostercellen. Deze overwegingen kunnen per toepassing en/of toepassingsgebied verschillen.

Het rapport Tiessen et al. (2018) beschrijft het onderzoek dat is uitgevoerd naar de nauwkeurigheid van driehoekige en vierhoekige roostercellen voor modellering van zoutindringing in 3D met D-HYDRO Suite. Hierin werd geconcludeerd dat er slechts kleine verschillen zijn tussen regelmatige (gelijkzijdige) driehoekige en vierhoekige roosters voor zoutindringing in 3D modellen met D-HYDRO.

Een nadeel van het gebruik van regelmatige driehoekige roosters, en dit geldt ook voor 2D, is dat een driehoekig rooster inherent gebruik maakt van minder bodempunten. Voor een vergelijkbare representatie van de bodem (of aantal bodempunten), zijn de rekencellen kleiner qua oppervlakte en rib-lengte. Kleinere rekencellen in combinatie met een groter aantal rekencellen, leidt tot een toename in de rekentijd. In hoeverre deze daadwerkelijk toeneemt is afhankelijk van de domein-karakteristieken.

Wanneer advection een grote rol speelt (hoge stroomsnelheden) geven kromlijnige (vierhoekige) roostercellen over het algemeen een beter resultaat, mits deze zijn uitgelijnd met de stroomrichting. Voor zoutindringing is ook het beste als geulen in het modelgebied door het rooster gevolgd worden, waarvoor kromlijnige roosters het meest geschikt zijn.

Een gevoeligheidsonderzoek van modelresultaten voor de horizontale roosterresolutie wordt altijd aanbevolen.

E.2 Voorkeuren per toepassingsgebied

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

E.2.1 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.
- De beschrijving van de zoutindringing is het beste als geulen in het modelgebied door het rooster gevolgd worden. In sommige estuaria (o.a. het Haringvliet) zou het vanwege het complexe geulenpatroon met een puur kromlijinig rooster niet mogelijk zijn om alle geulen goed te volgen. Verfijning (eventueel lokaal) van regelmatige roosters leidt tot vergelijkbare resultaten als bij een geulvolgend curvilineair rooster, maar dit gaat ten koste van de rekentijd.
- Lokale roosterverfijning via zo regelmatig mogelijke driehoeken om een tijdstapbeperking te voorkomen.
- Kleine roostercellen in combinatie met hoge stroomsnelheden zo veel mogelijk vermijden vanwege de tijdstapbeperking door de expliciete afhandeling van advection.

E.2.2 Riviertoeepassingen

- Voor toepassingen met een dominante stromingsrichting (bijv. rivieren), kunnen vierhoekige roosters met een grotere aspect ratio in de stromingsrichting worden toegepast. 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.
- Bij toepassing van spiraalstroming de numerieke oplossing bij driehoekige roostercellen kan oscilleren. Bij vierhoekige roosters lijkt dit verschijnsel niet op te treden.

E.2.3 Zwak-dynamische systemen met stroomsnelheden van geringe omvang (meren) :

- Gladheid (smoothness) van rooster is 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 is dan eenvoudiger te realiseren.

E.3 Richtlijnen 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). Door zogeheten trapjeslijnen bij water/land-overgangen, worden onnauwkeurigheden geïntroduceerd. De rekenefficiëntie kan laag zijn als dezelfde (hoge) resolutie toegepast wordt 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 ook 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.

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 het model de roostercriteria strikt moeten worden gehandhaafd, en in welke gebieden de criteria enigszins losgelaten kunnen worden.

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

Criterium	Vuistregel
Orthogonaliteit	$\cos(\alpha) < 0.02$ met α 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, maar en kleiner dan 5
Aspect ratio bij roosterverfijning	kleiner dan $\sqrt{2}$

E.3.1 Orthogonaliteit

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 Fig. E-1. Voor de 'orthogonaliteit' van het rooster in het interessegebied moet gelden dat $\cos(\alpha) < 0.02$, met α 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 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.

