



Deltaprogramma

Handreiking toepassing Deltamodel



Handreiking toepassing Deltamodel

Datum maart 2013
Status definitief

Colofon

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat Waterdienst
Informatie	Helpdesk Water
Telefoon	0800-6592837
Uitgevoerd door	Saskia van Vuren, Rudolf Versteeg (HKV), Francien van Luijn, Timo Kroon, Robert Slomp, Thomas van Walsem (RWS Waterdienst), Erik Ruijgh, Hans de Waal (Deltares)
Opmaak	
Datum	Maart 2013
Status	Definitief

Inhoud

1	Inleiding	5
1.1	Achtergrond	5
1.2	Doel	7
1.3	Leeswijzer	7
2	Het Deltamodel	8
2.1	Inkadering	8
2.2	Filosofie van het Deltamodel	9
2.3	Consistentie in het Deltamodel	11
2.4	Reproduceerbaarheid	14
2.5	Omggaan met onzekerheden en uitgangspunten	14
3	Waterveiligheid in het Deltaprogramma	17
3.1	Benadering van Waterveiligheid in het Deltamodel	17
3.2	Modellen voor screening en analyse	19
3.3	Toepassing analysemodellen	20
4	Zoetwatervoorziening in het Deltaprogramma	29
4.1	Benadering van Zoetwatervoorziening in het Deltaprogramma	29
4.2	Modellen voor screening en analyse	32
4.3	Toepassing analysemodellen	34
5	Toepassingen van het Deltamodel	41
5.1	Toepassingen Deltamodel	41
5.2	Voorbeeld 1: verandering van de huidige afvoerverdeling over de Rijntakken	42
5.3	Voorbeeld 2: peilverhoging op het IJsselmeer	46
5.4	Voorbeeld 3: doorwerking van onzekere morfologische ontwikkelingen	50
5.5	Discussie	52
6	Referenties	54

Voorwoord

Voor u ligt de Handreiking Toepassing Deltamodel. Een document dat de beoogde toepassing van Deltamodel 1.0 in het Deltaprogramma beschrijft.

Het Deltamodel is een model(instrumentarium) dat gebruikt wordt bij de waterstaatkundige onderbouwing van beleidskeuzen voor de lange termijn. Binnen het Deltaprogramma wordt het Deltamodel ingezet voor beleidsvraagstukken op het gebied van waterveiligheid en de zoetwatervoorziening. De focus ligt hierbij op het hoofdwatersysteem en de Deltabeslissingen.

Deze handreiking is tot stand gekomen in een samenwerking tussen Rijkswaterstaat Waterdienst, Deltares, Movares en HKV lijn in water. Op basis van bestaande informatie en interviews met medewerkers van Deltares en Rijkswaterstaat is de handreiking geschreven. De Handreiking geeft een overzicht over de mogelijkheden bij toepassing van het Deltamodel. Voor meer gedetailleerde en specifieke beschrijvingen van de onderdelen van het Deltamodel wordt verwezen naar de achtergronddocumenten bij Deltamodel 1.0 en de diverse gebruikershandleidingen die voor de modellen beschikbaar zijn.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het Deltaprogramma staat voor een veilig én aantrekkelijk Nederland, nu maar ook in de toekomst. Het kabinet wil er met het Deltaprogramma voor zorgen dat de huidige en volgende generaties veilig zijn tegen het water en dat we de komende eeuw beschikken over genoeg zoet water.

Daarvoor bereidt het Deltaprogramma maatregelen en voorzieningen voor, om in te spelen op klimaatverandering en sociaal-economische veranderingen. Het gaat dan bijvoorbeeld om anticipatie op zeespiegelstijging, zwaardere stormen en hogere rivierafvoeren, maar ook om anticipatie op drogere situaties in de zomer. Het Deltaprogramma houdt daarbij ook rekening met veranderingen in de sociaal-economische omgeving, zoals verandering in de bevolkingsomvang, de economie en het ruimtegebruik.

Het Deltaprogramma is opgesplitst in drie landelijke (generiek) deelprogramma's:

- Waterveiligheid;
- Zoetwater; en
- Nieuwbouw & Herstructurering.

De uitwerking van het Deltaprogramma vindt plaats middels een scala aan regionale (gebiedsgerichte) uitwerkingen. Daarom zijn er naast de landelijke programma's ook regionale deelprogramma's (Figuur 1), te weten:

- Kust;
- Waddengebied;
- Rivieren;
- IJsselmeergebied;
- Rijnmond-Drechtsteden; en
- Zuidwestelijke Delta.

Waterveiligheid- en zoetwatervraagstukken worden behandeld in de landelijke én de regionale deelprogramma's. Het hoofdwatersysteem vormt bij de uitwerking hiervan de verbindende schakel tussen de deelprogramma's. Uiteindelijk komt er één set samenhangende deltabeslissingen, waarbij er afstemming is tussen de generieke deltabeslissingen en gebiedsgerichte deltabeslissingen. Om hiertoe te komen zijn drie stappen voorzien: 1. Verkenning van mogelijke strategieën (2012), 2. Beschrijving van kansrijke strategieën (2013), 3. Identificatie van voorkeursstrategieën (2014).

Het is belangrijk dat bij de uitwerking van de mogelijke strategieën, kansrijke strategieën en voorkeursstrategieën dezelfde uitgangspunten en informatie wordt gehanteerd. Hiervoor heeft Rijkswaterstaat in opdracht van DG Ruimte en Water een modelinstrumentarium ontwikkeld: het Deltamodel. Hierbij is voortgebouwd op bestaande rekenmodellen en zijn rekenmodellen waar nodig verder ontwikkeld en aangevuld (Kroon & Ruijgh, 2012 en Ruijgh, 2012). Het Deltamodel bestaat uit een samenhangende set van rekenmodellen voor veiligheid en zoetwater. Deltamodel versie 1.0 is vanaf 2012 beschikbaar voor de gebruikers. Het protocol van overdracht (Ruijgh, 2012) geeft een overzicht van de rekenmodellen (software en schematisatie) en de bijbehorende achtergronddocumentatie.

Een consistente, transparante en eenduidige toepassing van de rekenmodellen binnen het Deltaprogramma is wenselijk. Daarvoor zijn bij de ontwikkeling van het Deltamodel in de deelmodellen zoveel mogelijk dezelfde informatie en principes gehanteerd (Kroon & Ruijgh, 2012 en Ruijgh, 2012). Dit garandeert nog niet volledig dat de verschillende gebruikers

dezelfde uitgangspunten zullen gebruiken. De invoer bij de toepassing van de modellen ligt namelijk nog open. Het Deltamodel is een complex instrumentarium en kent een brede scope van modellen voor de analyse van zowel de waterveiligheid als de zoetwatervoorziening. Bovendien heeft het betrekking op een groot deel van Nederland. Om een goed overzicht te hebben over de mogelijkheden bij de toepassing van het Deltamodel is deze Handreiking voor de toepassing van het Deltamodel geschreven.



Figuur 1: Studiegebied Deltaprogramma (bron: toegeleverd door Robert Slomp en Hans de Waal).

1.2 Doel

Voor u ligt de Handreiking Deltamodel. Deze handreiking beschrijft hoe het Deltamodel gebruikt kan worden voor de nationale afweging van de waterveiligheid en de zoetwatervoorziening. In het bijzonder wordt aandacht besteed aan consistent gebruik van de deelmodellen, de samenhang in de analyses, de afhankelijkheden tussen Waterveiligheid en Zoetwatervoorziening en de informatie-uitwisselingen tussen de deelprogramma's. Het daadwerkelijk gebruik van het Deltamodel wordt afgestemd in het Rekennetwerk.

De Handreiking richt zich op mensen uit de deelprogramma's, DGRW en RWS die berekeningen met het Deltamodel bedenken en begeleiden. Deze Handreiking biedt hen een overzicht van de mogelijkheden bij toepassing van het Deltamodel, inclusief de aandachtspunten en valkuilen. De specialisten worden doorverwezen naar de meer gedetailleerde en specifieke beschrijvingen van de onderdelen van het Deltamodel 1.0. Ruijgh (2012) geeft hiervoor een goed overzicht van de achtergronddocumentatie die voor de modellen beschikbaar is.

De Handreiking richt zich uitsluitend op de beleidsondersteuning voor het Deltaprogramma. Hoewel onderdelen van het Deltamodel te gebruiken zijn voor andere toepassingen, zoals operationeel watermanagement en beheer en onderhoudsvragen, komen deze toepassingen niet aan de orde in deze handreiking.

1.3 Leeswijzer

De Handreiking is opgebouwd uit zes hoofdstukken. Hoofdstuk 2 start met een globale beschrijving van het Deltamodel op basis van informatie uit de Functionele Specificaties van het Deltamodel (Kroon & Ruijgh, 2012), het Protocol van Overdracht (Ruijgh, 2012) en diverse achtergronddocumenten.

Hoofdstuk 3 gaat in op de beschrijving en toepassing van het Deltamodel voor waterveiligheid. Hoofdstuk 4 is een vergelijkbaar hoofdstuk voor zoetwatervoorziening.

Hoofdstuk 5 illustreert de toepassing van het Deltamodel bij deelprogramma overstijgende vraagstukken aan de hand van een aantal voorbeelden.

2 Het Deltamodel

2.1 Inkadering

2.1.1 *Deltamodel en Deltaprogramma*

Het Deltamodel wordt gebruikt bij de waterstaatkundige onderbouwing van beleidskeuzen voor de lange termijn (2050, 2100) binnen het Deltaprogramma. Het Deltamodel wordt daarbij ingezet voor beleidsvraagstukken op het gebied van waterveiligheid en de zoetwatervoorziening. De focus ligt hierbij op het onderbouwen van de Deltabeslissingen en op het hoofdwatersysteem. Met het Deltamodel worden de waterstaatkundige effecten bepaald van klimaatveranderingen en sociaal-economische ontwikkelingen, inclusief de maatregelen voor de waterveiligheids- en zoetwateropgave.

De uitkomsten van de berekeningen met het Deltamodel worden onder andere gebruikt voor het karakteriseren en onderling vergelijken van de strategieën die door de deelprogramma's worden ontwikkeld. Ook wordt de onderlinge beïnvloeding van maatregelen tussen deelprogramma's inzichtelijk gemaakt. Het Deltamodel moet verder inzicht geven in de effecten van de verschillende regionale uitwerkingen op (de primaire functies van) het hoofdwatersysteem.

De Deltabeslissingen hebben voornamelijk betrekking op het zoetwater systeem. Gebieden met zout water, zoals de kust, de Wadden en de Westerschelde hebben een beperkte invloed op de Deltabeslissingen. Daarom bevat het Deltamodel geen modellen voor zout water. Veranderingen in deze gebieden die van invloed zijn op het studiegebied van het Deltamodel, worden via gewijzigde randvoorwaarden en scenario's meegenomen. Het Deltamodel richt zich dus op het zoete en brakke watersysteem van Nederland. Dit betekent dat het Deltamodel focust op de deelprogramma's Veiligheid, Zoetwater, Nieuwbouw en Herstructurering, Rivieren, IJsselmeergebied, Rijnmond-Drechtsteden en Zuidwestelijke Delta (exclusief de Westerschelde).

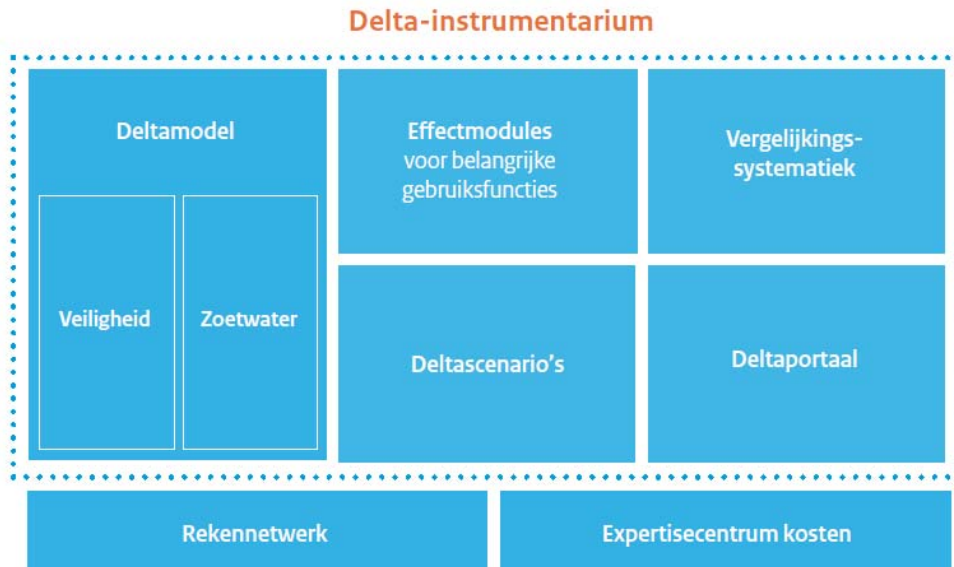
2.1.2 *Deltamodel en Deltainstrumentarium*

Het Deltamodel vormt met de Effectmodules, de Vergelijkingssystematiek, de Deltascenario's en het Deltaportaal het Deltainstrumentarium (zie Figuur 2, Kroon & Ruijgh, 2012). Het Deltainstrumentarium biedt met samenhangende modelberekeningen en kwalitatieve effectbepalingen inzicht in mogelijke toekomstige situaties en het ordent stapsgewijs het denken over oplossingen.

Het Deltaportaal ontsluit rekenresultaten van het Deltamodel, van de effectmodules en achtergronddocumenten in de vorm van leesbare en begrijpelijke informatie voor de gebruikers. Niet alle resultaten van berekeningen met het Deltamodel komen op het Deltaportaal. De presentatie van de resultaten vindt in het Deltaportaal op een hoger aggregatieniveau plaats dan in het Deltamodel. Per deelprogramma wordt een selectie gemaakt van berekeningsresultaten die men wil gebruiken in het besluitvormingsproces.

Om de toepassing van het Deltainstrumentarium efficiënt en in samenhang te laten verlopen is het Rekennetwerk opgericht (zie Barneveld et al., 2012). Dit Rekennetwerk zorgt voor samenhang, consistentie en afstemming van berekeningen in het Deltaprogramma, door te ondersteunen bij het plannen, uitvoeren, analyseren en archiveren van de berekeningen en borgen van de kwaliteit van de berekeningen (zie 2.3.1).

Voor een toelichting van de begrippen Effectmodules, Vergelijkingssystematiek, Deltaportaal, Expertisecentrum Kosten en Rekennetwerk wordt verwezen naar de begrippenlijst in bijlage A.



Figuur 2: Overzicht van het Deltamodel, Deltaportaal, Deltascenario's en Deltainstrumentarium (Kroon & Ruijgh, 2012).

2.2 Filosofie van het Deltamodel

2.2.1

Algemeen

Voor waterveiligheid zijn vooral de extreme hoogwatercondities in de winterperiode van belang. Voor de zoetwatervoorziening is waterbeschikbaarheid en watervraag in de zomerperiode belangrijk. Toch kunnen deze analyses niet los van elkaar worden gezien. Beide hebben immers betrekking op hetzelfde watersysteem. Maatregelen voor waterveiligheid hebben (mogelijk) effect op de zoetwatervoorziening en omgekeerd beïnvloeden maatregelen voor de zoetwatervoorziening (mogelijk) de waterveiligheid. Het is daarom belangrijk dat de aspecten van de waterveiligheid en zoetwatervoorziening in één modelomgeving zijn geïntegreerd. Dit is gerealiseerd in het Deltamodel, waardoor het mogelijk wordt beide aspecten in samenhang te analyseren.

Bovenstaande betekent niet dat de analyses van de waterveiligheid en de zoetwatervoorziening gebruik maken van exact dezelfde modellen. Beide aspecten kennen immers hun eigen invalshoek en toepassingsbereik. Wel maken de modellen voor de waterveiligheid en de modellen voor de zoetwatervoorziening gebruik van dezelfde gegevens over het watersysteem (gebiedsschematisatie), klimaatgegevens, zichtjaren en Deltascenario's en mogelijke maatregelen. Ook kunnen de deelmodellen via koppelingen in de vorm van randvoorwaarden met elkaar worden verbonden. Daarmee wordt de samenhang tussen de set van rekenmodellen gerealiseerd.

Het Deltamodel kan worden gebruikt voor:

- Deltabeslissingen op nationale schaal
- een eenduidige probleemanalyse (over de deelgebieden heen, met consistentie tussen zoetwater en veiligheid)
- een beoordeling van maatregelen (per deelprogramma en deelprogramma overstijgende maatregelen)

2.2.2

Waterveiligheid

De basis van de analyses voor de waterveiligheid bestaat uit het analyseren van verschillende hoogwateromstandigheden. Deze hoogwateromstandigheden worden

veroorzaakt door (een combinatie van) hoge rivierafvoer, hoge zeewaterstanden of meerpeilen en stormomstandigheden. Voor deze hoogwateromstandigheden worden randvoorwaarden uitgewisseld tussen de deelmodellen. Het Deltamodel legt daarbij relaties tussen de hoogwateromstandigheden, de inrichting en beheer van het hoofdwatersysteem, de belasting en sterkte van waterkeringen en de effecten van waterstaatkundige maatregelen.

Het Deltamodel maakt gebruik van de ruimtelijke gegevens voor het hoofdwatersysteem in Baseline, een landsdekkende database die de gebiedsdata benodigd voor de modellen beschrijft. De modellen die voor het hoofdwatersysteem worden gebruikt zijn “opgeknipt” in deelmodellen, vanwege:

- de fysieke beheersbaarheid van het modelgebruik (capaciteit, rekentijd)
- de diverse omstandigheden in de deelgebieden in Nederland (storm, afvoer, of een combinatie van beide) die bepalend zijn voor de maatgevende hydraulische belasting op de primaire waterkeringen

De deelmodellen die de fysica van het watersysteem beschrijven (fysische modellen o.a. waterbewegingsmodellen en golfmodellen) zijn samen landelijk dekkend en door de onderliggende eenduidige filosofie als één geheel te zien/gebruiken. Als de interactie tussen deelgebieden moet worden geanalyseerd om het effect op het landelijke watersysteem als geheel in beeld te brengen, dan wordt dit opgelost door het sequentieel draaien van de deelmodellen. De randvoorwaarden vanuit het model van het ene deelgebied, beïnvloeden daarbij de randvoorwaarden van het model van het naastgelegen deelgebied.

Hoogwateromstandigheden kunnen door diverse combinaties van stormomstandigheden ontstaan. Soms zorgen hoge rivierafvoeren voor kritische hoogwaterstanden, soms ontstaan kritische hoogwaterstanden door minder hoge rivierafvoeren gecombineerd met een storm (bijvoorbeeld een sterke wind en een stormvloed op zee). Om hiermee rekening te houden, wordt bij waterveiligheidsvraagstukken een probabilistische benadering toegepast.

De Handreiking biedt handvatten voor het bevorderen van de samenhang en afstemming tussen de deelmodellen. De handreiking geeft aan:

- Wanneer je als deelprogramma een ander deelprogramma beïnvloedt
- Hoe men met de invloed van het ene deelprogramma op het andere om moet gaan
- Welke informatie-uitwisseling er tussen de deelprogramma's plaats moet vinden
- Welke stappen er uiteindelijk moeten worden gezet om de juiste informatie (o.a. randvoorwaarden) tussen deelprogramma uit te wisselen
- Hoe de reeks deelmodellen aan elkaar gekoppeld kunnen worden, zodat het samengestelde landelijke instrumentarium gebruikt kan worden voor analyses voor het hele watersysteem

De handreiking geeft niet aan hoe er binnen de deelprogramma's wordt gewerkt (welke deelmodellen, welke invloedsvariabelen, welke stormcondities, etc.). Hiervoor wordt verwezen naar de achtergronddocumentatie van de gebruikte deelmodellen (Ruijgh, 2012 en De Waal, 2012).

2.2.3 Zoetwatervoorziening

Voor de analyse van de zoetwatervoorziening is het nodig om het aanbod van en de vraag naar zoetwater op landelijke schaal in onderlinge samenhang te analyseren. De analyse focust bovendien niet alleen op enkele lage afvoersituaties, maar op een opeenvolging van lagere en hogere afvoeren, die corresponderen met verschillende omstandigheden en daarmee verschillende (regionale) waterbehoeften. Het Deltamodel is dus een landelijk instrumentarium dat de landelijke waterverdeling en het daarmee corresponderend waterverbruik simuleert.

Het landelijke waterverdelingsnetwerk in het Deltamodel bestaat uit het hoofdwatersysteem plus een deel van het regionaal oppervlaktewater. Voor dit laatstgenoemde deel van het landelijk waterverdelingsnetwerk (dat grotendeels in beheer is bij de waterschappen) maken de regionale waterbeheerders vaak gebruik van ruimtelijk meer gedetailleerdere grond- en oppervlaktewatermodellen. Het Deltamodel maakt gebruik van informatie uit deze (bestaande) regionale modellen. Deze regionale modellen zelf maken geen onderdeel uit van het Deltamodel. Voor de landelijke analyses van de waterverdeling en zoetwatervoorziening kunnen deze regionale modellen desgewenst wel aanvullend worden ingezet wanneer meer detail gewenst is. Hiervoor is het mogelijk om gegevens (randvoorwaarden) uit te wisselen met de regionale verfijnde modellen (Ruijgh et al. 2010).

Het Deltamodel levert daarnaast input (in vorm van debieten, waterstanden, temperatuur, chlorideconcentraties, etc.) voor mogelijke analyse van de effecten op gebruikersfuncties, zoals landbouw, natuur (terrestrisch en aquatisch), stabiliteit van keringen (bij droogte), scheepvaart, stedelijk gebied, industrie, energievoorziening, drinkwatervoorziening, recreatie en visserij.

Voor Zoetwatervoorziening focust de Handreiking op de valkuilen en aandachtspunten bij het doorrekenen van toekomstige veranderingen en de effectbepalingen van maatregelen en strategieën.

2.3 Consistentie in het Deltamodel

2.3.1 Consistentie in software en modelschematisaties: de Rekenfaciliteit

Voor de analyses en uitwerkingsfase in het Deltaprogramma is het belangrijk dat iedereen werkt met dezelfde uitgangspunten. Daarom is in de Rekenfaciliteit Deltamodel voor elk deelprogramma een interface gemaakt met een deelselectie van de verschillende onderdelen van het Deltamodel (de hydraulische modellen, de waterverdelingsmodellen, het probabilistisch rekenpakket, etc.), die voor het deelprogramma relevant zijn (Van Verseveld et al., 2012). Zo wordt centraal sturing gegeven aan het gebruik van dezelfde software, modelinstellingen en basisschematisaties. Voor de software van de deelmodellen Deltamodel betekent dit bijvoorbeeld dat eenduidige modelinstellingen, zoals een numeriek iteratieschema, zijn gekozen. De centrale coördinatie bevordert de consistentie tussen de berekeningen en maakt afstemming en uitwisseling tussen de deelprogramma's makkelijker.