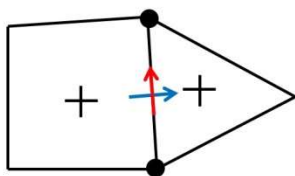


Fig. E-1 Illustratie van orthogonaliteit

E.3.2 Gladheid

Voor de gladheid van het rooster (zie Fig. E-2) is er geen vuistregel. Hierbij speelt mee dat voor niet-gladde roosters ook nauwkeurige modelresultaten te behalen zijn. 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. Bij de vorige generatie modelschematisaties (met kromlijnige roosters) werd aanbevolen om de gladheid onder 1.2 te houden.

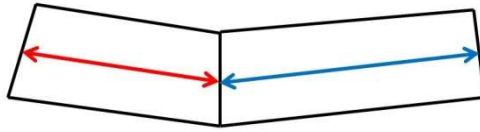


Fig. E-2 Illustratie van gladheid (smoothness)

E.3.3

Aspect ratio

De aspect ratio op een vierhoekig rooster is gedefinieerd als de ratio tussen de breedte en de lengte van een rooster cel. Voor driehoekige roosters 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 2 tot 5 (zie Fig. E-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 (niet groter dan 2) dient te zijn.

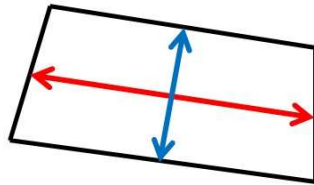


Fig. E-3 Illustratie van aspect ratio (algemeen)

E.3.4

Aspect ratio bij roosterverfijning

De aspect ratio bij roosterverfijning (zie Figuur F.4) moet niet groter zijn dan 2. Omdat hoek C in Fig. E-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 $\sqrt{2}$.

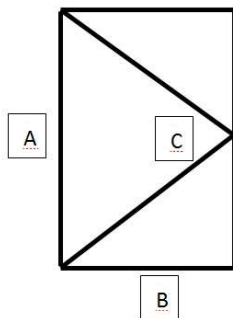


Fig. E-4 Illustratie van aspect ratio bij lokale roosterverfijning

F Bodemprojectie

Een belangrijke keuze in D-HYDRO FM modellen heeft betrekking op waar de bodemhoogte geprojecteerd wordt op het rekenrooster. Hier wordt onderscheid gemaakt in:

- Bodemhoogte in grid celmidden (BedlevType=1)
- Bodemhoogte in hoekpunten (BedlevType=3)

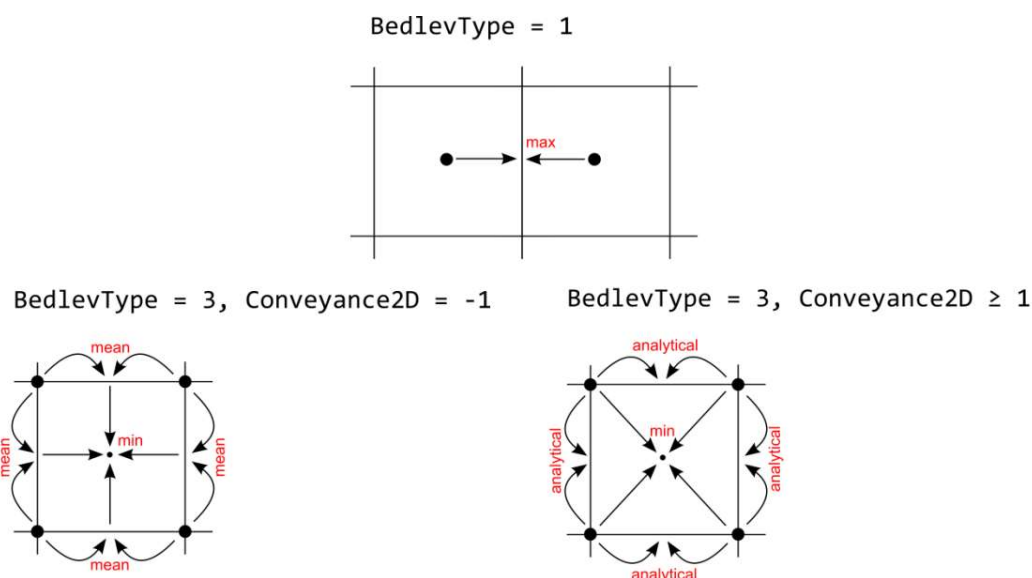


Fig. F-1 Schematische weergave hoe voor verschillende combinaties van BedlevType en Conveyance2D de bodemhoogte op de verschillende locaties van het rekenrooster wordt geprojecteerd. Voor min/max geldt “Positive Upward”

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 celmidden)

In het rapport De Jong (2016) worden de voor- en nadelen bij het toepassen van deze twee concepten beschreven. De keuze hiervan is afhankelijk van het toepassingsgebied zoals beschreven in de volgende tabel.

Tab. F-1 Beschrijving van verschillende opties voor bodemhoogtes per toepassingsgebied

Toepassingsgebied	Beschrijving
Rivieren	De verschillen in resultaten zijn voor rivieren niet erg groot voor de verschillende opties en zijn weg te kalibreren.
Zeeën en Kusten	Bij de Noordzee is echter geconstateerd dat de modelresultaten voor bodemhoogtes in celmidden een lagere nauwkeurigheid geeft. Dit heeft met name te maken met de grovere resolutie. Er treden fasefouten in de voortplanting van het getij op die met kalibratie (van ruwheden) niet opgelost kunnen worden.
Morfologie	Voor de module D-Morphology is alleen een gevalideerde implementatie van de morfologie beschikbaar voor bodemhoogte in grid celmidden. Bij morfologiemonumenten wordt voor snelheidspunten de hoogste van de twee omliggende bodemhoogtes in de celmidden toegepast. Uit ervaring is bekend dat dit tot extra numerieke dissipatie kan leiden. Dit kan de nauwkeurigheid nadelig beïnvloeden. Er wordt dus niet een

Voor de zesde-generatie modelschematisaties worden de hydrodynamische modelschematisaties opgezet en afgeregeld op basis van bodemhoogte in hoekpunten (BedlevType = 3). De morfologische modellen worden hiervan afgeleid (zie hoofdstuk 4.3.3) zodat het initiële watervolume gelijk is.

In De Jong (2016) is bepaald wat op basis van de discretisatie (BedlevType) de fout op verschillende plekken van het rooster is. 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.

Tab. F-2 Fout in bodemhoogte ten opzichte van de (theoretische) waarheid

	BedlevType 1 (BT1)		BedlevType 3 (BT3, Conv -1)	
	Edge	Face	Edge	Face
Verhang rivier	+	o	o	_*
Doorstroom richting	o	o	o	_*
Lokale schommelingen	+	o	o	_*

* 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.

Tab. F-3 Fout in bodemhoogte ten opzichte van ingegeven samples. (- o +) (mean (stdev))

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

* Hiervoor kan worden gecorrigeerd met een tweede orde Volume berekening (nonlin2D=1)

Dit onderzoek heeft tot de volgende conclusies geleid:

- BedlevType = 1 heeft de beste benadering van de bodemhoogte (Volume) in waterstandspunten;
- BedlevType = 3 heeft de beste benadering van de bodemhoogte (Flow area) in snelheidspunten.