De rekenmodellen zijn in het Deltamodel aan elkaar gekoppeld in een Delft-FEWS configuratie – de Rekenfaciliteit Deltamodel. Hierdoor kunnen de verschillende berekeningen in het Deltamodel die achter elkaar moeten worden uitgevoerd, grotendeels geautomatiseerd worden aangeboden in een workflow. Voor de deelprogramma's is geregeld dat zij eigen sommen kunnen aansturen (schrijfrechten), en kunnen meekijken naar de resultaten van andere deelprogramma's (leesrechten). Bijlage B geeft een overzicht van de modelonderdelen van het Deltamodel en de opgestelde workflows (Ruijgh, 2012). Bij het doorrekenen van een nieuwe strategie of scenario is een nieuwe configuratie van de Rekenfaciliteit (Delft-FEWS) nodig.

De Rekenfaciliteit Deltamodel is dus geen modelleeromgeving, maar een rekenomgeving. In de Rekenfaciliteit zijn diverse combinaties beschikbaar van randvoorwaarden en modelschematisaties van de deelmodellen per deelprogramma. De gebruiker maakt een selectie van deelmodellen en Deltascenario's (en de referentiesituatie), en van te voren voorbereide invoersets van maatregelen en strategieën, en kan de sommen met (een relevantie selectie van) het Deltamodel aanzetten.

Het is niet mogelijk om binnen de Rekenfaciliteit zelf schematisaties van nieuwe maatregelen op te stellen. Het aanmaken van maatregelen en randvoorwaardensets gebeurt buiten de Rekenfaciliteit om en valt onder de verantwoordelijkheid van de deelprogramma's. Dit beperkt de flexibiliteit om snel en efficiënt kleine aanpassingen in schematisaties door te voeren, maar vergroot de consistentie. Ook is het modelresultaat voorgeprogrammeerd: vooraf is gekozen welke modeluitkomsten (in ruimte en tijd) het Deltamodel uitvoert.

De Rekenfaciliteit wordt gehost op het Nationaal Modellen en Data Centrum (NMDC). Het beheer en onderhoud van de Rekenfaciliteit is organisatorisch neergelegd bij het Rekennetwerk. Het is goed voorstelbaar dat tijdens de toepassing van het Deltamodel duidelijk wordt dat aanpassingen nodig zijn van de Rekenfaciliteit. Dit kunnen kleine gebruikerswensen zijn, zoals het wijzigen van het formaat van een automatisch gegenereerde uitvoerset binnen de FEWS-software, en het configureren van nieuwe modelschematisaties voor de Rekenfaciliteit. Ook zijn grotere wensen mogelijk, zoals het genereren van extra parameters, die nog niet standaard worden geleverd met de onderliggende modellen. Dergelijke vragen kunnen via de Helpdesk Water en het Rekennetwerk worden ingediend.

De Rekenfaciliteit bevat (nog) niet alle onderdelen van het Deltamodel. Sommige modellen worden nog niet aangeboden – hoewel ze onderdeel zijn van het Deltamodel – omdat ze niet standaard onderdeel uitmaken van een productietrein en niet bij elke berekening nodig zijn (bijv. DVR, NHI-zoet/zout). In enkele gevallen zijn modellen niet opgenomen omdat ze in de ontwikkelfase nog te complex waren om ze te automatiseren zonder tussenkomst van de gebruiker, of dat de kosten voor het programmeren van het interface niet opwegen tegen de baten van het gebruik (bijvoorbeeld database statistiek IJsselmeer). De Rekenfaciliteit bevat ook een aantal effectmodellen die niet behoren tot het Deltamodel, maar tot het Deltainstrumentarium. Bijvoorbeeld de effectmodellen natuur, landbouw en scheepvaart voor Zoetwater. Toch is gekozen om deze effectmodellen op te nemen in de rekenfaciliteit, omdat ze op een standaard wijze achter onderdelen van het Deltamodel kunnen worden gedraaid en de workflow met beperkte inspanning kon worden uitgebreid.

De Rekenfaciliteit is gericht op de analysefase in het Deltaprogramma. Voorafgaand aan - of aanvullend op - deze analyse kunnen verschillende modellen of tools zijn of worden ingezet voor snelle screening van maatregelen en strategieën. Deze modellen van screening zijn niet opgenomen in de Rekenfaciliteit Deltamodel 1.0.

2.3.2

Consistentie in basisdata

Het is belangrijk dat alle deelprogramma's voor zowel Waterveiligheid als Zoetwatervoorziening dezelfde uitgangspunten gebruiken voor de uitgangssituatie en de toekomstige situatie. Hiervoor zijn de schematisaties van de referentiesituatie (2015) en de Deltascenario's geïmplementeerd in de Rekenfaciliteit, zodat iedereen hier gebruik van kan maken.

De basisgegevens van de referentiesituatie 2015 zijn opgeslagen in het databaseprogramma BASELINE en bestaan onder andere uit bodemgeometrie, vegetatie en bijbehorende hydraulische ruwheden, begrenzing van de winterdijken en schematisatie & locatie van kribben, kades en overlaten. Een uitgebreide beschrijving van dergelijke gegevens is te vinden in de beschrijving van de referentiemodellen (Van Walsem et al., 2013).

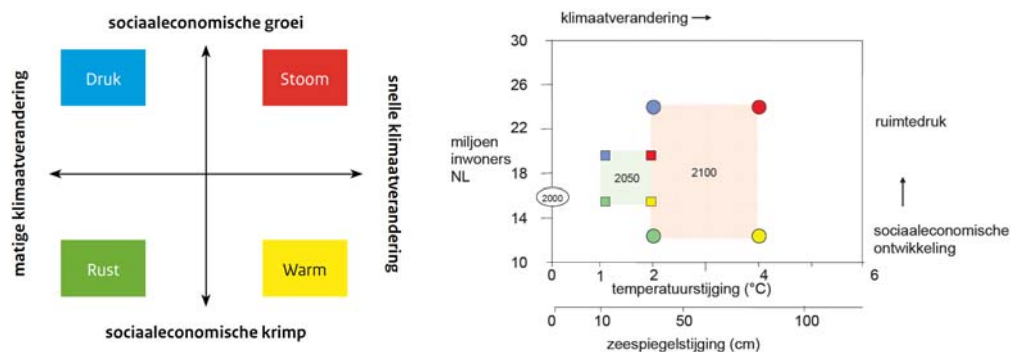
De basisgegevens in het databaseprogramma BASELINE kunnen via standaardmethoden worden omgezet naar rivierkundige modellen, zoals waterbewegingsmodellen WAQUA of SOBEK. Hiervoor worden de basisgegevens op de rekenroosters geprojecteerd en wordt een conversie gemaakt naar een waterbewegingsmodel.

Bij het maken van schematisaties van maatregelen en randvoorwaardensets moet worden voortgebouwd op de schematisatie van de referentiesituatie. De referentiedatabase en de bijbehorende BASELINE softwareversie zijn daarvoor via de Helpdesk Water verkrijgbaar. Er zijn vastgestelde procedures en richtlijnen om maatregelen in BASELINE te schematiseren. Deze procedures en richtlijnen vormen de uitgangspunten voor elk deelprogramma dat nieuwe maatregelen schematiseert.

2.3.3

Consistentie in randvoorwaarden: Deltascenario's

Er zijn vier Deltascenario's ontwikkeld in het Deltaprogramma met toekomstbeelden van de fysieke en sociaal-economische omgeving voor twee zichtjaren (2050 en 2100), zie Figuur 3 (Bruggeman et al., 2011). De Deltascenario's beschrijven de externe ontwikkeling van het klimaat en de sociaal-economische omgeving.



Figuur 3: Vier Deltascenario's, twee zichtjaren (Bruggeman et al., 2011)

De Deltascenario's zijn gebaseerd op de klimaatscenario's van het KNMI en de WLO (Welvaart en Leefomgeving) scenario's, die ontwikkeld zijn in 2006. Het KNMI maakt onderscheid in vier klimaatscenario's en doet geen uitspraak over welk scenario het meest waarschijnlijk is. De twee uiterste klimaatscenario's zijn meegenomen in de Deltascenario's. Voor de thema's waterveiligheid en waterbeschikbaarheid zijn dat de uiterste scenario's KNMI G (gematigd) en KNMI W+ (warm+). Ook de WLO-scenario's bestaan uit vier scenario's. De scenario's beschrijven de bevolkingsomvang, economische groei en verandering in het ruimtegebruik. Ook hier zijn de twee uitersten gekozen om mee te nemen in de Deltascenario's: Global Economy en Regional Community.

Voor elk Deltascenario (Druk, Stoom, Warm en Rust) zijn per zichtjaar kentallen afgegeven voor de klimaatverandering (bijvoorbeeld zeespiegelstijging en rivierafvoer) en de sociaal economische ontwikkeling (bijvoorbeeld inwoners, economische groei/krimp, etc.). Samen geven de Deltascenario's een goede bandbreedte voor waterveiligheid en zoetwatervraagstukken.

Om te zorgen dat de Deltascenario's op een consistente en eenduidige manier in het Deltaprogramma worden gebruikt, zijn per Deltascenario concrete sets randvoorwaarden en parameterinstellingen opgesteld. Deze heten de randvoorwaardensets. Ook zijn de Deltascenario's per zichtjaar (huidige situatie, 2050 en 2100) op uniforme wijze vertaald naar invoerbestanden voor de deelmodellen (van Walsem et al., 2013). Waar nodig is informatie uit de Deltascenario's aangevuld of gewijzigd op basis van inzichten verkregen uit eerdere studies (waaronder WV21) en uitgangspunten volgend uit bestaand beleid. Randvoorwaardensets en Deltascenario's zijn als invoermogelijkheid en invoerbestanden voor het Deltamodel in de Rekenfaciliteit beschikbaar. Hiermee is gebruik van de

Deltascenario's in modellen dus centraal georganiseerd, en is consistentie in gebruik gewaarborgd.

De voorgeprogrammeerde randvoorwaardensets in het Deltamodel bestaan uit randvoorwaarden van de Deltascenario's. Ook de wederzijdse beïnvloeding van maatregelen tussen deelprogramma's komt via randvoorwaardensets terug, zie hiervoor de voorbeelden in Hoofdstuk 5.

De Deltascenario's worden gebruikt om de toekomstige opgaven in beeld te brengen. De beleidsanalyse in de Deltaprogramma's richt zich op het zichtjaar 2050 en 2100. De effectbepaling van strategieën gebeurt standaard met alle vier de Deltascenario's.

2.4 Reproduceerbaarheid

De toepassing van het Deltamodel moet reproduceerbaar zijn. Per berekening wordt een logboek gemaakt waarin de combinatie aan keuzes (versienummer van het deelmodel, schematisatie, randvoorwaardenset) zijn vastgelegd.

De naamgeving die in de Rekenfaciliteit en in de archivering wordt gebruikt is als volgt:

Naam deelprogramma + Kansrijk (K) of Voorkeursstrategie (V) + code Strategie (S #, versie #) + jaar + deltasenario + versie Rekenfaciliteit + eventueel de naam van invoerfiles (i...).

Het Rekennetwerk houdt op basis van informatie uit de deelprogramma's een lijst bij waarin staat wat elke strategiecode inhoudt.

2.5 Omgaan met onzekerheden en uitgangspunten

Het Deltamodel wordt gebruikt om de waterstaatkundige effecten van klimaatverandering, sociaal-economische ontwikkelingen en strategieën te berekenen, voor zowel hoogwater- als laagwateromstandigheden. Deze effectbepaling wordt beïnvloed door onzekerheden. De uiteindelijke afweging en beslissingen die op basis van de effectbepaling worden genomen, zijn dus beslissingen onder onzekerheid.

Bij de (interpretatie van) berekeningsresultaten van het Deltamodel spelen verschillende typen onzekerheden een rol. Walker & Haasnoot (2011) geven een overzicht van de verschillende soorten onzekerheden die samenhangen met de berekeningen met het Deltamodel en de analyse van de resultaten daarvan. Modelonzekerheid en onzekerheid in randvoorwaarden worden als belangrijke onzekerheidsbronnen genoemd.

Modelonzekerheid ontstaat door de werkelijkheid te schematiseren in een model. Het gaat hierbij onder andere om de modelkeuze (softwarekeuze, modelbenadering) en door de parameterisatie (modelschematisatie en parameterinstellingen). De tekortkomingen van het model zelf vallen ook onder modelonzekerheid.

Daarnaast is er onzekerheid in randvoorwaarden. Hier gaat het om onzekerheid gerelateerd aan diverse invoergegevens van en randvoorwaarden in de modellen.

Soms is het onderscheid tussen modelonzekerheid en onzekerheid in randvoorwaarden subtiel. Het schematiseren van Deltascenario's tot concrete randvoorwaardensets levert modelonzekerheid. Het aantal Deltascenario's in het Deltamodel is beperkt tot vier. Elk scenario is even waarschijnlijk en geeft een voorspelling van de fysieke en sociaal-economische ontwikkeling in de toekomst. Deze voorspelling is onzeker, en valt onder onzekerheid in randvoorwaarden.

De mogelijke toekomstige ontwikkeling vormt een belangrijke bron van onzekerheden. Uit een eerste aanzet naar analyse onzekerheden van Snippen & IJmker (2012) komt naar voren dat bij analyses van toekomstige situaties (2050, 2100) de invloed van de onzekerheid in randvoorwaarden (Deltascenario's) in de modellen veel groter is dan de modelonzekerheden. De modelonzekerheid blijft in de toekomst naar verwachting gelijk en

de onzekerheid in randvoorwaarden neemt naar verwachting sterk toe. Dit betekent dat de relatieve bijdrage van modelonzekerheid in de totale onzekerheid in de toekomst afneemt.

Het is van belang om de onzekerheidsbronnen te identificeren en de bijdrage van de onzekerheidsbronnen aan de onzekerheid in de waterstaatkundige voorspellingen met het Deltamodel te kwantificeren. Snippen & IJmker (2012) geven per deelprogramma een overzicht van de modelonzekerheid en de onzekerheid in randvoorwaarden. Voor waterveiligheid is een inschatting gegeven van de totale onzekerheid op basis van literatuur en expert judgement. Een kwantitatieve onzekerheidsanalyse is nog niet uitgevoerd. Het uitvoeren van een complete onzekerheidsanalyse is een tijdrovende activiteit. Ruijgh (2012) adviseert om voor een volgende release van het Deltamodel, de mogelijkheid te verkennen om meer globale modellen af te leiden voor de rekenmodellen in het Deltamodel. Doel van deze verkenning is om te beoordelen of het uitvoeren van een groot aantal berekeningen in een korte periode ten behoeve van een uitgebreide onzekerheidsanalyse mogelijk is.

Naast onzekerheden, zijn er uitgangspunten die bepalend zijn voor de uitkomsten van het Deltamodel. Voorbeelden van impliciete keuzes zijn:

- Keuze voor de aftopping van de Rijnafvoer. In 2015 wordt rekening gehouden met een maatgevende afvoer van 16.000 m³/s, in 2050 van 17.000 m³/s en in 2100 van 18.000 m³/s. De rivierafvoer kan in principe hoger zijn dan deze afvoeren, maar is beperkt doordat er in Duitsland overstromingen optreden.
- Keuze voor een maximale afvoer op de Nederrijn/Lek. De maximale afvoer op de Nederrijn/Lek is begrensd tot de afvoer over de riviertak in de situatie van 16.000 m³/s. Dit houdt in dat bij een toename van de maatgevende hoogwaterafvoer er nooit meer water over de Nederrijn/Lek wordt afgevoerd: de Nederrijn en Lek wordt ontzien. De extra afvoer wordt dan verdeeld over de Waal en de IJssel.
- Keuze voor zijdelingse toevoer op rivieren. De zijdelingse toevoer van water vanuit het regionaal systeem op de grote rivieren neemt niet toe.
- Het beheer van uiterwaardbegroeiing is op orde. De weerstand van vegetatie in uiterwaarden neemt niet toe door toename van begroeiing.

Andere uitgangspunten zijn gerelateerd aan keuzes om bepaalde aspecten of processen wel of niet mee te nemen in het Deltamodel. Zo wordt zetting en klink niet meegenomen in de waterbewegingsmodellen in het Deltamodel. Ook wordt in de standaard berekeningen met het Deltamodel geen rekening gehouden met morfologische activiteit. Wel kunnen aanvullende analyses worden uitgevoerd met het DVR instrumentarium, dat onderdeel maakt van het Deltamodel. Morfologische activiteit kan immers invloed hebben op de wateropgaven (direct effect of indirect effect door herverdeling van de afvoer). Morfologische activiteit kan bovendien de kans op zettingsvloeiingen vergroten en dijkinstabiliteit veroorzaken.

Het kan zijn dat de aspecten die geen deel uit maken van het Deltamodel, wel relevant (of wellicht relevanter) zijn voor de uitdagingen om een bepaald deelgebied toekomstbestendig te maken. Ter illustratie het volgende voorbeeld: het Deltamodel focust voor waterveiligheid op de ontwikkeling van waterstanden. Dit hoeft niet het belangrijkste aandachtspunt te zijn. Zo zijn zettingsvloeiingen in de Rijnmaasmonding in combinatie met de economische waardevermindering achter de dijk, erg belangrijk voor de toekomstige opgaven in het gebied. Er bestaat nog geen model dat de invloed van morfologie op zettingsvloeiingen en dijkinstabiliteit beschrijft. Dit maakt ook geen onderdeel uit van het Deltamodel. Dit laat onverlet dat het wel een beleidsanalytische keuze is om dit wel of niet te betrekken in de probleemanalyse en de afweging van alternatieven.

Om rekening te houden met een aantal onzekerheidsbronnen, keuzes en uitgangspunten in het Deltamodel kan de gebruiker in de Rekenfaciliteit van het Deltamodel aanvullende gevoeligheidsanalyses uitvoeren. Zie hiervoor de handleiding Rekenfaciliteit (Deltares,

2012). Een gevoeligheidsanalyse geeft een eerste indruk van de invloed van onzekerheden op de waterstaatkundige voorspellingen.

Naast gevoeligheidsanalyses zijn robuustheidchecks mogelijk. Met behulp van robuustheidchecks kan worden beoordeeld of een maatregelenpakket in een strategie effectief blijft, bij bijvoorbeeld andere (extremere) uitgangspunten van scenario's of indien andere processen in het model zijn meegenomen. Bij het beoordelen van strategieën in het Deltaprogramma zijn deze robuustheidchecks ook voorzien. Walker en Haasnoot (2011) adviseren een analyse naar de mogelijkheid dat een strategie faalt. De strategie is robuuster naarmate deze minder vaak faalt, of naarmate de kans op falen lager is. Dit zou kunnen door per strategie extra berekeningen uit te voeren voor situaties die buiten de grenzen van de scenario's liggen. De Deltascenario's beschrijven immers een beperkt aantal mogelijkheden voor de toekomstige klimaatverandering en sociaal-economische veranderingen.

3 Waterveiligheid in het Deltaprogramma

Dit hoofdstuk beschrijft het gebruik van het Deltamodel in het generieke deelprogramma Waterveiligheid en de gebiedsgerichte deelprogramma's.

Het generieke deelprogramma Waterveiligheid voert beleidsmatige verkenningen uit en onderzoekt mogelijkheden voor een nieuwe waterveiligheidsnormering. Het is nog onduidelijk of deze nieuwe normering gebaseerd is op een overschrijdingskans-, een overstromingskans- of een overstromingsrisicobenadering. In de Deltabeslissing veiligheidsnormering wordt toegewerkt naar een keuze hiervoor en een onderbouwing van het gewenste veiligheidsniveau.

Voorliggend hoofdstuk start met een inkadering van het Deltamodel in de beleidsmatige verkenningen die in het generieke deelprogramma Waterveiligheid worden uitgevoerd. In dat deelprogramma wordt bij de uitwerking van het waterveiligheidsvraagstuk gekeken naar twee benaderingen. De eerste benadering geeft inzicht in de opgave die er ligt om met behulp van maatregelen in de preventielaag (maatregelen aan de belastingkant of dijkversterkingsmaatregelen) aan de wettelijke veiligheidsnormen te voldoen. De tweede benadering levert inzicht in de speelruimte voor andere strategieën dan vasthouden van huidige norm, en geeft aan waar kansen liggen om iets te doen met ruimtelijke strategieën: duurzaam ruimtelijke inrichting (laag 2) of rampenbeheersing (laag 3).

Na de inkadering volgt een beschrijving van het Deltamodel en het gebruik van het Deltamodel. Meerlaagse veiligheid, ruimtelijke ordeningsmaatregelen, rampenbeheersing en evacuaties worden niet behandeld in het Deltamodel.

Voor een uitvoerige beschrijving van de achtergronden van waterveiligheidsbeschouwingen in het Deltamodel wordt verwezen naar De Waal (2012). De wijze waarop dit is uitgewerkt is aanvullend beschreven in de Functionele Specificatie (Kroon & Ruijgh, 2012), de Handleiding van de Rekenfaciliteit Deltamodel en de systeemdokumentatie (Van Verseveld et al., 2012).

3.1 Benadering van Waterveiligheid in het Deltamodel

Het Deltaprogramma bereidt maatregelen en voorzieningen voor om in te spelen op de klimaatverandering en sociaal-economische verandering.

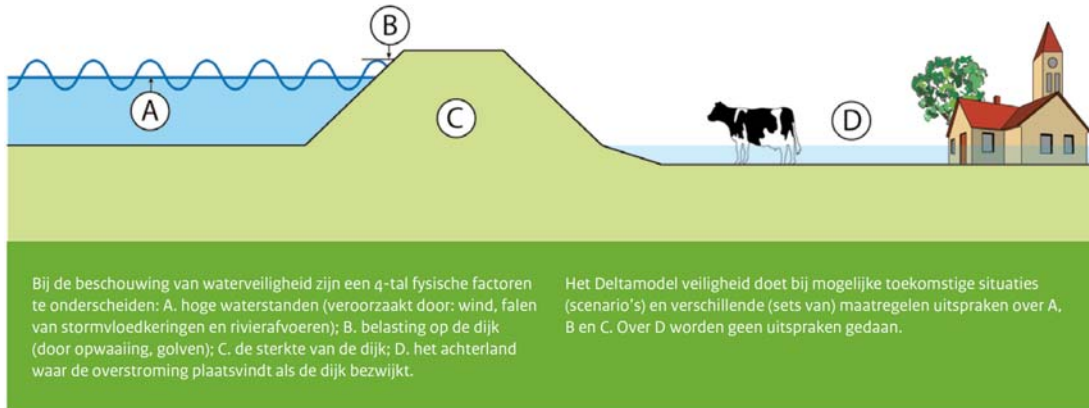
Het effect van klimaatverandering op de fysieke omgeving zorgt voor hogere maatgevende hoogwaterstanden. Dit resulteert in een grotere hydraulische belasting op de waterkeringen. Bij gelijkblijvende sterkte van de waterkeringen neemt hierdoor de overstromingskans toe. Door sociaal-economische ontwikkeling (prognoses van economische groei en bevolkingsgroei) nemen de gevolgen (schade en slachtoffers) bij een overstroming toe. Beide veranderingen beïnvloeden het gecombineerde effect: overstromingsrisico's (overstromingskans x gevolg).