Op basis van de voor- en nadelen van beide concepten is voor enkele beweringen afgeleid welke methode hiervoor het meest geschikt zou zijn. 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 er verschillen zijn tussen beide modellen. Deze verschillen worden

echter veroorzaakt door convergentie in bodemhoogte. Voor een fijne resolutie zullen beide discretisaties dezelfde resultaten geven, maar verschillen zullen vooral merkbaar zijn bij een grof rooster

G Naamgevingconventies watermodellen Rijkswaterstaat

G.1 Inleiding

In een aanvullend memo wordt in detail ingegaan op de gewenste naamgevingconventies voor watermodellen bij Rijkswaterstaat (Ref: RWS, 2019, Memo - Naamgeving conventies watermodellen Rijkswaterstaat, Versie 2.0 (datum 21 november 2019))

Hieronder volgt een samenvatting van de belangrijkste aanbevelingen.

G.2 Quick Reference

De nieuwe naamgeving conventies versie 2.0 voor modellen van RWS wordt gehanteerd voor:

- modellen vanaf de zesde generatie
- modellen waar sprake is van een vernieuwing maar geen sprake is van een zesde generatie.

In het algemeen geldt dat de naamgeving voor het model is opgebouwd uit vier items, die gezamenlijk een Model Identificatie Label (MIL) vormen (allemaal in kleine letters):

`<item1>minteken<item2>minteken<item3>minteken<item4>`

`<modelsoftware>minteken<modelgebied>minteken<project><j##>
underscore[g#]minteken<v#>`

Voorbeeld: sobek-rijn-j19_6-v1a1

<Item#>	Omschrijving	Uitleg
<item1>	<modelsoftware>	naam van de software of type model, bijvoorbeeld <i>sobek</i>
<item2>	<modelgebied>	naam van het gemodelleerde gebied, bijvoorbeeld <i>rijn</i>
<item3>	<project>underscore<g#>	optioneel: naam van het project, bijvoorbeeld <i>wbi2017</i>
	<j##> underscore<g#>	optioneel: j(jaar) van de gemodelleerde situatie, bijvoorbeeld <i>j19</i> voor 2019
	waarbij <g#>	generatienummer, bijvoorbeeld 6 voor de zesde generatie
<item4>	<v#>	Versienummer, bijvoorbeeld <i>v1a1</i>

Één van de twee optionele items bij item3 is verplicht. Er moet dus een keus worden gemaakt tussen `<project>` of `<j##>`.

Tab. G-1 Samenvatting van de naamgeving conventie voor veel voorkomende modelonderdelen, uitgewerkt voor een voorbeeld van de Maas

Soort naam	Voorbeeld
Baseline boom	baseline-maas-j17_6-v2
Baseline maatregel	ma_zbhgt09_a1
Groep Baseline maatregelen	baseline-maas_maatr_act_6
Baseline maatregel lijst	baseline_maatregel_lijst-maas-j95_6-v1_j17_6-v1
Rekenrooster	grid-maas-maas40m_6-v1
D-Flow FM model	dflowfm2d-maas-j17_6-v2a
SOBEK3 model	sobek-maas-j17_6-v2a1
HBV model	hbv-maas-j09_5-v1
Randvoorwaarden	randvoorwaarden-maas-hr2017_5-v1
Ruwheidsdefinitie	roughcombination-maas-2015_6-v3
Bruggen	NR_883.7_Nelson-Mandelabrug OS_Zeelandbrug
Cross secties	MA_2.6_QK MA_190.7_QML_Q-Megen MA_190.7_QR_Graveboven-Megendorp MA_190.7_QL_Grave PK_869.4_QO_Q-Splitingspunt
Uitvoerlocaties	WL_903.00 WL_903.50_R_Achterin-plas MA_15.6_R_LMW_Borgharen-dorp YM_LMW_Stavoren WL_903.12
Bronnen en putten	MA_8.0_L_Sluis_Ternaaien MA_88.2_R_Beek_Swalm MA_188.8_R_Gemaal_Gemaal-Bloemers
Kunstwerken	NW_1026.3_SK_Maeslantkering VO_US_Volkeraksluis VO_SS_Volkeraksluizen-1 VO_SS_Volkeraksluizen-2
Open randen	ntb

H Opzet Structuur G6 Repository

In een aanvullend memo wordt in detail ingegaan op de gewenste structuur van de repository voor de zesde-generatie modellen (Deltares, 2021a)

Hieronder volgt een samenvatting van de belangrijkste aanbevelingen.

H.1 Uitgangspunten

Bij de opslag van model- en gebiedsschematisaties dient gebruik te worden gemaakt van de ervaringen uit de opslag van de vijfde generatie modellen, maar dient eveneens rekening te worden gehouden met de volgende uitgangspunten:

1. FAIR-principe: Findable - vindbaar; Accessible - toegankelijk; Interoperable - uitwisselbaar; Reusable - herbruikbaar.
2. Mappenstructuur gegenereerd door Baseline
3. Link met Baseline-NL, bestaande uit Baseline-nl-land en Baseline-nl-zee.
4. Onderscheid tussen Baseline watersysteem en Baseline-NL
5. Naamgevingsconventies schematisaties RWS
6. Mappenstructuur toegepast in kader van SGWM
7. Opslag van gebruikte datasets voor kalibratie en validatie.
8. Opslag van de standaardrandvoorwaarden
9. Opslag van bijbehorende rapportages en factsheets (WORD & PDF)
10. Opslag van gebruikte van Clipcontouren en modelboundaries voor Baselineschematisaties van deelgebieden (zitten nu samen in een *.gdb).
11. Link met toegepaste software?
12. Opslag van PvO's (Deltares)
13. Opslag van Factsheets
14. Inzicht in releasemanagement
15. Link met de Helpdesk Water
16. Functionele eisen ten aanzien van dataopslag en beschikbaarheid repository bij Deltares-ICT.
17. Link met de Excel lijst Watermodellen die bij RWS in beheer is.

H.2 Naam en structuur repository

De repository is een gesloten repository bij Deltares met gecontroleerde toegang voor lees- en schrijfrechten: Een beperkte groep medewerkers bij Deltares, die direct met Beheer en Onderhoud te maken hebben, heeft toegang. Ook de Functioneel Beheerders van RWS-WVL krijgen leesrecht.

Repositories zijn vindbaar bij naam. De naam van huidige repository voor het B&O van de vijfde en eerdere generaties is:

<https://repos.deltares.nl/repos/gebiedsschematisaties-RWS/tags/>

Voorstel voor de naam van de nieuwe repository waarin de officiële zesde generatie modellen worden opgeslagen:

<https://repos.deltares.nl/repos/gebiedsschematisaties-RWS-g6/official/>

(De term "officieel" betekent dat het Protocol van Overdracht goedgekeurd is door RWS.)

Onder de repository zullen zowel gebiedsschematisaties (Baseline) als modelschematisaties (o.a. D-Flow FM, D-Waves, D-Water Quality, SOBEK 3) worden opgeslagen.

Onder de development repository (voorheen trunk):