Om met de verandering in overstromingsrisico's om te gaan kunnen maatregelen worden genomen. Dit kunnen maatregelen zijn om de hydraulische belasting te verminderen, dijkversterkingsmaatregelen en maatregelen gericht op de beperking van de gevolgen van een overstroming.

Bij de beschouwing van de effecten op waterveiligheid is een viertal factoren te onderscheiden: A. de hoge waterstanden, B. de hydraulische belasting op de dijk, C. de sterkte van de dijk en D. de gevolgen (schade en slachtoffers) bij een overstroming van het gebied achter de dijk (zie Figuur 4).

Klimaat effecten (o.a. hogere afvoeren, hogere zeewaterstanden en meerpeilen, intensievere stormen) vertalen zich in een toename van de maatgevende

hoogwaterstanden. Maatregelen gericht op de hydraulische belasting kunnen het effect van deze toename teniet doen. Andere maatregelen hebben geen reducerend effect op de maatgevende hoogwaterstanden en hun overschrijdingskans, maar resulteren in sterkere dijken en beïnvloeden zo de overstromingskans. Of maatregelen zorgen voor een gevolgbepanking in het geval een calamiteit (overstroming) zich voordoet.



Figuur 4: Vier factoren die bij de beschouwing van de effecten op waterveiligheid te onderscheiden zijn

Op hoofdlijnen levert het Deltamodel A t/m C:
 Overschrijdingskansen van maatgevende hoogwatercondities (A)
 Overstromingskansen (faalkans van dijken) (A tot en met C)
 Overstromingsgevolgen (D)

Het concept meerlaagsveiligheid¹ maakt onderscheid tussen drie lagen: preventie, duurzame ruimtelijke inrichtingen en rampenbeheersing. De uitwerking van meerlaagsveiligheid is direct gekoppeld aan de overstromingsrisicobenadering. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen twee benaderingen:

- Gebieden waar actualisatie van de veiligheidsnorm niet aan de orde is. In deze benadering moeten maatregelen eerst zorgen dat in de preventielaag aan de gestelde wettelijke veiligheidsnormen wordt voldaan. Dit zijn maatregelen die de hydraulische belasting verminderen en/of die de sterkte van de waterkering vergroten. In aanvulling hierop wordt naar maatregelen gekeken om de gevolgen van een overstroming te verkleinen (2e en 3e laag) uitgaande van een systeem dat aan de veiligheidsnorm voldoet. De kosteneffectiviteit van de maatregelen is daarbij belangrijk.
- Gebieden waar actualisatie van de veiligheidsnorm wel aan de orde is. In deze benadering wordt de waterveiligheidsopgave aangepakt door een combinatie van maatregelen uit de drie lagen (preventie, duurzame ruimtelijke inrichting en rampenbeheersing). Op basis van een beoordeling op overstromingsrisico kunnen de maatregelen uit het meerlaagse veiligheidsconcept met elkaar onderling worden vergeleken en kan op basis van kosteneffectiviteit een optimale mix worden gekozen. Indien de duurzame ruimtelijke inrichtingen en rampenbeheersing de gevolgen van een overstroming aantoonbaar beperkt en de gevolgbepanking

¹ De staatssecretaris van I&M dhr. Atsma geeft in een brief van 30 november 2011 aan dat de meerlaagse veiligheidsbenadering voor het kabinet een centrale benadering vormt bij de uitwerking van het Nationaal Waterplan. Ook de raden van de leefomgeving en de Adviescommissie Water benadrukken het belang van meerlaagse veiligheid en adviseren die verder uit te werken.

maatregelen te handhaven zijn, dan kunnen preventieve maatregelen worden beperkt.

Het Deltamodel sluit vooralsnog aan bij de huidige overschrijdingskansbenadering (vigerend beleid) en maakt ook een benadering op basis van overstromingskansen mogelijk. Het Deltamodel is zodanig ontwikkeld, dat het flexibel uit te breiden is naar een overstromingsrisicobenadering.

3.2 Modellen voor screening en analyse

In de functionele specificaties (Kroon en Ruijgh, 2011) wordt onderscheid gemaakt naar modellen op twee schaalniveaus: modellen om te screenen en modellen om te analyseren. De screeningsmodellen hebben vooral in een eerdere fase, voor het beschikbaar komen van Deltamodel 1.0 een rol gespeeld. Deltamodel 1.0 richt zich voornamelijk op modellen voor analyse. Het onderscheid in beide type modellen wordt hieronder eerst toegelicht, daarna wordt uitgebreider ingegaan op de toegepaste modellen voor analyse.

Modellen voor screening

De modellen om te screenen zijn bedoeld om snel en efficiënt een globale inschatting te maken van mogelijke strategieën en kansrijke maatregelen. De modellen voor screening zijn minder rekenintensief.

De modellen voor screening worden vooral gebruikt voor een probleemanalyse en een verkenning van oplossingsrichtingen binnen de deelprogramma's. De modellen worden vaak standalone gebruikt door diverse betrokkenen bij de deelprogramma's. De modellen zijn daardoor in mindere mate geschikt voor uitwisselingen tussen de deelprogramma's onderling. De modellen voor screening maken geen onderdeel uit van de Rekenfaciliteit Deltamodel.

Modellen voor analyse

De analysemodellen zijn bedoeld voor een verfijning en een detailuitwerking van voorkeursstrategieën. Dit gebeurt met meer rekenintensieve modellen.

Het Deltamodel voor analyse bestaat uit vier softwarecomponenten:

- Modellen die de fysica van watersystemen beschrijven, o.a. waterbeweging, morfologie, golven en wind². Zie paragraaf 3.3.2.
- Hydra-database-processor. Per fysisch deelmodel wordt een groot aantal berekeningen uitgevoerd met verschillende combinatie van omstandigheden, omdat vaak meerdere stormomstandigheden belangrijk zijn voor het beoordelen van de waterveiligheid. De Hydra-database-processor zorgt voor het aansturen van de fysische modellen en het uitvoeren van meerdere berekeningen per deelmodel. Zie paragraaf 3.3.3.
- Probabilistische model Hydra-Zoet. Hydra-Zoet combineert de uitkomsten van alle fysische berekeningen met de statistiek van de doorgerekende combinaties van invloedsvariabelen. Elke doorgerekende combinatie heeft een bepaalde kans van voorkomen. Hydra-Zoet bestaat uit een database fysica en statistiek. Op basis van de berekeningen met de fysische modellen in de database fysica en de statistiek van de doorgerekende combinaties in deze berekeningen, wordt de maatgevende hoogwaterconditie als functie van de herhalingstijd bepaald. Zie paragraaf 3.3.3.
- Module voor de beoordeling van de veiligheidsopgave. De bepaling van de veiligheidsopgave bestaat uit de bepaling van het verschil tussen de actuele normbelasting en de actueel aanwezige sterkte. Er worden diverse belasting- en

² Er wordt gebruik gemaakt van open water wind in plaats van potentiële wind en de statistiek van Schiphol in heel Nederland

sterkteparameters met elkaar vergeleken. Daardoor zijn er verschillende parameters voor de veiligheidsopgave. Zie paragraaf 3.3.4.

Deze modellen zijn aan elkaar gekoppeld in een Delft-FEWS configuratie: de Rekenfaciliteit Deltamodel. Op deze manier kunnen de verschillende berekeningen in het Deltamodel die achter elkaar moeten worden uitgevoerd, grotendeels geautomatiseerd worden aangeboden. Bijlage B beschrijft de modelonderdelen van het Deltamodel per deelprogramma van het Deltaprogramma (Ruijgh, 2012). De bijlage illustreert de koppeling tussen de verschillende modellen in zogenaamde workflows.

Met deze koppeling van softwaremodules in de Rekenfaciliteit Deltamodel kan het effect van klimaatveranderingen en maatregelen op de hoogwatercondities bij de vigerende overschrijdingsnormen worden bepaald. Ook kan het effect op overstromingskansen worden berekend (hydraulische belasting in combinatie met de sterkte van de waterkeringen).

Het Deltamodel kan niet de gevolgen van overstromingen en de overstromingsrisico's bepalen. Deze effectbepaling is onderdeel van het Deltainstrumentarium. We merken op dat de Schade en Slachtoffer module met de berekeningen van de gevolgen voor binnendijkse gebieden van WV21 beschikbaar zijn voor gebruikers van het Deltainstrumentarium (op het Deltaportaal). Deze worden niet opnieuw berekend in het Deltainstrumentarium.

De effectmodules kunnen inzicht geven in de gevolgen en de kosten van maatregelen. Deze vallen buiten het Deltamodel en maken ook onderdeel uit van het Deltainstrumentarium. Met het Deltamodel en effectenmodules in het Deltainstrumentarium kan een maatschappelijke kosten-batenafweging worden gemaakt (kosten versus reductie van het risico).

3.3 Toepassing analysemodellen

3.3.1 Toepassingsbereik en aandachtspunten

Toepassingsbereik

Het Deltamodel bestaat voor waterveiligheid uit een aantal losse rekenmodellen. Samen zijn de modellen landelijk dekkend. De modellen kunnen gebruikt worden om per deelgebied de waterveiligheidsopgave in kaart te brengen. Ook kunnen ze in samenhang worden toegepast om een landelijk beeld van de waterveiligheidsopgave te genereren.

Een aantal waterveiligheidsopgaven kan met het model in kaart worden gebracht: veranderingen in hydraulische belasting, kruinhoogteopgave (tekort in aanwezige dijkhoogte), sterkteopgave voor piping, sterkteopgave voor macrostabiliteit. Dit noemen we samen de waterveiligheidsopgave.

Het model kan gebruikt worden om de effectiviteit van maatregelen (oplossingsrichtingen en strategieën) op waterveiligheid te beoordelen. Mogelijke maatregelen zijn maatregelen om de hydraulische belasting te reduceren of maatregelen om de dijken sterker te maken. Maatregelen in laag 3 van het meerlaagsveiligheidsconcept kunnen niet worden beoordeeld met het Deltamodel (dit is namelijk onderdeel van het Deltainstrumentarium).

Aandachtspunten

Bij gebruik van het Deltamodel zijn er een aantal aandachtspunten. De belangrijkste hiervan zijn:

- Het is niet mogelijk met één druk op de knop een waterveiligheidsbeschouwing te geven. Het Deltamodel voor veiligheid bestaat uit deelmodellen voor de verschillende watersystemen. De gebruikte modellen voor fysica verschillen bovendien per watersystemen. Voor de waterwegingsmodellen wordt gebruik gemaakt van Waqua en Sobek. Hier moet bij de onderlinge uitwisseling van randvoorwaarden rekening mee worden gehouden, indien de wederzijdse

beïnvloeding van maatregelen in de verschillende deelgebieden wordt onderzocht. Zo kan een maatregel in het ene deelmodel, de randvoorwaarden in een ander deelmodel beïnvloeden. Bij maatregelen in de vorm van afsluitbare keringen in de Rijnmaasmonding moeten bijvoorbeeld nieuwe waterstandsrandvoorwaarden voor de modellen in het Bovenrivierengebied worden bepaald (zie hiervoor het eerste voorbeeld in Hoofdstuk 5).

- **Zoute watersystemen:**
Het Deltamodel bevat geen modellen voor zout water. De kust, de Wadden, de Westerschelde en de Oosterschelde zijn niet opgenomen in het Deltamodel. Reden hiervan is dat de Deltabeslissingen voornamelijk betrekking hebben op het zoetwater systeem. Gebieden met zout water hebben een beperkte invloed op de Deltabeslissingen.
- **Aanpassing veiligheidsnorm:**
Het Deltamodel is gebaseerd op de huidige overschrijdingskansbenadering (vigerend beleid). Het model is zo ontwikkeld dat het mogelijk is om het effect van een zwaardere norm op de waterveiligheidsopgave te bepalen. Het is niet mogelijk om een aanpassing te doen in het type norm, bijvoorbeeld een norm gebaseerd op overstromingsrisico's.
Bij de keuze voor een strengere norm, moet wel het kansenbereik van de gekozen stochasten in de Hydra statistiek opnieuw worden beschouwd. Onder andere moet beoordeeld worden op de statistiek nog toepasbaar is voor het extremere bereik.
- **Maatregelen in het watersysteem:**
Het Deltamodel kan gebruikt worden om de effectiviteit van maatregelen te beoordelen. Het gaat dan uitsluitend om maatregelen gericht op preventie (laag 1). Het effect van maatregelen in laag 2 en 3 van meerlaagsveiligheid kan niet met het Deltamodel worden bepaald.
Aanpassingen om de preventieve maatregelen te schematiseren kunnen nodig zijn op verschillende niveaus in het Deltamodel. Het kan zijn dat een maatregel de fysica van het watersysteem beïnvloedt. Dan is een aanpassing nodig in de schematisatie van één of meerdere fysische modellen. De berekeningen in de Hydra database fysica moeten dan opnieuw. Soms kan worden volstaan met een aanpassing in de Hydra statistiek. Er zijn ook maatregelen mogelijk die de aard van het watersysteem veranderen. De mogelijkheden om dit effect door te rekenen met het Deltamodel is beperkt. Denk bijvoorbeeld aan een watersysteem met meerdere rivieren die uitmonden in de zee, of het toevoegen van extra faaltoestanden van de stochast stormvloedkering. Deze aanpassingen zijn te complex voor het Deltamodel en kunnen niet zonder meer worden doorgerekend.
- **Gebruikersinstellingen Hydra-Zoet:**
Hydra-Zoet bevat een groot aantal vrijheidsgraden in gebruikersinstellingen om rekenresultaten goed te kunnen analyseren. Deze vrijheidsgraden zijn in het Deltamodel aan banden gelegd om de gewenste consistentie, uniformiteit en reproduceerbaarheid te realiseren. De rekeninstellingen van Hydra-Zoet zijn voorgeprogrammeerd, en er is alleen een keuze mogelijk uit variabele invoergegevens zoals de Hydra database fysica en Hydra statistiek. Voor het watersysteem IJsselmeer is geen variatie mogelijk in de Hydra database fysica. Deze keuze is gemaakt omdat er (vooralsnog) geen maatregelen in beeld zijn die het fysisch gedrag van het watersysteem zullen beïnvloeden. De Hydra database fysica voor het IJsselmeer is dus (vooralsnog) voor alle zichtjaren en scenario's gelijk.
- **Morfologische activiteit:**
In alle waterbewegingsmodellen voor de deelgebieden wordt morfologische activiteit buiten beschouwing gelaten. Sloff et al. (2011) raden aan rekening te houden met de invloed van morfologische veranderingen. Enerzijds zorgt het autonome gedrag voor aanpassingen in de rivierbodem. Anderzijds wordt verwacht dat de morfologische activiteit van de rivieren toeneemt door de rivierkundige herinrichtingen in het kader van programma Ruimte voor de Rivier en Maaswerken. De maatregelen die in het Deltaprogramma worden ontwikkeld zorgen mogelijk ook voor een andere morfodynamiek. Dit kan zorgen voor een herverdeling van

het water en daardoor voor andere waterstandseffecten. Ook kan morfodynamiek de zettingsvloeiingen beïnvloeden en de kans op dijkinstabiliteit als gevolg hiervan vergroten. Door middel van een gevoeligheidsanalyse kan het effect van mogelijke morfologische ontwikkelingen in de tijd op de waterbeweging in kaart worden gebracht, zie hiervoor het derde voorbeeld in Hoofdstuk 5. In de rekenfaciliteit Deltamodel kan rekening worden gehouden met wijziging door zetting. Standaard staat deze wijziging op 0, maar er kunnen waarden worden gespecificeerd voor zetting.

3.3.2 Toepassing modellen fysica

Het Deltamodel maakt gebruik van deelmodellen voor watersystemen, om rekentijden te beperken en omdat in de verschillende deelgebieden verschillende omstandigheden (stochasten) relevant zijn voor waterveiligheid. Zo zorgt in de meer stroomafwaarts gelegen deelgebieden, de combinatie van stormen met hoge rivierafvoeren voor de maatgevende condities, terwijl in het Bovenrivierengebied de rivierafvoer de meest bepalende factor is.

Voor waterveiligheid is in het Deltamodel op hoofdlijnen onderscheid gemaakt in modellen voor de volgende watersystemen, zie Figuur 5.



Figuur 5 Weergave van de deelmodellen Fysica voor de zoete wateren (Van Walsem, 2013).

- De Bovenrivieren - Rijntakken en Maas
- De IJsselvechtdelta
- Het Markermeer en IJsselmeer
- De Benedenrivieren

Ruijgh (2012) geeft een gedetailleerd overzicht van de (versies van) fysische modellen die per watersysteem zijn toegepast. Hieronder volstaat een beschrijving op hoofdlijnen.

Waterstandsberekeningen worden afhankelijk van het watersysteem uitgevoerd met het eendimensionaal Sobek model of het tweedimensionaal Waqua model. Voor de waterveiligheidsbeschouwing van het benedenrivierengebied wordt in het Deltamodel versie 1.0 een Sobek model toegepast. Voor alle andere watersystemen wordt Waqua gebruikt.

De golfmodellen Swan of Bretschneider kunnen voor golfberekeningen worden gebruikt. Bretschneider is een relatief eenvoudige empirische methode. Op elke locatie berekent Bretschneider de significante golfhoogte en de golfpiekperiode in geval van golfgroei door wind met eenvoudige formules. Hierbij wordt gebruik gemaakt van drie invoerparameters: de strijklengte, de effectieve waterdiepte en de windsnelheid. Met het toepassen van Bretschneider wordt geen rekening gehouden met de onderlinge afhankelijkheid van golfcondities op andere locaties. Het effect van fysische processen zoals, refractie, shoaling, golfbreking, transmissie, wordt ook niet meegenomen. Alleen op de watersystemen IJsselmeer en Markermeer is het echt nodig hiermee rekening te houden. Echter voor die watersystemen is de verwachting dat er geen maatregelen zijn die de fysica beïnvloeden (daarom is ook geen aanpassing voorzien/mogelijk in de database fysica voor IJsselmeer en Markermeer, zie paragraaf 3.3.1). Dit betekent dat Bretschneider op dit moment het enige golfmodel in het Deltamodel is.

De deelgebieden waarvoor fysische modellen bestaan, komen niet overeen met de gebiedsindeling in het Deltaprogramma's. Een aantal gebiedsgerichte Deltaprogramma's maakt gebruik van meerdere deelmodellen. DP Rivieren maakt gebruik van de deelmodellen Bovenrivieren, Benedenrivieren en IJsselvechtdelta & IJsselmeer. DP IJsselmeergebied gebruikt twee deelmodellen: IJsselvechtdelta & IJsselmeer en Markermeer. DP Zuidwestelijke Delta en DP Rijnmond-Drechtsteden gebruiken beide het deelmodel van de Benedenrivieren.

Indien er meerdere gebiedsgerichte deelprogramma's van hetzelfde deelmodel gebruik maken, is het belangrijk dat ze op dezelfde wijze met de deelmodellen omgaan (randvoorwaarden, uitgangspunten, parameterinstellingen). Dit is in de Rekenfaciliteit georganiseerd door de modelschematisaties, randvoorwaardensets en deelmodellen vooraf klaar te zetten voor de gebruiker van het Deltamodel (zie paragraaf 2.3).

3.3.3 *Toepassing probabilistisch model Hydra-Zoet*

Het probabilistische rekenpakket voor waterveiligheidsvraagstukken heet Hydra-Zoet. Hydra-Zoet combineert de uitkomsten van de berekeningen met de deelmodellen (fysica) met de statistiek van de door te rekenen combinaties van de invloedsvariabelen (afvoer, zeewaterstand/meerpeil, wind en toestand van de keringen). Hydra-Zoet vormt daarmee een rekenschil om de hiervoor genoemde deelmodellen. De Hydra-database-processor zorgt voor het aansturen van de fysische modellen en het uitvoeren van meerdere berekeningen per deelmodel.

De invoer van Hydra-Zoet wordt gevormd door berekeningen met fysische modellen uit de Hydra-database-processor voor een groot aantal mogelijke stormcondities met elk een kans van voorkomen. Het aantal berekeningen neemt toe naar mate er meer variabelen invloed hebben op de waterveiligheid in het gebied van het deelmodel. In de overgangsgebieden tussen rivier en zee (of meer) spelen meer variabelen een rol, dan op het bovenrivierengebied waar de rivier afvoer domineert. Het aantal door te rekenen combinaties met de fysische modellen verschilt daardoor sterk per deelgebied. Om de hydraulische belasting in de IJsselvechtdelta goed te bepalen zijn meer dan 1000 berekeningen nodig. Het Bovenrivierengebied voert met 9 combinaties de minste berekeningen uit.

Een watersysteem is gedefinieerd als een gebied waar de waterveiligheid afhangt van een specifieke combinatie van stochasttypes: wind, afvoer, etc. Er zijn watersystemen die afhangen van vergelijkbare stochasttypes. Zo is de waterveiligheid op de Maas en de Bovenrivieren van de Rijntakken beide afhankelijk van afvoer en wind. IJsselmeer en Markermeer hebben beide twee stochasten: wind en meerpeil. Tabel 1 geeft een overzicht van de watersystemen en hun stochast combinaties in het Deltamodel.

Deelprogramma	Watersysteem	Stochast				
		Wind	Afvoer	Zeewaterstand	Meerpeil	Keringstoestand
DP Rivieren	Rijntakken	Schiphol	Lobith	-	-	-
DP Rivieren	Maas	Schiphol	Borgharen/Lith	-	-	-
DP IJsselmeergebied	Markermeer	Schiphol	-	-	Markermeer	-
DP IJsselmeergebied	IJsselmeer	Schiphol	-	-	IJsselmeer	-
DP IJsselmeergebied	IJsseldelta	Schiphol	Olst	-	IJsselmeer	-
DP IJsselmeergebied	Vechtdelta	Schiphol	Dalfsen	-	IJsselmeer	Ramspol
DP Rijnmond-Drechtsteden	Benedenrivieren	Schiphol	Lobith	Maasmond	-	Europoort
DP Zuidwestelijke delta	Benedenrivieren	Schiphol	Lobith	Maasmond	-	Europoort

Tabel 1: Watersystemen en hun stochast combinaties in het Deltamodel (De Waal, 2012)

Hydra-Zoet bestaat uit een aantal belangrijke invoerblokken, zoals de Hydra database fysica, de Hydra statistiek en informatie over de waterkering. Hydra-Zoet levert resultaten (uitvoer) waarmee de veiligheidsopgave in diverse termen kan worden uitgedrukt. De invoer en uitvoer van Hydra-Zoet.

1. Invoer in Hydra-Zoet

In de diverse deelgebieden in Nederland zijn andere omstandigheden (afvoer, zeewaterstanden, meerpeil, storm of een combinatie) bepalend voor de maatgevende hydraulische belasting op de primaire waterkeringen. Omdat vaak meerdere invloedsvariabelen belangrijk zijn, wordt per fysisch deelmodel een groot aantal berekeningen uitgevoerd met verschillende combinatie van stormcondities.

De resultaten van deze berekeningen vormen de invoer van het model Hydra-Zoet en worden productieberekeningen genoemd. Het aantal berekeningen neemt toe naar mate er meer variabelen invloed hebben op de waterveiligheid in het gebied van het deelmodel.

Hydra-Zoet onderscheidt vijf watersysteemtypes met elk een specifieke combinatie van stochasttypes (De Waal, 2012):

- Watersysteem: rivier
- Watersysteem: meer
- Watersysteem: rivier naar meer
- Watersysteem: rivier naar meer met stormvloedkering
- Watersysteem: rivier naar zee met stormvloedkering

De invulling van de Hydra database fysica en de formulering in de probabilistische berekening, zijn voor deze watersysteemtypes gelijk.

Hydra-Zoet is de afgelopen decennia ontwikkeld om Hydraulische Randvoorwaarden af te leiden om de primaire waterkeringen periodiek te toetsen op veiligheid (HR toetsronde). Het aantal berekeningen met de fysische modellen in de Hydra database fysica van het Deltamodel, wijkt af van het aantal berekeningen van de Hydra-Zoet versie die voor het afleiden van Hydraulische Randvoorwaarden wordt gebruikt. Indien hetzelfde aantal berekeningen wordt gebruikt voor de beleidsanalyses in het Deltaprogramma, dan resulteert dit in een (te) omvangrijke rekenexercitie.

Het is niet nodig om in de beleidsanalyses dezelfde nauwkeurigheid te behalen als in de HR toetsronde. Het Deltamodel 1.0 baseert het aantal berekeningen dat nodig is voor beleidsvoorbereiding op een analyse van Geerse & Duits (2012). Zij hebben het aantal

benodigde berekeningen afgeleid voor de referentiesituatie met Deltascenario's, maar zonder maatregelen. De kansrijke en voorkeursstrategieën zijn nog niet bekend. De bruikbaarheid en geschiktheid van de geselecteerde berekeningen voor het doorrekenen van maatregelen moet in de toekomst worden beoordeeld.

De Hydra database fysica bevat per locatie voor allerlei combinaties van stormcondities (afvoer, meerpeil/zeewaterstand, wind en toestand van de kering) de lokale waterstand en de lokale golfvariabelen (golfhoogte, golfrichting en golfperiode). Om een probabilistische berekening uit te voeren is Hydra statistiek nodig over deze combinatie van condities. Daarnaast moet het model rekening houden met de onderlinge afhankelijkheden en correlaties tussen randvoorwaarden.

De stochasten afvoer en meerpeil variëren met een andere tijdschaal dan windsnelheden, windrichtingen en zeewaterstanden. Afvoer en meerpeil worden ook wel trage stochasten genoemd, windsnelheden, windrichting en zeewaterstanden de snelle stochasten. De afhandeling van de verschillende tijdschalen is ook onderdeel van de Hydra statistiek. De Hydra statistiek levert informatie over de kans van voorkomen van doorrekenende combinaties.

Naast de fysica (waterbeweging en golven) is ook het profiel van de waterkering bepalend voor de wijze waarop de invloedsvariabelen de waterkering belasten. De golfoploop en golfoverslag wordt beïnvloed door de taludhelling en de taludruwheid van de waterkering, de oriëntatie van de waterkering ten opzichte van de hydraulische belasting en het profiel van de waterkering (aanwezigheid van een dam of voorland). Deze informatie is opgenomen in de Database Waterkering.

2. Uitvoer van Hydra-Zoet

Hydra-Zoet combineert de Hydra database fysica (met informatie over de maximale waterstand per locatie) met de database statistiek (met informatie over de gerelateerde kansen) en bepaalt daarmee per locatie met bijbehorende dijkkenmerken, de waterstand en het hydraulische belasting niveau (HBN) als functie van de herhalingstijd.

Onderdeel van de uitvoer van Hydra-Zoet is ook het zogenaamde illustratiepunt (IP) met de combinatie van rivierafvoer, windsnelheid, windrichting en meerpeil/zeewaterstand die de grootste kansbijdrage heeft aan de belasting bij een gekozen beschermingsniveau (herhalingstijd). Dit geeft inzicht in de combinatie van omstandigheden die het meest bedreigend zijn.

Hydra-Zoet levert als uitkomsten:

- Waterstanden als functie van de herhalingstijd
- Benodigde kruinhoogte (het hydraulisch belastingniveau - HBN) als functie van de herhalingstijd
- De overschrijdingskansen van de actuele kruinhoogte
- De overstromingskansen van de kering

Om de overstromingskansen van de kering van de referentiesituatie in 2015 te bepalen, wordt in Hydra-Zoet gebruik gemaakt van de omreken Tabellen van WV21 (Deltares, 2011b). In deze omreken Tabellen is een vertaling gemaakt van overschrijdingskansen van

waterstanden naar een overstromingskans van de dijk. Deze omrekentabel is beschikbaar voor 2015. Uitgangspunt bij de omrekening in WV21 is dat het watersysteem op orde is³.

De huidige sterkte-eigenschappen van de dijk zijn dus niet in het bepalen van de overstromingskans meegenomen. Dit gebeurt momenteel wel in het project Veiligheid Nederland in Kaart (VNK). In VNK worden de overstromingskansen voor elke dijkkring berekend en wordt het lengte effect voor belastingen in beeld gebracht.

3.3.4 *Toepassing Module voor de beoordeling van de veiligheidsopgave*

Belangrijkste uitvoer van het Deltamodel voor Waterveiligheid is de uiteindelijke veiligheidsopgave. Dit is in feite de bepaling van het verschil tussen de actuele norm belasting en de aanwezige sterkte van de waterkering. Aangezien er verschillende belasting en sterkteparameters zijn, zijn er verschillende parameters voor de veiligheidsopgave gedefinieerd.

Om de sterkte van de waterkering te beoordelen wordt gekeken naar kruinhoogte (is de kering hoog genoeg om de hydraulische belasting als gevolg van overloop of golfoverslag te keren) en geotechnische stabiliteit (macrostabiliteit en piping). Bij de doorvertaling van de uitkomsten van Hydra-Zoet naar een veiligheidsopgave gebruikt het Deltamodel de resultaten van de Dijksterkte Analyse Module (DAM) om de referentiewaarden van de sterkte van de waterkeringen af te leiden. Met de Dijksterkte Analyse Module (DAM) wordt de sterkte van een waterkering beoordeeld.

Parameters voor de veiligheidsopgave zijn:

- Veiligheidsopgave toetspeil (waterstand bij vigerende norm)
- Veiligheidsopgave voor golfoverslag (kruinhoogteopgave, is de kering hoog genoeg)
- Veiligheidsopgave buitendijks gebied
- Veiligheidsopgave voor piping
- Veiligheidsopgave voor macrostabiliteit binnenwaarts talud

De veiligheidsopgaven worden allemaal uitgedrukt in een fysieke maat: een hoogtemaat in meters. Voor de eerste drie veiligheidsopgaven is dat niet vreemd. Met DAM wordt de veiligheidsopgaven (bijvoorbeeld het breedte tekort van het profiel) voor de geotechnische stabiliteit ook teruggerekend naar een kritieke waterstand.

Op hoofdlijnen wordt dit als volgt gedaan. Gegeven een dijkprofiel, wordt een reeks waterstanden doorgerekend, en wordt bepaald bij welke waterstand het dijkprofiel faalt voor het faalmechanisme piping en macroinstabiliteit. De waterstand waarbij het dijkprofiel faalt wordt de kritieke waterstand voor piping en de kritieke waterstand voor macroinstabiliteit genoemd.

Met Hydra-Zoet is de waterstandsstatistiek afgeleid. De waterstand als functie van de overschrijdingskans is daardoor op elke dijklocatie bekend. De wateropgave voor beide faalmechanismen volgt uit de vergelijking tussen de waterstand die hoort bij de actuele norm (uit Hydra-Zoet) en de kritieke waterstand waarbij de kering faalt. Dit levert een wateropgave uitgedrukt in meters. Ook kan de kans die hoort bij de kritieke waterstanden worden vergeleken met de vigerende norm. Indien deze kans groter is dan de vigerende norm, dan ligt er een opgave.

³ Hydra-Zoet kan de dijkkringfactoren voor belastingen zelf uitrekenen. De omrekenfactoren zijn voor zowel de dijkkringfactoren voor belastingen als sterkte zijn vastgesteld door een commissie van deskundigen. Dit werk zou herhaald kunnen worden op basis van de nu beschikbare VNK-2 resultaten. Dat is nu niet gedaan.

3.3.5 Strategieën en maatregelen

Het Deltaprogramma bereidt strategieën voor om Deltabeslissingen ten aanzien van Waterveiligheid op nationaal niveau te kunnen nemen en om een oplossing te bieden voor waterveiligheidsopgaven per deelprogramma.

Een opsomming van mogelijke maatregelen binnen die strategieën is:

- Dijkversterkingsmaatregelen, bijvoorbeeld klimaatdijken/deltadijken, flexibele keringen en damwanden.
- Rivierverruimingsmaatregelen, bijvoorbeeld grootschalige uiterwaardmaatregelen en buitendijkse maatregelen (hoogwatergeulen en dijkteruglegging).
- Grootschalige maatregelen c.q. systeemingrepen, bijvoorbeeld nieuwe (groene) rivieren, retentiegebieden en compartimentering, (nieuwe) beweegbare keringen, of een andere waterverdeling over de bestaande riviertakken (herverdeling water over splitsingspunten) zoals het (extra) ontzien van de Lek tijdens piekafvoeren. Dit betekent dat de rivierafvoer anders moet worden verdeeld en/of moet worden omgeleid.
- Naast deze maatregelen wordt aanvullend gekeken naar het concept meerlaagse veiligheid. Dit betekent naast of in aanvulling op preventieve maatregelen (1e laag) ook kijken naar maatregelen in het ruimtelijk domein (2e laag) en op gebied van calamiteitenbeheersing (3e laag).

Het doorrekenen van strategieën en maatregelen vraagt om aanpassingen op verschillende niveaus in het Deltamodel. Na het doorvoeren van de aanpassingen kunnen de nieuwe veiligheidsopgaven voor de situatie met maatregel worden bepaald en vergeleken met de situatie zonder maatregel voor hetzelfde zichtjaar en Deltascenario.

Aanpassingen kunnen nodig zijn op verschillende niveaus, bijvoorbeeld:

- Als de gebiedsinrichting wordt veranderd door een maatregel, bijvoorbeeld door één of meerdere grootschalige maatregelen c.q. systeemingrepen (nieuwe rivieren, retentiegebieden, compartimentering), dan moeten de fysische modellen worden aangepast en de productiesommen opnieuw worden gemaakt. De Hydra database fysica krijgt dan een andere inhoud.
- Soms is alleen een aanpassing in de Hydra statistiek nodig. Als een ander Deltascenario wordt beschouwd, met bijvoorbeeld hogere afvoeren, moeten de statistische invoergegevens worden aangepast. Bij sommige maatregelen, bijvoorbeeld een ander streefpeil voor het IJsselmeer, moet de statistiek ook worden aangepast.
- Als de waterkering wordt aangepast, door daar bijvoorbeeld een voorland aan te leggen of de dijk te voorzien van een berm, moeten de invoergegevens voor de waterkering worden aangepast. De profielinformatie is belangrijk voor de wijze waarop de hydraulische belasting aan de teen van een kering doorwerkt naar de kruin van de kering.
- Bij een extra kering om het water op een andere manier te sturen of te keren, moet het rekenhart van Hydra-Zoet worden uitgebreid. De nieuwe kering moet in de probabilistische formules worden verwerkt met een geëigende faalkans voor het niet sluiten (de kans op een falende (d.w.z. niet sluitende) kering).
- Het kan ook zijn dat aanpassingen in meerdere onderdelen van het Deltamodel van een bepaald deelprogramma nodig zijn. Ook kan het zijn dat een maatregel in een bepaald deelprogramma invloed heeft op andere deelprogramma's, waardoor ook onderdelen van andere deelmodellen moeten worden aangepast.

De Waal (2012) geeft aanwijzingen voor het gebruik van het Deltamodel voor Waterveiligheid. Hij geeft voor een aantal maatregelen op globale wijze aan welke aanpassingen in het Deltamodel nodig zijn, om het effect van een maatregel of ander Deltascenario te beoordelen. Bijlage C bevat de aanwijzingen uit De Waal (2012).

Doorvoeren van concrete aanpassingen kan soms vrij complex zijn, waarbij afstemming tussen de deelprogramma's nodig is. Hoofdstuk 5 beschrijft de uitwerking van een aantal

concrete voorbeelden waarin geïllustreerd wordt welke stappen er gezet moeten worden om het effect van maatregelen door te rekenen. Er is daarbij ook aandacht voor de informatie-uitwisseling tussen deelprogramma's.

4 Zoetwatervoorziening in het Deltaprogramma

4.1 Benadering van Zoetwatervoorziening in het Deltaprogramma

Het deelprogramma Zoetwater gaat in op de vraag hoe kan worden gezorgd voor voldoende zoet water op de juiste plek, op het juiste moment en van de juiste kwaliteit. De vraag naar zoet water neemt in de toekomst door klimaatverandering toe, maar bijvoorbeeld ook door veranderingen in de land- en tuinbouw en de industrie. Door de bevolkingsgroei gebruiken ook steeds meer burgers zoet water. Tegelijkertijd kan door klimaatverandering het aanbod van zoet water afnemen. Het deelprogramma Zoetwater neemt het beleid onder de loep en brengt problemen en mogelijke oplossingen in kaart. De centrale vraag hierbij is wanneer en waar watertekorten ontstaan en hoe deze watertekorten tegen aanvaardbare (maatschappelijke) kosten kunnen worden beperkt. Een belangrijke rol in de Zoetwatervoorziening is daarom weggelegd voor het bepalen van de gevolgen van de watertekorten voor de sectoren/functies.

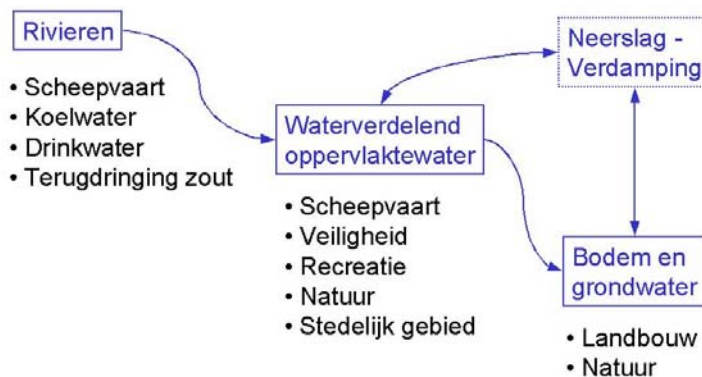
In algemene zin geldt dat een watertekort is gedefinieerd als het verschil tussen de gevraagde en beschikbare hoeveelheid water van de juiste kwaliteit. De belangrijkste potentiële oorzaken voor een watertekort zijn:

- Een hoog neerslagtekort (hydrologie)
- Een lage rivierafvoer (hydrologie)
- Fysieke beperkingen van de aanvoermogelijkheden (infrastructuur)
- Niet optimale verdeling van het beschikbare water (operationele verdeling)
- Een verslechterende waterkwaliteit door verzilting, opwarming en minder verdunning van verontreinigende stoffen (als gevolg van bovengenoemde factoren)

Watertekorten uit zich in:

- het grondwater, met als gevolg bijvoorbeeld verdampingsreductie, diep uitzakkende grondwaterstanden en beregeningsverbod;
- het oppervlaktewater, met als gevolg bijvoorbeeld peiluitzakking, beschikbaarheid voor inname ten behoeve van beregening en doorspoeling;
- de waterkwaliteit, met als gevolg onder andere eutrofiering, hoge chlorideconcentraties, zuurstofloosheid en aanwezigheid van blauwalg.

De wateraanvoer in droge perioden begint grofweg bij de grensoverschrijdende aanvoer door de grote rivieren. Het water uit de grote rivieren wordt verdeeld via de rijkswateren of grotere regionale wateren, zoals kanalenstelsels en boezemsystemen. Dit water wordt weer verdeeld over de overige regionale en lokale wateren. De rijkswateren, regionale wateren, lokale wateren en kunstwerken om het water te verdelen zijn in beheer bij de waterbeheerders (Rijkswaterstaat, waterschappen en incidenteel provincies). Door infiltratie en beregening komt het water vanuit het oppervlaktewater beschikbaar in de bodem voor de landbouwgewassen en de natuur.



Figuur 6: De wateraanvoerketen (RIZA, 2005).



Figuur 7: De kranen voor waterverdeling in Nederland (RIZA, 2005).

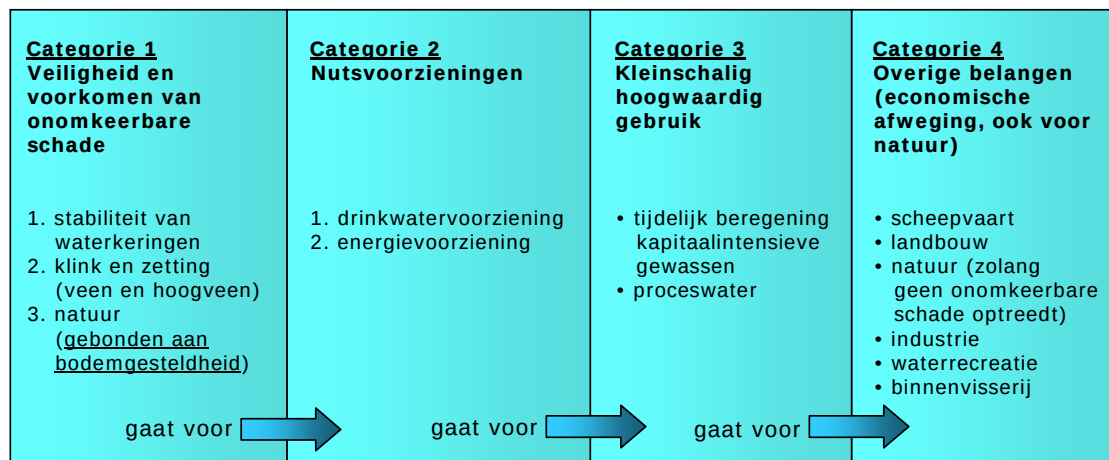
In Figuur 6 is de beschreven 'wateraanvoerketen' samengevat, met daarin aangegeven in welke sectoren met name sprake kan zijn van een watertekort.

De belangrijkste waterlopen waarmee water in tijden van droogte kan worden aangevoerd en via welke het water kan worden verdeeld zijn weergegeven in Figuur 7.

Met name in de hogere gebieden zoals de Veluwe, Oost-Nederland, Zuid-Limburg en delen van Brabant en Zeeland zijn de mogelijkheden om water aan te voeren in tijden van droogte beperkt. In de overige delen van Nederland is doorgaans wel infrastructuur voor de aanvoer van water aanwezig. De waterverdeling over de Rijntakken wordt geregeld met de stuw te Driel. In Friesland wordt water ingelaten uit het IJsselmeer en deels doorgevoerd naar Groningen via Gaarkeuken. Uit het IJsselmeer kan verder water worden opgepompt naar Drenthe en Groningen via het Zwarte Water, Meppelerdiep en de Drentse kanalen. Ook in Noord-Holland, de Noordoostpolder en Oostelijk en Zuidelijk Flevoland wordt water ingelaten vanuit het IJsselmeer. Het westen van Nederland en Zuid-Holland worden van water voorzien via de grote rivieren. In zeer extreme droge situaties kan naar deze gebieden ook water worden aangevoerd via alternatieve aanvoerroutes zoals de Kleinschalige Water Aanvoervoorzieningen (KWA) en de Tolhuissluisroute. Brabant voert water aan via de Zuid-Willemsvaart, welke water onttrekt aan de Maas. In Overijssel wordt in tijden van droogte water onttrokken aan de Vecht en indien nodig aan de IJssel via de Twentekanalen en het Overijssels kanaal.

Bij de beschikbaarheid van water gaat het daarbij overigens niet alleen om voldoende water, maar ook om water van voldoende kwaliteit. Dit geldt voor verschillende gebruiksfuncties, bijvoorbeeld landbouw en natuur, maar ook voor de drinkwatervoorziening en industriële processen. Voor de beschikbaarheid van koelwater is daarnaast ook de temperatuur van belang.

Naast de fysieke infrastructuur is de verdeling van water in extreem droge jaren van belang, met name als moet worden afgewogen tussen verschillende belangen. De operationele verdeling van water in droge perioden is vastgelegd in de zogenaamde verdringingsreeks. In de verdringingsreeks is het officiële nationale beleid vastgelegd (Figuur 8).



Figuur 8: De landelijke verdringingsreeks voor verdeling van water.

Naast de nationale verdringingsreeks worden door de regionale waterbeheerders regionaal geoptimaliseerde verdringingsreeksen uitgewerkt.

Maatregelen en/of strategieën die ten doel hebben om de zoetwatervoorziening te verbeteren en de toenemende watertekorten ten gevolge van toekomstige veranderingen (uitgedrukt in zowel socio-economische- als klimaatscenario's) te verminderen, kunnen worden onderverdeeld in de volgende hoofdgroepen:

- Ingrepen in het hoofdwatersysteem (waterverdeling Rijntakken, peilbeheer IJsselmeer, verondiepen vaargeul etc.)
- Ingrepen in het regionale watersysteem (waterconservering, water vasthouden, verandering teelten etc.)
- Anders omgaan met watergebruik (optimalisatie lekverliezen, doorspoeling op waterkwaliteit, anticiperen op droogte etc.)
- Anders omgaan met prioriteiten (verdere optimalisatie verdringingsreeks)

Voor de maatregelen geldt dat deze tegen aanvaardbare (maatschappelijke) kosten de watertekorten moeten kunnen beperken. De gevolgen van watertekorten worden daarom vertaald naar consequenties, waar mogelijk gemonetariseerd, voor doorgaans de volgende sectoren/functies:

- Veiligheid
- Natuur (terrestrisch en aquatisch)
- Stedelijk gebied
- Industrie
- Energievoorziening
- Drinkwatervoorziening
- Scheepvaart
- Landbouw
- Recreatie
- Visserij

De baten van de maatregelen voor deze sectoren/functies zijn van groot belang om de afweging te kunnen maken voor investeringen. In eerdere Droogtestudies is gebleken dat maatregelen die de waterbeschikbaarheid verbeteren niet zonder meer kosteneffectief zijn (Riza, 2005).