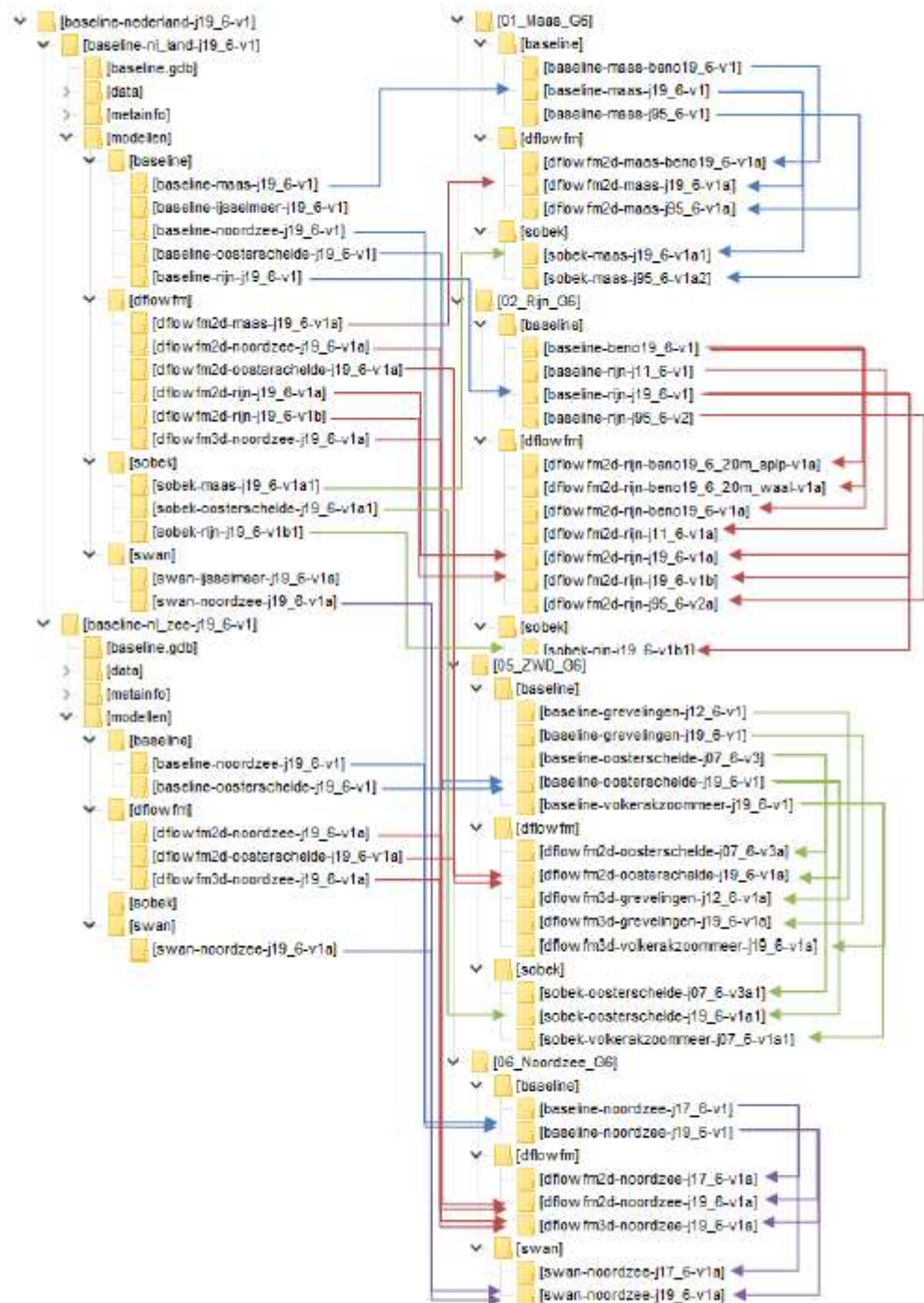
<https://repos.deltares.nl/repos/gebiedsschematisaties-RWS-g6/development/>

worden door Deltares tussentijdse- en ontwikkelversies van modellen opgeslagen voor zover deze een relevante betekenis hebben, bijvoorbeeld als projecten tussentijds even tijdelijk stopgezet worden of er sprake is van een tussentijdse opgeleverde mijlpaal of relevante ontwikkel- of werkversie.

Er is tevens nog een derde map onder de repository, waarin modellen kunnen worden opgeslagen die voor RWS wel bewaard moeten worden, maar geen officiële status hebben, zoals bijvoorbeeld modellen die door externe partijen zijn aangeleverd in projectkader.

<https://repos.deltares.nl/repos/gebiedsschematisaties-RWS-g6/non-official/>

Een voorbeeld van de gebruikte opslagstructuur is gegeven in de volgende figuur.



Figuur 3.4 Directorystructuur met links inclusief los opgeslagen Baseline deelschematisaties.