4.2 Modellen voor screening en analyse

Voor de berekening van de zoetwatervoorziening wordt gebruik gemaakt van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) versie 3.0 (zie achtergronddocumentatie) in combinatie met het Landelijks Sobek model (LSM versie 1.0). Het NHI is een geïntegreerd modelsysteem dat geheel Nederland (exclusief de Waddeneilanden) beschrijft. Het LSM berekent meer gedetailleerd de waterbeweging in het waterverdelingsnetwerk. Het NHI heeft ten doel de landelijke analyse van de watervraag, waterverdeling en waterbeschikbaarheid bij veranderende, droger wordende, klimaatomstandigheden te faciliteren en de effecten van maatregelen te voorspellen. Dit betekent dat de nadruk van het model ligt op adequate simulatie van:

- de waterbeschikbaarheid op de Rijkswateren (het Hoofdwatersysteem);
- de behoefte aan zoetwater in regionale deelsystemen van Nederland, tijdens gemiddelde en droge omstandigheden;
- de watervraag en de verdeling van het beschikbare zoete water binnen Nederland, rekening houdend met de zoutconcentratie door zoutbelasting uit inlaat en kwel;
- de hydrologische effecten van wijzigende beschikbaarheid van zoetwater voor het landgebruik ten gevolge van de toekomstscenario's, inclusief die van strategieën en maatregelen om hier mee om te gaan.

Het NHI levert daarnaast input voor de effectmodellen. Hieronder vallen onder andere de effectmodellen die de impact van droogte op natuur (het model DEMNAT en HABITAT), landbouw (het model AGRICOM) en scheepvaart (het model BIVAS) beschrijven. De effectmodellen geven inzicht in de gevolgen en de kosten van maatregelen. Deze vallen

buiten het Deltamodel en maken onderdeel uit van het Deltainstrumentarium, maar zijn wel opgenomen in de Rekenfaciliteit. De effectmodellen stellen eisen aan de modelresultaten. Voor bijvoorbeeld het effectmodel voor scheepvaart is een adequate simulatie van de waterdiepte in vaarwegen van belang. Bij de beschikbaarheid van water gaat het daarnaast niet alleen om voldoende water, maar ook om water van voldoende kwaliteit. Dit geldt voor verschillende gebruiksfuncties, bijvoorbeeld landbouw en natuur, maar ook voor de drinkwatervoorziening en industriële processen. Voor de beschikbaarheid van koelwater is daarnaast de simulatie van de temperatuur nodig.

De effectmodellen beschrijven de baten van de maatregelen en zijn daarmee van groot belang om de afweging te kunnen maken voor investeringen. Omdat deze effecten ook, en voor sommige functies enkel, in het regionale watersysteem plaats vinden, betekent dit dat het model niet alleen in staat moet zijn om de waterverdeling in het hoofdsysteem juist te beschrijven, maar ook in staat moet zijn om de regionale waterverdeling en het regionale grondwatersysteem adequaat te simuleren.

Modellen voor screening

De grootte van het NHI model, de gevraagde mate van detail en de beoogde rekenperiode zorgt voor lange rekentijden. Vanwege de lange rekentijden is een aanvullend model voor screening wenselijk: het NHI-light. Het NHI-light is in ontwikkeling en maakt daarom geen onderdeel uit van Deltamodel 1.0. Het model om te screenen is bedoeld om snel en efficiënt een globale inschatting te maken van mogelijke strategieën en kansrijke maatregelen. Verondersteld wordt dat de modellen voor screening globaal voldoende informatie geven om een voorkeursrichting voor maatregelen te identificeren. De voorkeursstrategieën worden doorgerekend met het analysemodel.

Als de rekentijden geen of minder een bezwaar zijn, wordt aanbevolen om berekeningen direct met het analysemodel uit te voeren. Als de rekentijden een bezwaar vormen en minder grote nauwkeurigheid is vereist, kan worden overwogen om met het screeningsmodel te rekenen, of voor enkele karakteristieke jaren te rekenen in plaats van de volledige beschikbare reeks.

Modellen voor analyse

Voor bovenstaande modelleringsopgave wordt het NHI gebruikt. Het NHI bestaat uit de volgende gekoppelde modellen:

1. MODFLOW (verzadigde zone);
2. MetaSWAP (onverzadigde zone);
3. MOZART (regionaal oppervlaktewater met beperkte omvang, detailsysteem);
4. Distributiemodel (DM, grotere regionale wateren zoals boezemsystemen en het landelijk oppervlaktewater).

Daarnaast wordt het NHI gekoppeld aan het Landelijk Sobek Model voor een meer gedetailleerde berekening van de waterbeweging en waterkwaliteit (LSM, grotere regionale wateren zoals boezemsystemen en het landelijk oppervlaktewater).

Bijlage B beschrijft de modelonderdelen van het Deltamodel voor het deelprogramma Zoetwater (Ruijgh, 2012). De bijlage illustreert de koppeling tussen de verschillende modellen in zogenaamde workflows.

MODFLOW berekent de grondwaterstroming in de verzadigde zone. De ondergrond is geschematiseerd met 7 watervoerende pakketten en 6 scheidende lagen en heeft een modelgrid met celgroottes van 250x250 meter. Daarboven wordt de onverzadigde zone berekend met MetaSWAP, dat gekoppeld is aan MODFLOW. Deze twee modellen vormen het ondergrondmodel en berekenen onder andere grondwaterstanden, fluxen en verdamping. Berekeningen worden uitgevoerd op dagbasis. De uitvoer van deze modellen is een belangrijke invoer voor de effectmodellen voor natuur en de landbouw.

De vraag en het aanbod van landelijk oppervlaktewater wordt berekend met MOZART, DM en desgewenst aanvullend met LSM. De modellen berekenen de waterverdeling in het detailsysteem (MOZART), het regionale watersysteem en het hoofdwatersysteem (beide DM of LSM). De modellen bepalen bijvoorbeeld waar water beschikbaar is en of aan de vraag van een regio kan worden voldaan.

Omdat de mogelijkheden van het DM te beperkt zijn om 1) voldoende nauwkeurige waterkwaliteitsberekeningen te maken, 2) voldoende nauwkeurig de waterstanden in de Rijkswateren te berekenen en 3) de ontwikkeling van de watertemperatuur te berekenen, is in het Deltamodel het LSM opgenomen aanvullend op de berekeningen met NHI.

4.3 Toepassing analysemodellen

4.3.1 Toepassingsbereik en aandachtspunten

Toepassingsbereik

Het NHI is een geïntegreerd modelsysteem dat geheel Nederland (exclusief de Waddeneilanden) beschrijft. Het model wordt ingezet om enerzijds de gevolgen van toekomstige ontwikkelingen op de waterbeschikbaarheid en de daarvan afhankelijke functies te kwantificeren en anderzijds om inzichtelijk te maken wat de effectiviteit van maatregelen en strategieën is in het beperken van de gevolgen van een tekort aan water.

Hierbij geldt het volgende voor het gebruik in het NHI:

- Toekomstscenario's
De toekomstscenario's voor 2050 en 2100 beschrijven zowel de socio-economische veranderingen (waaronder veranderingen in grondgebruik en bodemdaling) als de klimaatverandering (waaronder zeespiegelstijging, neerslag, verdamping en rivierafvoer).
De socio-economische veranderingen zijn gemodelleerd in het NHI en beschikbaar als modelinvoer voor de referentiesituatie (2015), 2050 en 2100. De klimaatverandering is beschikbaar als randvoorwaarden van het model en beschikbaar voor het huidige klimaat, het klimaat van 2050 en 2100. De gebruiker dient gebruik te maken van de beschikbare modelbestanden. De modellering van de toekomstscenario's in het NHI is beschreven in Hunink et al. (2013).
- Maatregelen/strategieën
Maatregelen in het kader van de zoetwatervoorziening worden genomen in het hoofdwatersysteem in beheer bij Rijkswaterstaat of het regionale watersysteem. De maatregelen zullen met name worden gemodelleerd in het DM/LSM en Mozart en minder in het ondergrondmodel. Dit zijn maatregelen in het kader van:
 - Ingrepen in het hoofdwatersysteem
 - Ingrepen in het regionale watersysteem
 - Anders omgaan met watergebruik
 - Anders omgaan met prioriteiten

Het Deltamodel focust op de nationale waterverdeling en de nationale watervoorziening. Voor gedetailleerde analyses in de regionale watersystemen is het NHI op voorhand minder geschikt. Bij gebruik voor gedetailleerde regionale analyses zal allereerst de geschiktheid van het NHI model in het betreffende gebied moeten worden getoetst.

Aandachtspunten

In de functionele specificatie, de toetsing van het NHI door de STOWA en regionale Droogtestudies zijn enkele aandachtspunten van het NHI voor het voetlicht gebracht. De belangrijkste hiervan zijn:

- Prioriteiten in de verdringingsreeks:
In het model is de prioritering van de landelijke verdringingsreeks opgenomen. De prioritering in de regionale watersystemen, die vaak in regionale verdringingsreeksen is opgenomen, is niet of niet nauwkeurig in het model opgenomen. Op korte termijn (2013) worden hiervoor wel functionaliteiten ontwikkeld, maar deze zijn niet beschikbaar in Deltamodel 1.0. Dit kan betekenen

dat binnen de regio's een te grof beeld van de toekenning van het schaarse water ontstaat. Vooralsnog wordt er van uitgegaan dat het beeld voor de landelijke analyses voldoende nauwkeurig is.

- **Doorspoeling/peilbeheer:**
Doorspoeling in de regio's is in het model opgenomen als vaste waarde over een vaste periode in het jaar. In werkelijkheid is dit echter meer variabel en wordt veelal doorgespoeld op basis van de waterkwaliteit en/of andere parameters. Dit kan tot een hogere of lagere watervraag aan, en beschikbaarheid op, het hoofdsysteem leiden. Hetzelfde geldt voor het peilbeheer, waarbij in MOZART en het DM meestal een zomer- en winterpeil kan worden opgegeven. Een meer geavanceerd actief operationeel (peil)beheer kan vooralsnog niet in het DM/LSM worden gemodelleerd.
- **Zout:**
De modellering van zout in de bodem is beperkt, berekening van de zoetwaterlens bij slootafstanden en drainafstanden van 50 tot 100 meter is enkel met grote onzekerheid te simuleren in de 250x250 m schematisatie van het model. Dit heeft consequenties voor bijvoorbeeld de schatting van de effectiviteit van maatregelen op de opbrengsten in de landbouw (de vermindering van zoutschade) en de uitspoeling van zout.
- **Waterkwaliteit:**
Waterkwaliteitsberekeningen voor chloride en temperatuur zijn in het LSM opgenomen. In regionale droogtestudies is geconcludeerd dat ook de zuurstofhuishouding van het water in de toekomst drastisch kan veranderen en met name grote invloed heeft op het wel of niet bereiken van de in de KRW gesteld doelen. De berekening van de zuurstofhuishouding is vooralsnog niet opgenomen in Deltamodel 1.0.
- **Stedelijk gebied:**
Het stedelijk gebied is op een sterk vereenvoudigde manier gemodelleerd. Uitspraken over knelpunten in stedelijk gebied of de gevolgen van klimaatverandering voor stedelijk gebied op basis van modeluitkomsten zijn op voorhand onbetrouwbaar.
- **Natte extremen:**
Het NHI is vooralsnog gericht op gemiddelde en droge situaties. Het model is getoetst op met name de juiste berekening van de droge omstandigheden. Dit betekent dat uitspraken over natte situaties, bijvoorbeeld de uitspoeling van stoffen in extreme situaties en de natschade voor gewassen in Deltamodel niet met voldoende nauwkeurigheid mogelijk zijn. In 2012 is een ontwikkeling gestart om o.a. natschade in effectmodellen voor de landbouw te verbeteren. Eerste resultaten van deze ontwikkeling zijn begin 2013 beschikbaar.

4.3.2 *Toepassing voor bepalen droogteproblematiek en effecten van maatregelen en strategieën*

Gebruik NHI voor analyse

Voor de zoetwatervoorziening wordt het NHI met de bijbehorende randvoorwaarden en scenario's gebruikt. Omdat het rekeninstrument, de modelschematisatie, de randvoorwaarden (neerslag, verdamping, rivierafvoer en zeewaterstand) en de modellering van de toekomstscenario's (grondgebruik, maaiveldafval, berekening) binnen het NHI beschikbaar zijn is de uniformiteit en consistentie in het gebruik gewaarborgd. Het doorrekenen van een (onder)deel van het NHI wordt afgeraden vanwege de afhankelijkheden tussen de modelonderdelen en de regionale waterverdeling.

Gebruik randvoorwaarden

Zoals vermeld zijn de randvoorwaarden voor berekeningen met het NHI standaard beschikbaar. De randvoorwaarden voor het model betreffen de rivierafvoer, de zeewaterstand en neerslag en verdamping over een periode van 35 jaar. Voor de analyses en de bepaling van probabilistiek (ook voor de effectmodellen) wordt een berekening met een lengte van 35 jaar uitgevoerd en dient de statistiek achteraf te worden afgeleid op basis van de uitkomsten van de modellen.

De randvoorwaarden zijn voor zowel het huidige klimaat als voor de Deltascenario's voor 2050 en 2100 beschikbaar. Door gebruik te maken van de beschikbare randvoorwaardensets is de uniformiteit en consistentie gewaarborgd.

In eerdere Droogtestudies (RIZA, 2005) en regionale droogtestudies is veelal gebruik gemaakt van het doorrekenen van karakteristieke jaren. In die studies is aangegeven dat de benadering met karakteristieke jaren niet altijd een voldoende beeld geeft van de droogteproblematiek, omdat:

- Het beperkte aantal karakteristieke jaren niet voor alle droogtekenmerken (bijvoorbeeld neerslagtekort, rivierafvoer, watertemperatuur en zoutbelasting) het gewenste palet aan herhalingsjaren kan representeren (bijvoorbeeld eens per twee jaar, eens per 10 jaar en eens per 100 jaar).
- Het beperkte aantal karakteristieke jaren door regionale spreiding van neerslag en verdamping niet voor alle regio's in Nederland een voldoende beeld geeft van het gewenste palet aan herhalingsjaren.
- De herhalingsjaren van een karakteristiek droogtejaar niet gelijk is aan de herhalingsjaren van de daarbij berekende effecten zoals landbouwschade en scheepvaartschade. Hierdoor kan de effectiviteit van maatregelen op basis van karakteristieke jaren niet of niet voldoende nauwkeurig worden bepaald.
- Voor de verschillende sectoren/functies verschillende kenmerken de droogteproblematiek beschrijven. Zo is voor bijvoorbeeld de bepaling van de droogteproblematiek voor natuur de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand over een langere reeks van belang, voor droogteschade aan de landbouw juist de jaarlijkse verdampingsreductie en voor scheepvaart de duur van de onderschrijding van een oppervlaktewaterstand.
- Uit eerdere droogtestudies (RIZA, 2005) is gebleken dat de focus voor de analyse van de kosteneffectiviteit met name moet liggen in het herhalingsjarenbereik van eens per jaar tot eens per tien jaar. Deze zijn goed afgedekt met een 35-jarige berekening.

Om dit te ondervangen wordt in het Deltamodel bij voorkeur gerekend met de volledige beschikbare langjarige reeks, zoals bijvoorbeeld voor de landbouwschade. In de screening kan wel worden gewerkt met het schatten van de effecten van maatregelen met behulp van enkele karakteristieke jaren.

Naast de randvoorwaarden is de beginvoorwaarde van de berekening nog van belang. Voor de trage grondwatersystemen kan een foute beginvoorwaarde lang doorwerken in de rekenresultaten. Aanbevolen wordt om voor het NHI een beginvoorwaarde mee te geven die past bij de hydrologische beginsituatie aan het begin van de 35-jarige berekening. De analyse vindt vervolgens plaats na 5 inspeeljaren, op basis van de overige 30 jaar van de reeks.

Beschrijving Deltascenario's

Ook de Deltascenario's zijn standaard beschikbaar voor berekeningen met het NHI voor zichtjaar 2050 en 2100. Het betreft zowel de randvoorwaarden, waaronder rivierafvoer, zeewaterstand, neerslag en verdamping (zie hierboven), als aanpassingen ten gevolge van sociaal economische ontwikkelingen.

Voor een uitgebreide beschrijving van de Deltascenario's en de vertaling daarvan naar het NHI wordt verwezen naar J. Hunink et al., 2013. Hier volstaan we met een beknopt overzicht met belangrijkste. In het NHI zijn de volgende toekomstige ontwikkelingen opgenomen:

- **Bodemdaling**
in het model is de verdergaande bodemdaling door met name delfstoffenwinning, oxidatie van veen en zetting van klei doorvertaald naar een maaiveldhoogte in 2050 en 2100. Verandering van grondgebruik of watersysteem door die bodemdaling is niet opgenomen in de scenario's.

- Veranderingen in landgebruik
Stedelijke uitbreidingen, wijzigingen in het areaal natuurgebied en landbouw zijn opgenomen in de Deltascenario's en als invoer voor het model beschikbaar. Bij de implementatie van de verandering in het landgebruik is rekening gehouden met wijziging van de teelten en het beheergedrag, zoals de berekening en de drainagekarakteristieken.
- Variaties binnen het landbouwkundig gebruik (buiten WLO scenario's) zijn niet opgenomen in de scenario's voor 2050. Dergelijke veranderingen kunnen echter wel gevolgen hebben op zowel de watervraag als de schade ten gevolge van droogte. Een voorbeeld van niet opgenomen wijzigingen zijn: 1) Toename van de temperatuur en aantal zonuren door klimaatverandering heeft veelal tot gevolg dat de watervraag verder toeneemt en watertekorten dus vaker optreden én dat de schade die ontstaat door watertekort door de hogere gewaswaarde hoger zal worden dan met het huidige landgebruik. Met name in het Global Economy scenario in combinatie met het W of W+ scenario is dit een plausibele toekomstverwachting; 2) Door verdere verbetering van de waterkwaliteit en het langzaam verdwijnen van bruinrot ontstaat in de toekomst (2050 of 2100) mogelijk de situatie dat berekening van aardappels weer mogelijk wordt. Dit kan overschakeling op aardappelen betekenen in bijvoorbeeld de noordelijke kuststrook. Aardappels kennen een grotere watervraag door de gewenste berekening uit het oppervlaktewater en een hogere gewaswaarde dan de nu geteelde gewassen. De schade door droogte kan daardoor toenemen. Overigens worden door de hogere potentiële schade maatregelen om watertekorten te voorkomen mogelijk juist kosteneffectief.

Het is sterk aan te raden een gevoeligheidsanalyse van de waterbeschikbaarheid, de watertekorten en de gevolgen van droogte uit te voeren voor de Deltascenario's, vanwege:

- De bovengenoemde kanttekeningen bij de veranderingen van het landgebruik in de Deltascenario's.
- De gevolgen van socio-economische verandering in het bovenstroomse deel van de grote rivieren. De toekomstige veranderingen in de rivierafvoeren in de Deltascenario's zijn enkel bepaald door de gevolgen van klimaatverandering en niet door socio-economische veranderingen. Het is echter zeer goed mogelijk dat socio-economische veranderingen in het bovenstroomse deel van de grote rivieren invloed hebben op de waterbeschikbaarheid vanuit de grote rivieren, met name in de lage afvoeren.
- Mogelijk veranderingen in de snelheid van gewasgroei en het groeiseizoen ten gevolge van klimaatverandering (temperatuur, zonuren en CO₂-concentratie) zijn niet in de modellering van de Deltascenario's opgenomen. Dit kan echter invloed hebben op gewasschade en de watervraag uit de districten voor berekening, doorspoeling en peilbeheer.

Strategieën en maatregelen

De maatregelen die in het Deelprogramma Zoetwater worden doorgerekend kennen een belangrijke overlap met de gebiedsgerichte Deelprogramma's. De gebiedsgerichte Deelprogramma's richten zich daarbij met name op maatregelen in de Rijkswateren, Deelprogramma Zoetwater kijkt daarnaast ook naar maatregelen in de regio.

Maatregelen die in het kader van de zoetwatervoorziening zijn genoemd zijn onder te verdelen in maatregelen in het hoofdsysteem en maatregelen in het regionale systeem. Hieronder is aangegeven waar in de modellen aanpassingen moeten worden doorgevoerd. Een (niet uitputtende) opsomming van maatregelen is:

- Hoofdwatersysteem:
 - Haringvliet open, dicht, gedempt getij, aansluiten bij DPZWD
 - NWW open/dicht
 - Kering in Spui, Hollandsche IJssel
 - Wateraanvoer via KWA+ Waal, Betuwepand variant en Lek, ARK variant.
 - Wateraanvoer naar MWNL vanuit noorden ARK variant, Tolhuissluis variant
 - Spelen met extra water over de Lek via Driel
 - Regelbaar kunstwerk op de Pannerdense kop

- Verschillende peilvarianten op IJsselmeer (aansluiten bij DPIJsselmeer)
Over het algemeen kan worden gesteld dat ingrepen in het hoofdsysteem in het DM en LSM moeten worden gemodelleerd.
- Regionaal watersysteem:
 - Tijdelijke peilopzet boezem/regionaal watersysteem (modellering in DM/LSM)
 - Aanvoercapaciteit vergroten van inlaatwerken en watergangen (modellering in DM/LSM)
 - Water vasthouden in watergangen (modellering in MODFLOW/MOZART)
 - Gewijzigd schutten (modellering in DM/LSM)
 - Onderwater drainage/infiltratie in plaats van beregening (modellering in MODFLOW)
 - Peilgestuurde drainage (modellering in MODFLOW)
 - Lokaal waterberging in bekkens, plassen etc. (modellering in DM en/of MOZART)
- Anders omgaan met watergebruik
 - Verminderen doorspoeling/doorspoeling op waterkwaliteit (modellering in MOZART/DM/LSM)
 - Hergebruik RWZI effluent (modellering in DM)
 - Meer beregenen (modellering in METASWAP)
 - Efficiënt beregenen (modellering in METASWAP)
 - Verandering teelten (modellering in METASWAP)
- Anders omgaan met prioriteiten
 - Aanpassing/flexibiliteit in de verdringingsreeks (modellering in MOZART/DM)

In de Rekenfaciliteit zijn de modelschematisaties van de referentiesituatie en de Deltascenario's met bijbehorende randvoorwaardensets voorgeprogrammeerd. Binnen de Rekenfaciliteit zelf is het niet mogelijk een nieuwe modelschematisatie van maatregelen aan te maken. Dit dient door de gebruiker buiten de Rekenfaciliteit om te gebeuren. Voor de modellering van maatregelen betekent dit kort gezegd:

- Een kopie maken van het gehele model (alle Deltascenario's).
- Het onderdeel van modelschematisatie aanpassen waarin de maatregel moet worden gemodelleerd. NB: Dit dient in alle modelschematisaties te gebeuren, oftewel voor elk Deltascenario.
- Het model aan de Rekenfaciliteit aanbieden en een testberekening maken voor karakteristieke jaren. Vervolgens op basis daarvan toetsen of de maatregelen juist gemodelleerd zijn door te controleren of de rekenresultaten overeenkomen met de verwachtingen.
- Daarna de definitieve berekening aanzetten.

Voor het aanpassen van de modelbestanden voor het doorrekenen van maatregelen is gespecialiseerde kennis nodig van de modelschematisatie en het modelconcept van het NHI. Wij adviseren daarom om:

- Maatregelen en de beoogde modellering daarvan zo mogelijk te overleggen met de specialisten van Deltares en Alterra die nauw betrokken zijn bij de modelbouw.
- Bij de modellering van maatregelen altijd te toetsen of de uitkomsten plausibel zijn op basis van een berekening voor een (extreem) droog referentiejaar.
- De basisinformatie van de maatregelen in kaartvorm (GIS) bij te houden. Hierbij kan worden gedacht aan geografische informatie van peilveranderingen, maaiveldveranderingen etc.

Op voorhand kunnen niet alle aspecten van de modellering van maatregelen worden besproken. We geven hieronder wel enkele aanwijzingen voor aspecten waaraan moet worden gedacht.

- Het NHI is niet gemaakt en geschikt om maatregelen op kleine schaal door te rekenen en te beoordelen. Algemene uitspraken over veranderingen in het detailsysteem en de doorwerking daarvan op de waterbeschikbaarheid in het hoofdsysteem kunnen wel met het NHI worden bepaald. Dit betreft bijvoorbeeld wijziging van het grondgebruik, verandering van teelten en water vasthouden.

- Bij maatregelen waarin het grondgebruik wordt aangepast dient ingegrepen te worden in meerdere onderdelen van het NHI. Als bijvoorbeeld landbouw wordt omgezet in natuur of een ander type gewas wordt geteeld heeft dit gevolgen voor:
 - METASWAP: er moet een ander type gewas worden toegekend, eventuele berekening moet worden verwijderd of juist toegevoegd. Een mogelijk 'nieuw' type landbouwgewas moet worden opgenomen in de gewasdatabase. Voor een dergelijk nieuw type gewas zal dan ook in de effectmodellen voor natuur en/of landbouw moeten worden opgenomen.
 - MODFLOW: er moeten andere drainage/ontwateringskarakteristieken worden toegekend, de intensiteit van drainage verandert doorgaans door wijziging in de ontwatering.
 - MOZART: indeling in LSW's moet mogelijk worden aangepast, peilverandering en moet in de schematisatie worden opgenomen, de verdeling van water over de watergebruikers moet worden aangepast.
 - DM: prioriteiten in peilbeheer, doorspoeling en berekening moeten waar nodig worden aangepast.
- Aanpassingen in het areaal open water (verandering van natuur of landbouw in open water) dienen in meerdere modelonderdelen consistent te worden toegepast. In zowel METASWAP, MODFLOW, MOZART en/of DM komen definities voor het open water voor.
- De belasting door zoute kwel in het NHI is een benadering die sterk is gebaseerd op de huidige inrichting. Als in gebieden die gevoelig zijn voor zoute kwel maatregelen worden genomen die de grondwateraanvulling, en daarmee de zoet-zoutverdeling, beïnvloeden zal het NHI mogelijk onjuiste resultaten leveren. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een forse peilopzet op het IJsselmeer of het (deels) onder water zetten van Groot Mijdrecht. Om de effecten hiervan te bepalen zullen aanvullende analyses met NHI zoet/zout moet worden uitgevoerd.
- Maatregelen in de buurt van de landsgrenzen met België en Duitsland raken ook aan de modelgrenzen. Gezien de voorgestelde maatregelen in die gebieden zal geen extra rekening moeten worden gehouden met het verschuiven van deze grenzen. Wel geldt hier de kanttekening dat er van uit wordt gegaan dat in de buurlanden geen ingrijpende maatregelen worden genomen die significante invloed hebben op de hydrologische situatie in Nederland.
- De capaciteiten van inlaten zijn in de modellen doorgaans opgenomen als vaste capaciteit. In werkelijkheid wordt veelal onder vrij verval ingelaten en is de capaciteit bij groter peilverschil hoger. Voor bijvoorbeeld een peilverhoging op het IJsselmeer moet hier rekening mee worden gehouden. De inlaatcapaciteit naar de omliggende gebieden, waaronder de Friese boezem neemt hierdoor toe.
- Voor berekeningen waarbij externe verzilting een rol speelt wordt gebruik gemaakt van meer nauwkeurige modellen. Het Noordelijk Deltabekkenmodel berekent zoutconcentraties met randvoorwaarden (afvoeren) bepaald met het NHI/LSM. Vervolgens wordt met deze zoutconcentraties als randvoorwaarde weer een berekening gemaakt met het NHI/LSM om de impact op het omliggende regionale watersysteem te bepalen.

Bovenstaande lijst is niet uitputtend, maar geeft wel de complexiteit van de verbanden tussen de verschillende modelonderdelen weer. Een toetsing van de modellering van de maatregelen door specialisten en toetsing van de plausibiliteit van de uitkomsten is daarom noodzakelijk.

4.3.3 *Koppeling met regionale modellen*

De regionale modellen van de waterbeheerders (met name de waterschappen) zijn doorgaans ruimtelijk nauwkeuriger gemodelleerd dan het NHI model. De modellen zijn veelal niet opgesteld voor integrale studies en niet geschikt voor het doorrekenen van waterverdeling in droge situaties. De gedetailleerde grondwatermodellen bijvoorbeeld kennen veelal geen modellering van de watervraag, de wateraanvoer en de prioritering in de waterverdeling in tijden van waterschaarste.

De koppeling tussen de regionale modellen en het NHI zit daarom in:

- Het toetsen van het effect van maatregelen/inzichten waarvoor het NHI minder geschikt is. Vervolgens kan de kennis daarover weer worden vertaald naar een modelleringswijze of randvoorwaarde voor het NHI. Dit geldt voor zowel de modellering van het oppervlaktewater als het grondwater. Bij de eventuele ruimtelijke opschaling van de maatregelen uit regionale modellen naar het NHI moet worden gelet op de conceptuele verschillen tussen de modellen. Doorgaans kunnen maatregelen niet zonder meer worden overgenomen.
- Het overzetten van randvoorwaarden zoals grondwaterfluxen.
NB: het overzetten van oppervlaktewaterranden is af te raden omdat hier een sterke directe koppeling aanwezig is. Een andere watervraag van de regio leidt doorgaans tot een andere waterbeschikbaarheid in het hoofdsysteem. Dan zou het NHI idealiter 'online' gekoppeld moeten zijn aan het regionale model.
- Voor bepaalde effectmodellen, zoals voor de terrestrische natuur, zijn niet de extremen belangrijk, maar juist de gemiddelden. Regionale modellen leveren voor die gemiddelden in ieder geval ruimtelijke nauwkeurigere uitkomsten. Het is te overwegen om voor aanvullende detailberekeningen de voor de effectmodellen benodigde GHG/GVG/GLG en fluxen uit de regionale modellen over te nemen. Verwacht wordt dat de benodigde berekeningen dan ook worden uitgevoerd door de waterschappen. Consistentie en uniformiteit in de invulling van de toekomstscenario's en maatregelen is dan overigens moeilijk te controleren.

5 Toepassingen van het Deltamodel

5.1 Toepassingen Deltamodel

Het doorrekenen van strategieën en maatregelen vraagt om aanpassingen op verschillende niveaus in het Deltamodel. Na het doorvoeren van de aanpassingen kunnen de nieuwe opgaven voor de situatie met maatregel worden bepaald kan de effectiviteit van de maatregel voor Waterveiligheid of Zoetwater worden beoordeeld.

Het doorvoeren van concrete aanpassingen in het Deltamodel kan echter vrij complex zijn, waarbij afstemming tussen de deelprogramma's nodig is. Aan de hand van voorbeelden illustreert dit hoofdstuk het gebruik van het Deltamodel en geeft het inzicht in de complexiteit van maatregelen. De eerste twee voorbeelden illustreren het deelprogramma overstijgend gebruik. Het derde voorbeeld gaat over het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse

Voor waterveiligheid geeft De Waal (2012) aanwijzingen voor toepassing van het Deltamodel. Voor zoetwater wordt verwezen naar de (algemene) achtergrondrapportage van de deelonderwerpen binnen NHI (zie www.nhi.nu) en de specifieke aanpassingen voor NHI 3.0 (Hoogewoud et al, 2013).

In bijlage C is informatie overgenomen uit De Waal (2012) over aanpassingen voor een aantal maatregelen en scenario's, op het gebied van waterveiligheid in het Deltamodel. Hier volgt een beknopte samenvatting, voor de uitgebreidere beschrijving wordt verwezen naar De Waal (2012).

De aanpassingen kunnen gerelateerd zijn aan het gedrag van het watersysteem (de fysica of de statistiek van een watersysteem) en de statistiek van het hydraulisch belastingniveau (bijvoorbeeld door profielaanpassingen van de waterkering). Soms hebben de aanpassingen ook invloed op de referentiewaarden van de sterkte van de keringen, of gaat het om aanpassingen van actuele normen. Dan zijn aanpassingen nodig in de module om de veiligheidsopgave te bepalen. De Waal (2012) maakt onderscheid of de aanpassingen binnen of buiten de rekenfaciliteit moet gebeuren.

Aanvullend geven Geerse & Duits (2012) een globale toelichting op de benodigde aanpassingen in het Deltamodel, op basis van een aantal concrete maatregelen. Concreet gaat het om de keuze voor een ander streefpeil op het IJsselmeer, extra pompen/spuisluizen op het IJsselmeer, noodoverloophoegebieden in het Bovenrivierengebied, rivierverruiming, extra keringen in het Benedenrivierengebied, Waterberging op het Volkerak-Zoommeer, extra kering bij de Ketelbrug en de aanleg van bypass Kampen.

In dit hoofdstuk zijn voorbeelden uitgewerkt voor aanpassingen van het Deltamodel bij het doorrekenen van maatregelen / strategieën:

- Voorbeeld 1: Een verandering in de huidige afvoerverdeling over de Rijntakken
- Voorbeeld 2: Een peilverhoging op het IJsselmeer
- Voorbeeld 3: Doorwerking van onzekere morfologische ontwikkelingen

Het betreft een aantal complexere voorbeelden van toepassing van het Deltamodel, waarin meerdere modellen van verschillende deelgebieden in samenhang worden beschouwd.

De eerste twee voorbeelden illustreren hoe de aspecten veiligheid en zoetwatervoorziening in samenhang in één modelomgeving kunnen worden geanalyseerd. De voorbeelden gaan in op de stappen die gezet moeten worden om het effect van strategieën met deelprogramma overstijgende gevolgen door te rekenen. Ook wordt aangegeven welke informatie-uitwisseling er daarbij nodig is tussen de deelprogramma's.

Centrale vragen bij het deelprogramma overstijgend gebruik zijn:

- Wanneer beïnvloed je een ander deelprogramma?

- Hoe ga je om met de invloed van het ene deelprogramma op het andere?
- Welke informatie-uitwisseling moet er tussen de deelprogramma's plaatsvinden?
- Welke stappen moeten er worden gezet om de juiste informatie (o.a. randvoorwaarden) tussen deelprogramma uit te wisselen?

Standaard worden dergelijke strategieën als in voorbeeld 1 en 2 voor de twee zichtjaren en de vier Deltascenario's doorgerekend. Bij de uitwerking van de voorbeelden wordt een fictief voorbeeld gebruikt, waarbij voor het overzicht een keuze is gemaakt voor één zichtjaar en één Deltascenario.

Effectbepalingen met het Deltamodel worden beïnvloed door onzekerheden of uitgangspunten bij ontwikkeling en toepassing van het Deltamodel (zie paragraaf 2.5).

Voorbeeld 3 beschrijft hoe het effect van morfologische activiteit op de waterveiligheidsopgave kan worden geanalyseerd. Dit kan gebruikt worden om de gevoeligheid aan te tonen of om de robuustheid van een strategie te beoordelen. Zoals in paragraaf 2.5 is beschreven wordt in het Deltamodel rekening gehouden met de onzekere toekomstige ontwikkeling (klimaat en de sociaal-economisch) door bij elke berekening één of meerdere Deltascenario's door te rekenen. Andere onzekerheidsbronnen worden alleen genoemd en niet (standaard) meegenomen bij toepassingen met het Deltamodel. Met het Deltamodel kan de gebruiker wel inzicht krijgen in andere onzekerheden door het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses (zie paragraaf 2.5). Een gevoeligheidsanalyse geeft een eerste indruk van de invloed van onzekerheden op de waterstaatkundige voorspellingen en opgaven. Met behulp van robuustheidschecks kan worden beoordeeld of een maatregelenpakket binnen een strategie effectief blijft, indien bijvoorbeeld andere uitgangspunten in het model zijn meegenomen.

In de praktijk zullen alle strategieën voor alle scenario's en zichtjaren doorgerekend moeten worden. Om wille van de overzichtelijkheid wordt in navolgende paragrafen vaak slechts een combinatie van 1 zichtjaar en 1 scenario beschouwd. Hieronder wordt concreet gemaakt wat er, in welke volgorde, moet worden aangepast t.o.v. de referentie.

5.2 Voorbeeld 1: verandering van de huidige afvoerverdeling over de Rijntakken

Uit een landelijke kostenbatenafweging en de verkenningen voor de Deltabeslissing 'Actualisatie van veiligheidsnormen' kan blijken dat het aantrekkelijk is om de huidige afspraken over afvoerverdeling over de Rijntakken los te laten, en de rivierafvoer anders te verdelen. In dit voorbeeld gaat het om een strategie die bestaat uit grootschalige maatregelen c.q. systeeminterventies met als primair doel de waterveiligheidsopgave op te lossen. We kiezen bij de uitleg van dit voorbeeld voor de scenario's Warm/Stoom in 2050.

Dit voorbeeld houdt in:

- Zichtjaar 2050
- Maatgevende hoogwaterafvoer bij Lobith neemt toe. Een toename van 16.000 naar 17.000 m³/s als maatgevend debiet (1/1250).
- De zeespiegel stijgt. Dit voorbeeld gaat uit van een zeespiegelstijging van 35 cm t.o.v. 1985 (= 28 cm t.o.v. 2015).
- Lek wordt extra ontzien/ontlast vanaf een Bovenrijnafvoer van 7.000 m³/s. Dit betekent dat de rivierafvoer bij afvoeren groter dan 7.000 m³/s op de Bovenrijn op een andere manier wordt verdeeld over de Rijntakken.
- Handhaving van het streefpeil op het IJsselmeer. Uitgangspunt in dit voorbeeld is dat de huidige streefpeilen op het IJsselmeer worden gehandhaafd. Bij dit uitgangspunt heeft de verandering in de IJsselaafvoer (door de andere afvoerverdeling en de toename van de hoogwaterafvoer door klimaatverandering) geen invloed op het IJsselmeerpeil. De verandering in de IJsselaafvoer werkt dan alleen door in een verandering van de meerpeilstatistiek (namelijk bepaalde meerpeilen komen vaker voor). Als het niet meer mogelijk is om door middel van

spuilen onder vrij verval water te lozen (als gevolg van stijging van het waterpeil op de Waddenzee door zeespiegelstijging), dan is het vergroten van de pompcapaciteit nodig om water af te kunnen blijven voeren en het streefpeil op het IJsselmeer te handhaven.

Een verandering van de huidige afvoerverdeling over de Rijntakken beïnvloedt de deelprogramma's DP Rijnmond-Drechtsteden, DP IJsselmeer, DP Rivieren en DP Zoetwater. Een andere waterverdeling zorgt ervoor dat er meer of minder water wordt afgewenteld naar de deelgebieden.

De Waal (2012) heeft voor de aanpassing afvoerverdeling op splitsingspunten globaal aangegeven welke wijzigingen in het Deltamodel nodig zijn, zie Tabel 2. In eerste instantie zijn aanpassingen voorzien om de invloed te bepalen op het gedrag van de verschillende watersystemen: fysica en statistiek. Dit houdt concreet in (stap 1): aanpassingen in de fysische modellen, het opnieuw uitvoeren van berekeningen met de Hydra-database-processor, het aanmaken van een nieuwe Hydra database fysica en het aanpassen van de Hydra statistiek. Door deze aanpassingen veranderen de uitkomsten van Hydra-Zoet en moet de statistiek van de waterstanden en het hydraulisch belastingniveau opnieuw worden bepaald (stap 2). Tot slot moet het effect van de andere afvoerverdeling op de veiligheidsopgaven inzichtelijk worden gemaakt (stap 3).

Analyse-stap		Data	Buiten RF	Binnen RF
Gedrag watersysteem stap 1	fysica	Gebiedsschematisatie	✗	
		Hydra database fysica IJM, MM	☑	
		Hydra database fysica (excl. IJM, MM)		✗
	statistiek	Statistiek stochasten (excl. IJM-peil)	✗	
		Statistiek IJsselmeerpeil		✗
Statistiek HBN stap 2		Profiel buitentalud	☑	
		Statistiek HBN		✗
Veiligheidsopgave stap 3		Referentiewaarden HBN ('sterkte')	☑	
		Actuele normen	☑	
		Veiligheidsopgave		✗

Tabel 2: Aan te passen data bij aanpassing afvoerverdeling Splitsingspunten (De Waal, 2012)
NB de term RF betekent: "rekenfaciliteit" en slaat op het NMDC draaiende modellen

Hieronder wordt concreet gemaakt wat, in welke volgorde moet worden aangepast. Doordat een geautomatiseerde landelijke waterveiligheidsanalyse niet is gerealiseerd (omdat dit ook nadelen heeft), vraagt de aanpassing in afvoerverdeling op de splitsingspunten veel handwerk.

Bij het beschrijven van het stappenproces, werken we van benedenstrooms naar bovenstroomse richting. De eisen van het gebied dat stroomafwaarts ligt dicteren de eisen aan de waterstand van het gebied dat stroomopwaarts ligt.

DP Rijnmond Drechtsteden

De rivierafvoer die vanaf de Lek en de Waal het gebied van Rijnmond Drechtsteden in komt, zal bij rivierafvoer groter dan 7.000 m³/s op de Bovenrijn door de nieuwe afvoerverdeling anders worden. In het Benedenrivierengebied wordt het waterstandsverloop langs de riviertakken berekend met het SOBEK-RE model. De Rijn- en Maasafvoer vormen de randvoorwaarden op de bovenrand van het model. In het SOBEK model wordt de afvoerverdeling over de Rijntakken gespecificeerd. De verandering in afvoerverdeling moet daarom als eerste in het SOBEK model (gebiedsschematisatie fysisch model) worden ingevoerd. Met de Hydra-database-processor moeten de berekeningen met het SOBEK model opnieuw worden uitgevoerd, en moet de Hydra database fysica opnieuw worden aangemaakt.

Door klimaateffecten verandert de maatgevende hoogwaterafvoer van 16.000 m³/s naar 17.000 m³/s. Daardoor verandert ook de afvoerstatistiek (de kans van voorkomen van de doorgerekende afvoerniveau's). Ook verandert door zeespiegelstijging de statistiek van de doorgerekende zeewaterstanden. Deze statistische veranderingen moeten in de Hydra statistiek worden verwerkt.

Te doorlopen stappen voor Rijnmond Drechtsteden:

- De andere afvoerverdeling over de Rijntakken beïnvloedt het waterstandsverloop langs de riviertakken als functie van de Bovenrijn afvoer. Een aanpassing is nodig in het Sobek model, namelijk het invullen van andere afvoeren.
- De 108 Sobek berekeningen uit de Hydra database fysica moeten opnieuw worden doorgerekend met een nieuwe afvoerverdeling. Het uitvoeren van deze berekeningen kan na het uploaden van het aangepaste Sobek model automatisch met Hydra-database-processor.
- Dit resulteert in een nieuwe Hydra database fysica.
- De afvoerstatistiek (dit geldt ook voor de Maas) en de statistiek van de zeewaterstanden moet worden aangepast in de Hydra statistiek.
- Na het doorvoeren van de aanpassingen in Hydra-Zoet (Hydra database fysica en Hydra statistiek) kan de statistiek van de waterstanden en het hydraulisch belastingniveau opnieuw worden bepaald.
- Tot slot kunnen de nieuwe waterveiligheidsopgaven voor toetspeil, golfoverslag, buitendijks gebied, piping en macrostabiliteit binnendijks, worden bepaald.

DP IJsselmeergebied (IJsselvechtdelta en IJsselmeergebied)

Er zijn drie verschillende watersystemen die ieder apart behandeld moeten worden: IJsselmeer (inclusief Ketelmeer en Vossemeer), Markermeer (inclusief Gooi-, Eemmeer en Eem), en de Vecht en IJsseldelta.

Voor ieder systeem zijn er aparte zaken die aangepast moeten worden. De afvoer heeft geen rol in de merensystemen en wordt indirect meegenomen op basis van de meerpeilstatistiek op basis van waarnemingen. De afvoeren van Vecht en IJssel kunnen wel veranderen.

In het IJsselmeergebied worden de waterstanden berekend met het Waqua model van de IJsselvechtdelta en IJsselmeer. In het IJsselmeer zelf is de afvoer minder belangrijk, dus zijn er 600 veiligheidssommen nodig (diverse meerpeilen en windrichtingen). Voor de IJsseldelta en Vecht spelen twee rivieren en een stormvloedkering een rol, daarom zijn er zo'n 3000 sommen nodig voor Hydraulische Randvoorwaarden en 1250 voor beleidsstudies. Bij zeer extreme zeespiegelstijgingsscenario's boven de 1 m zijn extra WAQUA sommen voor het IJsselmeergebied nodig.

De IJssel- en Vechtafvoer vormen de bovenstroomse randvoorwaarden van het model. Doordat de afvoer een directe modelrandvoorwaarde en stochast is, hoeft de verandering in afvoerverdeling niet in het Waqua model te worden ingevoerd, maar kan het via een aanpassing van de afvoerstatistiek worden verwerkt. Immers de combinatie van door te rekenen stochasten verandert niet (discretisatie blijft hetzelfde).

De afvoerstatistiek moet niet alleen aangepast worden voor de verandering in afvoerverdeling, maar ook voor het klimaateffect (de toename maatgevende hoogwaterafvoer).

Daarnaast moet ook de meerpeilstatistiek bij elke keuze voor ander streefpeil, klimaatverandering (met name zeespiegelstijging en een beetje de afvoer) en de fysieke inrichting van het gebied (pompen, extra spuisluizen, of combinaties) steeds opnieuw afgeleid worden. Dit levert samen nieuwe informatie voor de Hydra statistiek.

naam	definitie	Directe Relatie met veiligheid
Streefpeil	Wettelijke afspraak voor het peil in de zomer of winter op een watersysteem	nee
Meerpeil	Momentane gewogen peil van een meer op basis van 4 stations aan de oever	ja
Meerpeilstatistiek	Kansverdeling voor het meerpeil op basis van 30 jaar metingen (of op basis van klimaatscenario's en spui scenario's (pompen, spuien of combinaties)	ja
Waterstand aan de oever	Momentane waterstand aan de oever, is afhankelijk van de windrichting en het meerpeil	ja
		ja

Te doorlopen stappen voor de IJsselvechtdelta en het IJsselmeergebied:

- Er zijn geen nieuwe Waqua berekeningen nodig bij relatief kleine wijzigingen van het systeem. De verandering in zeespiegelstijging (die door werkt in de meerpeilstatistiek), afvoerdeling en klimaat wordt geheel doorgevoerd via een aanpassing in de Hydra statistiek voor de meerpeilen en de afvoer.
- Hydra statistiek:
 - De afvoerstatistiek van de IJsselafoer bij Olst moet in Hydra-Zoet worden aangepast.
 - De meerpeilstatistiek moet opnieuw worden afgeleid. De huidige meerpeilstatistiek in Hydra-Zoet (deltamodel) is afgeleid door middel van een tijdreeksanalyse met het Landelijk Sobek Model (LSM), zie Hoonhout (2012). Hiervoor wordt een meerjarige berekening uitgevoerd met als invoer tijdreeksen van de IJsselafoer, de afvoer van water richting de Waddenzee (spui- en pompcapaciteit) en de uitwisseling met de gebieden rondom het IJsselmeer. De IJsselafoeren in deze tijdreeksen moeten worden gecorrigeerd voor de nieuwe afvoerdeling en de klimaateffecten. Dit levert een nieuwe tijdreeks van het gemiddelde dagelijkse meerpeilverloop. De nieuwe meerpeilstatistiek kan uit deze tijdreeks worden afgeleid en in Hydra-Zoet worden ingevoerd.
- Na het doorvoeren van de aanpassingen in Hydra-Zoet (Hydra statistiek) kan de statistiek van de waterstanden en het hydraulisch belastingniveau opnieuw worden bepaald.
- Tot slot kunnen de nieuwe waterveiligheidsopgaven voor toetspeil, golfoverslag, buitendijks gebied, piping en macrostabiliteit binnendijks, worden bepaald.

DP Rivieren (Bovenrivierengebied)

Voor de gevolgen voor DP Rivieren wordt gebruik gemaakt van het WAQUA model. De Rijnafoer bij Lobith vormt de bovenrandvoorwaarde van het model. De verandering in afvoerdeling moet daarom in het Waqua model worden ingevoerd, normaal gesproken door middel van een andere instelling van de regelwerken Pannerdensch Overlaat en/of Hondsbroekse Pleij, en de Waqua berekeningen moeten opnieuw worden doorgerekend.

De te doorlopen stappen zijn:

1. Instelling van de regelwerken is te bepalen met een stationaire som waarbij de topafvoer wordt opgelegd. Bij die afvoer moet de waterverdeling voldoen aan de wens.
2. Opnieuw uitvoeren van de berekeningen met het Waqua model met de Hydra-database-processor
3. Opnieuw aanmaken van een Hydra database fysica
4. De statistiek van de waterstanden en het hydraulisch belastingniveau worden opnieuw bepaald.
5. Tot slot kunnen de nieuwe waterveiligheidsopgaven voor toetspeil, golfoverslag, buitendijks gebied, piping en macrostabiliteit binnendijks, worden bepaald.

Het veranderen van de afvoerverdeling noopt niet tot afleiden van nieuwe Q-h-relaties met de benedenstroomse modellen (Rijn-Maasmonding en IJVD) tenzij ook met nieuwe streefpeilen of zeespiegelstijging moet worden gerekend.

DP Zoetwater

In deze casus verandert de afvoerverdeling bij de splitsingspunten alleen bij rivierafvoeren groter dan 7.000 m³/s bij Lobith. De zoetwaterbeschikbaarheid in droge perioden zal daardoor nauwelijks veranderen. Strikt genomen is het niet noodzakelijk de gevolgen voor de zoetwaterbeschikbaarheid door te rekenen voor zover het de wijziging van de afvoerverdeling bij de splitsingspunten betreft.

Indien ook de lagere afvoeren worden beïnvloed dan heeft het wel effect op de zoetwatervoorziening.

Te doorlopen stappen voor Zoetwater:

- Opleggen andere rand op zee (in het NDB model, vervolgens in DM/LSM)
- Som met gewijzigde waterverdeling in het NHI met de 35 jarenreeks; de tijdreeks moet worden gecorrigeerd voor de gewijzigde waterverdeling in het NHI.
- Bepaling van de wijzigingen in de waterbeschikbaarheid op de Rijkswateren, de watertekorten, watertemperatuur en zoutindringing.
- Berekening van de effecten op de sectoren scheepvaart, landbouw, natuur, energievoorziening en drinkwatervoorziening.

5.3 Voorbeeld 2: peilverhoging op het IJsselmeer

De Deltabeslissing Peilbeheer IJsselmeergebied gaat over het peilbeheer in het IJsselmeergebied om te anticiperen op de opgaven voor de zoetwatervoorziening en de waterveiligheid die volgen uit de Deltascenario's. Bij het peilbeheer op het IJsselmeer wordt onderscheid gemaakt in een maximum winterpeil, een streefpeil voorjaar en een minimum zomerpeil.

Het Deltaprogramma IJsselmeergebied werkt met peilstrategieën. Twee belangrijke stuurknoppen zijn (Deltaprogramma IJsselmeergebied, 2011):

- De omvang van de zoetwaterbuffer: de omvang van de zoetwaterbuffer kan worden gevarieerd door het wel en niet opzetten van het voorjaarspeil.
- De omvang van peilstijging in het merengebied: er kan gekozen worden om het meerpeil wel of niet mee te laten stijgen met de zeespiegel. Als het meerpeil niet meestijgt met de zeespiegel, dan is pompcapaciteit nodig om water af te kunnen blijven voeren als dat onder vrij verval niet meer kan. Als het meerpeil wel meestijgt, dan blijft spuien onder vrij verval mogelijk. Op termijn (na 2050) is dan wel extra spuicapaciteit nodig, ook als voor de korte termijn pompen zijn geplaatst zelfs

Het Deltamodel heeft een belangrijke meerwaarde, omdat het zeespiegelstijging koppelt aan peilstrategieën. Daarmee is de koppeling van het peilbesluit met de rest van het Deltaprogramma gelegd.

Uitgangspunt in dit voorbeeld is dat het meerpeil meestijgt met de zeespiegel. De strategie peilverhoging op het IJsselmeer zal beoordeeld worden op een effectbepaling voor alle scenario's (twee zichtjaren en vier Deltascenario's). Ter illustratie nemen we bij de uitwerking van dit voorbeeld een aantal (fictieve) uitgangspunten aan, namelijk:

- Zichtjaar 2100
- Het maximum winterpeil in het IJsselmeer stijgt mee met de zeespiegelstijging, zodat lozen onder vrij verval naar de Waddenzee mogelijk blijft. Dit voorbeeld gaat ervanuit dat het peil meestijgt tot 60 cm in 2100. Dit betekent een toename van het winterstreefpeil van -0,30 m NAP tot +0,30 m NAP. Op termijn is dan wel extra spuicapaciteit nodig. De extra spuicapaciteit Afsluitdijk die in 2016 gereed moet zijn, maakt het mogelijk om 25 cm zeespiegelstijging op te vangen, daarna is extra spuicapaciteit nodig.
- Het waterpeil wordt in IJsselmeer in het voorjaar ook opgezet om een grotere zoetwaterbuffer te creëren. Het huidige streefpeil ligt op -0,20 m NAP en neemt toe tot +0,30 m NAP. Het waterpeil is gelijk aan het winterpeil en wordt in de voorjaarsperiode dus niet extra opgezet ten opzichte van het winterpeil.
- Het minimum zomerpeil blijft gehandhaafd op -0,40 m NAP. In de zomer zakt het IJsselmeerpeil niet onder het huidige minimum.

De Waal (2012) heeft voor de aanpassing peilbeheer IJsselmeer globaal aangegeven welke wijzigingen in het Deltamodel nodig zijn, zie Tabel 3. In eerste instantie zijn aanpassingen voorzien om de invloed te bepalen op het gedrag van de verschillende watersystemen: fysica en statistiek. Dit houdt concreet in (stap 1): aanpassingen in de fysische modellen, het opnieuw uitvoeren van berekeningen met de Hydra-database-processor, het aanmaken van een nieuwe Hydra database fysica en het aanpassen van de Hydra statistiek. Door deze aanpassingen veranderen de uitkomsten van Hydra-Zoet en moet de statistiek van de waterstanden en het hydraulisch belastingniveau opnieuw worden bepaald (stap 2). Tot slot moet het effect van een ander peilbeheer op de veiligheidsopgaven inzichtelijk worden gemaakt (stap 3).

Tabel 3 geeft aan dat er geen wijzigingen nodig zijn voor de Hydra database fysica. Dat is maar ten delen waar. De Hydra database fysica hoeft voor het IJsselvechtdelta en IJsselmeergebied niet te worden aangepast. De Hydra database fysica van het Bovenrivierengebied moet wel aangepast worden (in ieder geval de IJssel en mogelijk ook voor de andere Rijntakken) door een andere QH relatie bij de benedenrand. Belangrijk is te realiseren dat alleen de wintermeerpeilstatistiek wordt gebruikt in veiligheidsanalyses.

Analyse-stap		Data	Buiten RF	Binnen RF
Gedrag watersysteem stap 1	fysica	Gebiedschematisatie	☒	
		Hydra database fysica IJM, MM	☒	
		Hydra database fysica (excl. IJM, MM)		☒
	statistiek	Statistiek stochasten (excl. IJM-peil)	☒	
		Statistiek IJsselmeerpeil		☒
Statistiek HBN stap 2		Profiel buitentalud	☒	
		Statistiek HBN		☒
Veiligheidsopgave stap 3		Referentiewaarden HBN ('sterkte')	☒	
		Actuele normen	☒	
		Veiligheidsopgave		☒

Tabel 3: Aan te passen data bij aanpassing peilbeheer IJsselmeer (De Waal, 2012)

De aanpassingen in het peilbeheer op het IJsselmeer beïnvloeden DP IJsselmeer, DP Rivieren en DP Zoetwater.

DP Zoetwater

De maatregel bestaat uit seizoensgebonden peilbeheer op het IJsselmeer. Het meerpeil tijdens het voorjaar wordt opgezet tot het maximum winterpeil en neemt door gebruik van zoetwater gedurende de zomerperiode af tot een minimum zomerpeil. Dit betekent dat er in de zomerperiode een waterschijf van 70 cm beschikbaar is voor de zoetwatervoorziening.

Te doorlopen stappen voor DP Zoetwater:

- Er moet met Landelijk Sobek Model worden verkend of het nieuwe peilbeheer te realiseren is met de huidige afvoerverdeling. Historische tijdreeksen met IJsselafoeren, spui- en pompregime van de Waddenzee en uitwisselingen met de gebieden rondom het IJsselmeer vormen de modelrandvoorwaarden. Indien het nieuwe peilbeheer niet is te realiseren, dan moet de benodigde rivierafvoer worden bepaald.
- Op basis van de uitkomsten uit de eerste stap moet de meerpeilstatistiek opnieuw worden afgeleid voor de veranderingen in het spui- en pompregime, het nieuwe peilbeheer op het IJsselmeer en eventueel voor de gewijzigde afvoerverdeling om het nieuwe peilbeheer mogelijk te maken. Het spui- en pompregime, de nieuwe streefpeilen en het afvoerproces moeten in hiervoor genoemde historische tijdreeksen worden aangepast. Dit levert een nieuwe tijdreeks van het gemiddelde dagelijkse meerpeilverloop, waaruit de nieuwe meerpeilstatistiek kan worden afgeleid.
- Som met gewijzigd peilbeheer (en eventueel gewijzigde afvoerverdeling) in het NHI met de 35 jarenreeks; dit levert een gewijzigde waterverdeling in het NHI, en daarmee een gewijzigde waterbeschikbaarheid op de Rijkswateren, de regionale watertekorten, watertemperatuur en zoutindringing.
- Berekening van de effecten op de sectoren scheepvaart, landbouw, natuur, energievoorziening en drinkwatervoorziening.
- Via NHI en het LSM moet het effect tijdens Overeengekomen Laagwatercondities (OLW) op zoetwaterbeschikbaarheid op landelijke schaal in beeld worden gebracht.

DP IJsselmeer (IJsselvechtdelta en IJsselmeergebied)

In het IJsselmeergebied worden de waterstanden berekend met het Waqua model van de IJsselvechtdelta en IJsselmeer.

De IJssel- en Vechtafvoer vormen de bovenstroomse randvoorwaarden van het model. Doordat de afvoer een directe modelrandvoorwaarde en stochast is, hoeft de verandering in afvoerverdeling niet in het Waqua model te worden ingevoerd, maar kan het via een aanpassing van de afvoerstatistiek worden verwerkt. Immers de combinatie van door te rekenen stochasten verandert niet (discretisatie blijft hetzelfde).

De meerpeilstatistiek moet bij elke keuze voor ander streefpeil en de fysieke inrichting van het gebied (pompen, extra spuisluizen, of combinaties) steeds opnieuw worden afgeleid om de effecten van een ander peilbeheer te bepalen. Dit levert samen nieuwe informatie voor de Hydra statistiek.

Dit betekent dus dat de Hydra statistiek moet worden aangepast (in ieder geval voor de nieuwe meerpeilstatistiek, en mogelijk voor een andere afvoerstatistiek. Indien de afvoerverdeling op de Rijntakken moet worden gewijzigd om het nieuwe peilbeheer te handhaven, dan wordt dat door een aanpassing van de afvoerstatistiek in Hydra-Zoet verwerkt. De rivierafvoer is namelijk ook een directe modelrandvoorwaarde en stochast. De gewijzigde afvoerverdeling hoeft daarom niet in het Waqua model te worden ingevoerd. Afvoer veranderingen zijn vaak niet significant voor de statistiek. Dus is het niet altijd nodig de nieuwe statistiek te gebruiken.

Te doorlopen stappen voor IJsselvechtdelta & IJsselmeergebied:

- Er zijn geen nieuwe Waqua berekeningen nodig. De verandering in peilbeheer wordt geheel doorgevoerd via een aanpassing in de Hydra statistiek.
- Hydra statistiek:
 - De meerpeilstatistiek moet opnieuw met SOBEK LSM worden afgeleid (zie DP Zoetwater) en vervolgens in Hydra-Zoet worden ingevoerd. In Hydra-Zoet is het mogelijk om per maand een andere statistiek op te geven. Van die mogelijkheid zal gebruik worden gemaakt om de effecten van een seizoensgebonden peilbeheer op het IJsselmeer in de Hydra statistiek te verwerken.
 - De afvoerstatistiek van de IJsselafoer bij Olst moet in Hydra-Zoet worden aangepast om het effect van een eventuele gewijzigde afvoerverdeling mee te nemen.
- Na het doorvoeren van de aanpassingen in Hydra-Zoet (Hydra statistiek) kan de statistiek van de waterstanden en het hydraulisch belastingniveau opnieuw worden bepaald.
- Tot slot kunnen de nieuwe waterveiligheidsopgaven voor toetspeil, golfoverslag, buitendijks gebied, piping en macrostabiliteit binnendijks, worden bepaald.

In dit voorbeeld groeit het meerpeil op het IJsselmeer mee met de zeespiegel. Zonder aanvullende maatregelen nemen de maatgevende hoogwaterstanden in het IJsselmeergebied en de IJsselvechtdelta toe en moeten ingrepen worden gedaan zodat de primaire keringen de hogere hydraulische belasting op kan vangen. Bij grote meerpeilstijgingen (meer dan een halve meter) moet er ook rekening worden gehouden dat Ramspol anders moet worden gemodelleerd om het systeem correct te laten werken.

DP Rivieren (Bovenrivierengebied)

Voor de gevolgen voor DP Rivieren wordt gebruik gemaakt van het WAQUA model.

- Een peilverhoging in de winter op het IJsselmeer zonder aanpassing in de afvoerverdeling op de Rijntakken beïnvloedt alleen de IJssel. Langs de IJssel worden de waterstanden berekend met het WAQUA model. Bij verandering van het peilbeheer op het IJsselmeer verandert de verhouding tussen IJsselafoer en meerpeil. Dat betekent dat ook de relatie tussen waterstand (het meerpeil) en afvoer (QH relatie) verandert en dat deze modelrandvoorwaarde moet worden aangepast. De Waqua berekeningen moeten opnieuw worden doorgerekend, waarbij de nieuwe relatie tussen waterstand (meerpeil) en afvoer uitgangspunt vormt.
- De Rijnafoer bij Lobith vormt de bovenrandvoorwaarde van het model. Een verandering in afvoerverdeling moet daarom in het Waqua model worden ingevoerd (gebiedsschematisatie fysisch model). Er is geen aanpassing nodig in de Hydra statistiek. Voor het effect van zeespiegelstijging moet bij Lek en Waal een goede QH relatie gekozen worden en juiste referenties zonder maatregelen in Rijndrechtsteden

Te doorlopen stappen voor het Bovenrivierengebied:

- Aanpassingen in het Waqua model:
 - door het aangepaste peilbeheer op het IJsselmeer verandert de verhouding tussen IJsselafoer en meerpeil. Dit betekent aanpassing van het Waqua model (nieuwe QH relatie)
 - indien de afvoerverdeling over de Rijntakken gewijzigd wordt om het peilbeheer op het IJsselmeer te realiseren, dan moeten deze aanpassingen in het Waqua model worden doorgevoerd. In deze aanpassing wordt dan ook het (indirecte) effect van zeespiegelstijging op de benedenrand (Lek en Waal) meegenomen.
- Bij wijziging van de afvoerverdeling opnieuw uitvoeren van de 9 Waqua berekeningen uit de Hydra database fysica met de Hydra-database-processor.
- Dit resulteert in een nieuwe Hydra database fysica.
- Hydra statistiek van Lobith geldt voor alle Rijntakken. Let wel op juiste bestanden per zichtjaar (referentie, G of W+)
- Tot slot kunnen de nieuwe waterveiligheidsopgaven voor toetspeil, golfoverslag, (kruinhoogte en Hydraulisch belasting niveau)buitendijks gebied, piping en macrostabiliteit binnendijks, worden bepaald.

5.4 Voorbeeld 3: doorwerking van onzekere morfologische ontwikkelingen

In alle waterbewegingsmodellen voor de deelgebieden in het Deltamodel wordt morfologische activiteit buiten beschouwing gelaten. Toch zijn morfologische ontwikkelingen wel te voorzien. Enerzijds zorgt de autonome morfologische ontwikkeling voor aanpassingen in de rivierbodem. Anderzijds wordt verwacht dat de morfologische activiteit van de rivieren toeneemt door de rivierkundige herinrichtingen in het kader van programma Ruimte voor de Rivier en Maaswerken. De maatregelen die in het Deltaprogramma worden ontwikkeld zorgen mogelijk ook voor een andere morfodynamiek.

Morfologische ontwikkelingen hebben een indirect effect op de waterbeweging en kunnen een direct effect hebben op de stabiliteit van waterkeringen. Morfodynamiek kan namelijk de zettingsvloeiingen beïnvloeden en de kans op dijkinstabiliteit als gevolg hiervan vergroten. In het bijzonder in het Benedenriviergebied vormt dit een potentiële bedreiging. In de deelmodellen in het Deltamodel wordt geen actieve koppeling gemaakt tussen waterbeweging en morfologie. Het is wel mogelijk om de consequentie van morfologische ontwikkelingen op de waterveiligheidsopgave in het Deltamodel te analyseren. Er kan dan achteraf gekeken worden of een ontwikkelde strategie zijn effectiviteit behoudt indien morfodynamiek wordt beschouwd. Voor de relatie tussen morfologische ontwikkeling en stabiliteit van waterkeringen is nog geen voorziening beschikbaar.

Sloff et al. (2011) hebben de morfodynamiek in de watersystemen onderzocht en raden aan rekening te houden met de invloed van morfologische veranderingen. Het is belangrijk om in de effectbepaling rekening te houden met onzekerheid in het morfologisch gedrag. De rivier is van nature een dynamisch systeem. Een belangrijke bron van onzekerheid is het tijdsafhankelijke afvoerverloop. Ook gebrek aan kennis over de onderliggende fysische processen, aannames in de modelschematisatie en aannames in andere modelinstellingen zijn belangrijke onzekerheidsbronnen (Van Vuren, 2005). Hiermee kan rekening worden gehouden door meerdere toekomstige morfologische ontwikkelingen in kaart te brengen.

De Waal (2012) heeft ook voor aanpassingen in de bodem langs de rivieren globaal aangegeven welke wijzigingen in het Deltamodel nodig zijn, zie Tabel 4. In eerste instantie zijn aanpassingen voorzien om de invloed te bepalen op het gedrag van de verschillende watersystemen. Het gaat hier om aanpassingen in de fysica. Dit houdt concreet in (stap 1): aanpassingen in de fysische modellen, het opnieuw uitvoeren van berekeningen met de Hydra-database-processor, het aanmaken van een nieuwe Hydra database fysica. Het aanpassen van de Hydra statistiek is niet nodig. Door deze aanpassingen veranderen de uitkomsten van Hydra-Zoet en moet de statistiek van de waterstanden en het hydraulisch belastingniveau opnieuw worden bepaald (stap 2). Tot slot moet het effect van een andere bodemgeometrie van de rivier op de veiligheidsopgaven inzichtelijk worden gemaakt (stap 3). Het kan hiervoor nodig zijn om ook de actuele sterkte aan te passen als de aanpassing van de riviergeometrie de sterkte van de kering beïnvloedt.

Analyse-stap		Data	Buiten RF	Binnen RF
Gedrag watersysteem stap 1	fysica	Gebiedschematisatie	✗	
		Hydra database fysica IJM, MM	☑	
		Hydra database fysica (excl. IJM, MM)		✗
	statistiek	Statistiek stochasten (excl. IJM-peil)	☑	
		Statistiek IJsselmeerpeil		☑
Statistiek HBN stap 2		Profiel buitentalud	☑	
		Statistiek HBN		✗
Veiligheidsopgave stap 3		Referentiewaarden HBN ('sterkte')	✗	
		Actuele normen	☑	
		Veiligheidsopgave		✗

Tabel 4: Aan te passen data bij aanpassingen in de bodem langs de rivieren (De Waal, 2012)
NB de term RF betekent: "rekenfaciliteit" en slaat op het NMDC draaiende modellen

De analyse moet worden uitgevoerd voor het gehele watersysteem en heeft dus betrekking op DP Rijnmond-Drechtsteden, DP IJsselmeer en DP Rivieren.

Te doorlopen stappen per deelmodel:

- Aanpassingen van de waterbewegingsmodellen:
 - De eerste stap is om de riviergeometrie (de beginbodem) van de waterbewegingsmodellen aan te passen. De nieuwe riviergeometrie kan gesimuleerd worden met behulp van een aantal mogelijke toekomstige morfologische ontwikkelingen met een morfologisch model. Voor de simulatie van grootschalige (en langjarige) morfologische ontwikkelingen van de Rijntakken, de Rijnmaasmonding en de IJsselvechtdelta is het Riviermorfologisch Deltamodel beschikbaar. Het morfologisch DVR-instrumentarium (Duurzame Vaardiepte Rijndelta) vormt het uitgangspunt van dit model, en is in het kader van het deltamodel uitgebreid met de Rijnmaasmonding. Aanbevolen wordt om gebruik te maken van een aantal morfologische toekomstbeelden uit het DVR-model op basis van representatieve afvoertijdreeksen. Elke tijdreeks resulteert in een andere morfologische ontwikkeling (ander eindbeeld van de rivierbodem).
 - De gesimuleerde morfologische ontwikkeling vormt de nieuwe bodemligging in de waterbewegingsmodellen in het Deltamodel. Met de nieuwe modellen worden de modelberekeningen opnieuw uitgevoerd. Het uitvoeren van deze berekeningen kan na het uploaden van de aangepaste waterbewegingsmodellen automatisch met de Hydra-database-processor.
 - Dit resulteert in een nieuwe Hydra database fysica.
- Er zijn geen aanpassingen nodig in de Hydra statistiek.
- Na het doorvoeren van de aanpassingen in Hydra-Zoet (Hydra database fysica en Hydra statistiek) kan de statistiek van de waterstanden en het hydraulisch belastingniveau opnieuw worden bepaald.
- Tot slot kunnen de nieuwe waterveiligheidsopgaven voor toetspeil, golfoverslag, buitendijks gebied, piping en macrostabiliteit binnendijks, worden bepaald. Mogelijk moet hiervoor eerst een aanpassing gedaan worden in de sterkte van de kering.

Het kan zijn dat door de morfologische ontwikkelingen de relatie tussen waterstand en afvoer verandert. Dit kan vragen om een aanpassing in de waterstandsrandoorwaarde op de benedenrand van de deelmodellen. Bij het toepassen van het stappenproces, raden we daarom aan om van benedenstrooms naar bovenstroomse richting te werken. Het gebied dat stroomafwaarts ligt beïnvloedt de waterstandsrandoorwaarde van het gebied dat stroomopwaarts ligt.

Het effect van morfologische veranderingen op de waterstandsrandoorwaarde van een deelmodel van het Bovenrivierengebied kan bijvoorbeeld uit de nieuwe berekeningen met het Sobek model van de Rijnmaasmonding afgeleid. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de berekeningen met een open Europoortkering, de top van "normaal getij" buitengaats en alle negen afvoerniveau's. Deze nieuwe relatie tussen waterstand en afvoer vormt de randvoorwaarde in de nieuwe Waqua berekeningen van het Bovenrivierengebied.

De invloed van morfologie op de waterveiligheidsopgaven kan groot zijn doordat de morfologie niet alleen lokaal de waterstanden beïnvloedt, maar ook kan leiden tot een herverdeling van de afvoer over de riviertakken van het hele Nederlandse watersysteem. Dit is een belangrijk aandachtspunt op zowel het Bovenrivierengebied als het Benedenrivierengebied. Op het Bovenrivierengebied wordt autonome bodemdaling op de Bovenrijn en Waal verwacht, terwijl de bodemligging op het Pannerdensche Kanaal naar verwachting vrij stabiel. Dit kan tot herverdeling van de afvoer leiden. Ook in de

Rijnmaasmonding verwachten we grootschalige morfologische ontwikkeling, met sterk sedimenterende en eroderende takken, dat tot herverdeling van het water kan leiden.

Zoals al aangegeven is de invloed van de morfologie op de waterstand niet het enige interessante aspect. Effecten van morfodynamiek op macrostabiliteit buitendijks, scheepvaart (drempels) en zoutindringing vormen mogelijk nog een grotere bedreiging.

Ook bij lagere afvoeren kan de morfologie de afvoerverdeling beïnvloeden. Dat maakt dit onderwerp relevant voor zoetwater.

We adviseren om het belang van de morfologie in bredere zin te onderzoeken.

5.5 Discussie

Een aantal voorbeelden van toepassingen van het Deltamodel is in dit hoofdstuk besproken. De voorbeelden laten zien dat een aanpassing in een deelgebied vaak niet op zichzelf staat, maar dat het het naastgelegen deelgebieden beïnvloedt. De gekozen voorbeelden karakteriseren zich door een zekere complexiteit van gebiedsoverstijgende maatregelen. Er zijn ook maatregelen die minder ingrijpende aanpassingen in het Deltamodel vragen.

Het effect van een aanpassing in de zwaarte van de normen, kan gemakkelijk worden bepaald. Hiervoor zijn geen aanpassingen nodig in de beschrijving van het gedrag van het watersysteem (fysica en statistiek). Ook is het niet nodig om de statistiek van de waterstanden en het hydraulisch belasting niveau (kruinhoogte) opnieuw te bepalen. Men kan volstaat met een aanpassing van de zwaarte van de norm in de module voor het bepalen van de waterveiligheidsopgaven. Dit levert nieuwe waterveiligheidsopgaven voor toetspeil, golfoverslag, buitendijks gebied, piping en macrostabiliteit binnendijks. De mate waarin de normen kunnen worden aangepast is wel begrensd. Bij flink strengere normen moet wel het kansbereik van de gekozen stochasten in de Hydra statistiek opnieuw worden beschouwd. Onder andere moet beoordeeld worden of de statistiek nog toepasbaar is voor het extremere bereik.

Een dijkverlegging of een rivierverruiming is ook vrij eenvoudig door te rekenen met het Deltamodel. Indien de maatregel in het Bovenrivierengebied ligt, kan met een aanpassing in de deelmodellen van dat deelgebied worden volstaan. In de veiligheidsbeschouwing van De Waal (2012) zijn in eerste instantie aanpassingen voorzien om de invloed te bepalen op het fysische gedrag van het watersysteem. Dit houdt concreet in (stap 1): aanpassingen in de fysische modellen, het opnieuw uitvoeren van berekeningen met de Hydra-database-processor en het aanmaken van een nieuwe Hydra database fysica. Het aanpassen van de Hydra statistiek is niet nodig. Door deze aanpassingen veranderen de uitkomsten van Hydra-Zoet en moet de statistiek van de waterstanden en het hydraulisch belastingniveau opnieuw worden bepaald (stap 2). Tot slot moet het effect van een andere bodemgeometrie van de rivier op de veiligheidsopgaven inzichtelijk worden gemaakt (stap 3). In dit voorbeeld is van beïnvloeding van naastgelegen deelgebieden geen sprake.

Paragraaf 5.4 illustreert dat het Deltamodel kan worden ingezet, om de consequenties van een bepaald uitgangspunt in beeld te brengen. Ook voor andere uitgangspunten dan de genoemde morfologische verandering kunnen de effecten op de waterhuishouding nader worden onderzocht. Daarbij zal selectief te werk moeten worden gegaan, omdat de huidige rekentijden van het Deltamodel het praktisch onmogelijk maken om op voorhand alle uitgangspunten en onzekerheden uitgebreid te kwantificeren. Ruijgh (2012) adviseert dan ook om in de toekomst de mogelijkheid te verkennen om meer globale modellen af te leiden waarbij snellere analyses kunnen worden uitgevoerd.

Voor toepassing van het huidige Deltamodel wordt aangeraden om de belangrijkste uitgangspunten en onzekerheden niet uit het oog te verliezen. Hiervoor zal medio 2013 vanuit het projectteam Deltamodel nadere informatie worden aangedragen over

onzekerheden. Vooralsnog wordt geadviseerd om achteraf de robuustheid van een gekozen maatregelen-set extra te toetsen, bijvoorbeeld door ook de effecten van extremere situaties (dan de Deltascenario's) te verkennen, en eventueel de effecten van andere uitgangspunten in beeld te brengen.

Tot slot wordt in het algemeen aanbevolen om met specialisten te overleggen over de uit te voeren berekeningen. In het Deltamodel is er voor gekozen om gebruik te maken van verschillende modellen die ook worden ingezet voor andere processen, bijvoorbeeld voor de bepaling van Hydraulische Randvoorwaarden en operationele processen. Hoewel voor de beleidsanalyse doorgaans dezelfde basismodellen worden gebruikt, is het voor deze analyse niet altijd nodig om dezelfde nauwkeurigheid te behalen als in deze processen. Zeker wanneer de rekentijd een beperkende factor wordt is het dan ook raadzaam om vooraf te overleggen wat een optimale set van berekeningen is met het Deltamodel.

6 Referenties

- Barneveld H.J., M. de Rooij, 2012. Uitgangspunten_Deltaprogramma_v06_20121221 (spreadsheet).
- Barneveld, H.J. , F.van Luijn & M. Bruinsma, 2012. Procedures en kwaliteitsstempels rekenwerk Delta-Instrumentarium.
- Becker, Anke 2012a (in prep.). Protocol van Overdracht Baseline en WAQUA Rijn j93_5, j95_5, j12_5, beno12_5, benob12_5 en dmref12_5. Deltares.
- Becker, Anke 2012b (in prep.). Protocol van Overdracht Baseline en WAQUA Maas j93_5, j95_5, j12_5, beno12_5, benob12_5 en dmref12_5. Deltares.
- Becker, Anke 2012c (in prep.). Protocol van Overdracht Baseline en WAQUA IJVD j98_5, j09_5, j12_5, beno12_5 en dmref_12_5. Deltares.
- Beckers, J., C. Geerse, N. Kramer, R. Nicolai, K. & Wojciechowska, K., 2009. Uncertainties of the Hydra models. SBW Belastingen. Rapportnummer H5098.10, Deltares & HKV, March 2009.
- Bruggeman, W., M. Haasnoot, S. Hommes, A. Te Linde, R. Van der Brugge, 2011. Deltascenario's. Verkenning van mogelijke fysieke en sociaal/-economische ontwikkelingen in de 21ste eeuw op basis van KNMI'06 en WLO scenario's voor gebruik in Deltaprogramma 2011-2012. Rapportnummer 12041510-002, Deltares.
- De Waal, J.P., 2012. Deltamodel 1.0 - Achtergronden waterveiligheidsbeschouwingen. Rapportnummer 1205954-001, Deltares, september 2012.
- Ek, Remco van, 2012. Protocol van Overdracht – DEMNAT-3.0. Deltares.
- Gao, Guando en Johan van Zetten, 22 april 2011. Een uitgangsmodel voor DP-RD. Deltares.
- Gao, Guando, 28 september 2012. Zoutdoordringing in het Noordelijk Deltabekken – Berekend met Sobek-2.13. Memo 1205954-ZWS-0003, Deltares
- Geerse, C. & M. Duits, 2012. Sommensets Deltamodel waterveiligheid, bepalen van ideale sets van sommen per watersysteem. Rapportnummer PR2327.10, HKV lijn in water, februari 2012.
- Hoonhout, B., 2012. Handleiding Meerpeilstatistiek. Handleiding voor de vertaling van een Deltascenario naar peilstatistiek voor meren. Rapportnummer 1204151-009, Deltares.
- Hoogewoud, J.C., J.C. Hunink, G.F. Prinsen, A.A. Veldhuizen en J. Verkaik, 2013. Veranderingsrapportage NHI 3.0. Rapportnummer 1206107-000, Deltares.
- Hoogewoud, J.C., G.F. Prinsen, J.C. Hunink, A.A. Veldhuizen, F.J.E. van der Bolt en W.J. de Lange, 2013. NHI 3.0 Toetsing maart 2013. Rapportnummer 1206107-000, Deltares.
- Hunink, J., A. Veldhuizen, G.F. Prinsen, J. Oosterwijk en G. Oude Essink, 2013. Deltascenario's 2012: NHI modelinvoer. Rapportnummer 1207053-000, Deltares.
- Kramer, N. & Beckers, J., 2011. Present state of uncertainties within Hydraulic Boundary Conditions. Overview of developments in SBW Hydraulic Loads. Rapportnummer 1204199-005, Deltares.

- Kroon, T. & E.F.W. Ruigh, 2011. Deltamodel. Functionele Specificaties, kwaliteitseisen en opbouw Deltamodel, 1 september 2011.
- Kroon, T. & E.F.W. Ruigh, 2012. Deltamodel. Functionele Specificaties, kwaliteitseisen en opbouw Deltamodel. Versie 1.1, 1 juli 2012.
- Meij, R. van der, Nugroho, D., 2012. Koppeling Deltamodel en DAM. Achtergronden DAM en pilotstudie voor de koppeling. Deltares rapport 1205954-001-ZWS-0001, 2012.
- Paarlberg, A., W. van Balen en S. van Vuren, 2010. Onzekere afvoerverdeling en hoogwaterstanden rondom de Pannerdensch Kop. Invloed van onzekerheid in Bovenrijn-afvoer en bodemdynamiek. Rapportnummer PR1682.10, HKV lijn in water.
- Prinsen, G.F., 2012. Achtergronddocument LSM 1.0. Rapportnummer 1205954-003, Deltares.
- Riza, 2005. Aard, Ernst en Omvang van Droogte, Eindrapport van de Landelijke droogtestudie.
- Ruijgh, E.F.W., W. de Lange en Veldhuizen, 2010. Deltamodel 1.0. Deelrapport 8. Koppeling regionale modellen. Deltares, 2010.
- Ruijgh, E.F.W., 2012. Protocol van Overdracht Deltamodel. Rapportnummer 1205954-000-ZWS-0005, versie 2, concept, Deltares.
- Scholten, Martin en Rolf van den Hoek, 2011. Protocol Netwerkmodellen – Werkwijzer en catalogus. RWS Waterdienst.
- Sloff, C. J., M. F. M. Yossef, R. van der Mark, 2011. Deltaprogramma Rivieren morfologie en scheepvaart. Rapportnummer 1203442-000, Deltares.
- Snippen, E. & J. IJmker, 2012. Omgaan met onzekerheden in het Deltamodel. Rapportnummer 1205954-008-ZWS-0001, Deltares, oktober 2012.
- Stout, J. (2012). Protocol van Overdracht voor SOBEK 3.0 release. Deltares memo met kenmerk 1205718-000-DSC-0037. (in voorbereiding).
- Van Verseveld, W., et al., 2012. Handleiding Rekenfaciliteit Deltamodel. Deltares.
- Van Verseveld, W., R. Vernimmen, M. Hegnauer, K. Meijer, F. Sperna Weiland, 2012. Systeemdokumentatie Deltamodel 1.0. Deltares.
- Van Velzen, E., 2011. Overstromingskansen Informatie ten behoeve van het project waterveiligheid 21e eeuw. Rapportnummer 1204144-002, Deltares, maart 2011.
- Van Walsem, T., 2013. Hydraulische modellen voor probleemanalyse Deltamodel, RWS.
- Vos, R., 2012. Excel-bestand 'StratsDPRD_13022012' van Robert Vos (Rijkswaterstaat Waterdienst) van 13 februari 2012. Beschrijvingen van de strategieën van Deltaprogramma Rijnmond Drechtsteden.
- Walter, W. & S. Haasnoot, 2011. Whitepaper - Uncertainty analysis and decision making under uncertainty with the Deltamodel. Rapportnummer 1204151-014, Deltares.

BIJLAGE A, Begrippenlijst

Wat	Toelichting
Deltainstrumentarium	Deltainstrumentarium is een soort gereedschapskist, een samenhangend geheel van rekenmodellen, kwalitatieve methoden van effectbepaling en communicatiemiddelen. Het instrumentarium omvat het Deltamodel, de Effectmodules, de Deltascenario's, de Vergelijkingssystematiek en het Deltaportaal.
Deltamodel	Het Deltamodel bevat een verzameling modellen om waterstaatkundige parameters te berekenen (hydraulica, hydrologie, morfologie, geotechniek en waterkwaliteit). - Veiligheid: maakt relaties zichtbaar tussen waterhoogte, golfbelasting en dijksterkte én de statistische klimaatgegevens uit de Deltascenario's, de inrichting van het watersysteem en de te onderzoeken maatregelen. - Zoetwater: maakt op basis van de Deltascenario's en mogelijke maatregelen, gevolgen zichtbaar voor vraag en aanbod van zoetwater.
Deltaportaal	Het Deltaportaal ontsluit alle gegevens uit het Deltainstrumentarium in de vorm van leesbare en begrijpelijke informatie voor de gebruikers. Naast rekenresultaten van het Deltamodel (de waterstaatkundige effecten bij situatie met en zonder maatregelen) en de effectmodules (de effecten voor de gebruiksfuncties), zijn dit ook achtergronddocumenten. Niet alle berekeningsresultaten die door het Deltamodel worden gegenereerd worden op het Deltaportaal gepresenteerd. De presentatie van de berekeningsresultaten in het Deltaportaal vindt plaats op een hoger aggregatieniveau dan in het Deltamodel. Per deelprogramma wordt een selectie gemaakt van berekeningsresultaten die men wil gebruiken in het besluitvormingsproces.
Deltascenario's	De Deltascenario's geven mogelijke toekomstbeelden op basis van klimaatscenario's en scenario's voor sociaaleconomische ontwikkelingen.
Deltaweb	Het Deltaweb is het online platform (https://deltaprogramma.pleio.nl) bestemd voor iedereen die professioneel betrokken is bij het Deltaprogramma. Je kunt hier kennis en informatie delen, ontwikkelen en bewaren, participeren en samenwerken met anderen binnen én buiten de overheid. Voor de meeste informatie moet je inloggen maar er zijn ook openbare groepen.
Effectmodules	De effectmodules vertalen de waterstaatkundige resultaten van strategieën en maatregelen uit het Deltamodel naar effecten op de gebruiksfuncties van het watersysteem. Het gaat hierbij om de kwalitatieve of kwantitatieve effecten op bijvoorbeeld de gebruiksfuncties scheepvaart, landbouw, natuur, visserij, koelwater etc. Ook is de module om de schade en slachtoffers bij een overstroming te bepalen onderdeel van de

	effectmodules. De effectmodules vormen geen onderdeel van het Deltamodel zelf, maar behoren tot het Delta-Instrumentarium, waar het Deltamodel ook onderdeel van uitmaakt.
Expertisecentrum kosten	Het Expertisecentrum kosten is een ondersteunende faciliteit voor het Deltaprogramma en voorziet (pakketten van) maatregelen van een kostenoverzicht Het Expertisecentrum helpt deelprogramma's om tot betrouwbare en eenduidige kostenschattingen van voorgestelde maatregelenpakketten te komen. Dat is van belang voor een goede afweging binnen de deelprogramma's, op landelijk niveau bij de Deltabeslissingen én als bijdrage aan een goede begrotingsvoorbereiding. Het Expertisecentrum kosten ontwikkelt een standaardsystematiek en uniforme criteria, waarmee de deelprogramma's hun kostenschattingen kunnen opstellen. Dit voorkomt dat elk deelprogramma hun eigen kostenkentallen en methodes ontwikkelen, die achteraf op elkaar afgestemd moeten worden.
Iteratie	Een extra berekening als herhaling van een afgebroken of foutieve berekening, of een optimalisatieberekening om het gewenste effect te bereiken.
Nationaal Modellen en Data Centrum (NMDC)	De Rekenfaciliteit wordt gehost op het Nationaal Modellen en Data Centrum (NMDC). Het NMDC maakt een centrale coördinatie van de berekeningen mogelijk. Het is een centraal loket om de samenhang in berekeningen en effectbepalingen te organiseren (qua inhoud en qua fasering). De technische aansturing van de verschillende onderdelen van het Deltamodel kan hier worden gerealiseerd zodat de onderlinge consistentie tussen de berekeningen, en daarmee tussen de verschillende deelprogramma's, wordt gewaarborgd.
Rekenfaciliteit Deltamodel	De rekenmodellen zijn in het Deltamodel aan elkaar gekoppeld in een Delft-FEWS configuratie – de Rekenfaciliteit Deltamodel. Op deze manier kunnen de verschillende berekeningen in het Deltamodel die achter elkaar moeten worden uitgevoerd, grotendeels geautomatiseerd worden aangeboden in een workflow.
Rekennetwerk	Het rekennetwerk is een samenwerkingsverband van vertegenwoordigers van de deelprogramma's met een centrale projectorganisatie. Het Rekennetwerk zorgt voor (i) samenhang in berekeningen en effectbepalingen (inhoud en fasering); (ii) consistentie in uitgangspunten en de juiste toepassing van de Deltascenario's in de berekeningen; (3) onderlinge afstemming van de benodigde reken capaciteit; (4) plaatsen van de rekenresultaten op het Deltaportaal.
Vergelijkingssystematiek	De vergelijkingssystematiek geeft aan welke informatie van

	belang wordt geacht bij het onderling vergelijken van strategieën. Hiervoor worden een inventarisatie gemaakt van resultaten uit het Deltamodel en de effectmodules in het Deltainstrumentarium. Door uitwerking van de vergelijkingssystematiek kunnen de verschillende maatregelen en strategieën in de deelprogramma's onderling worden afgewogen, in het proces om te komen tot de Deltabeslissingen. De vergelijkingssystematiek kan gezien worden als een 'etiketteringssysteem' voor strategieën; het systeem brengt zelf geen voorkeursvolgorde aan. Die beoordeling is aan de verantwoordelijke bestuurders en politici.
--	---

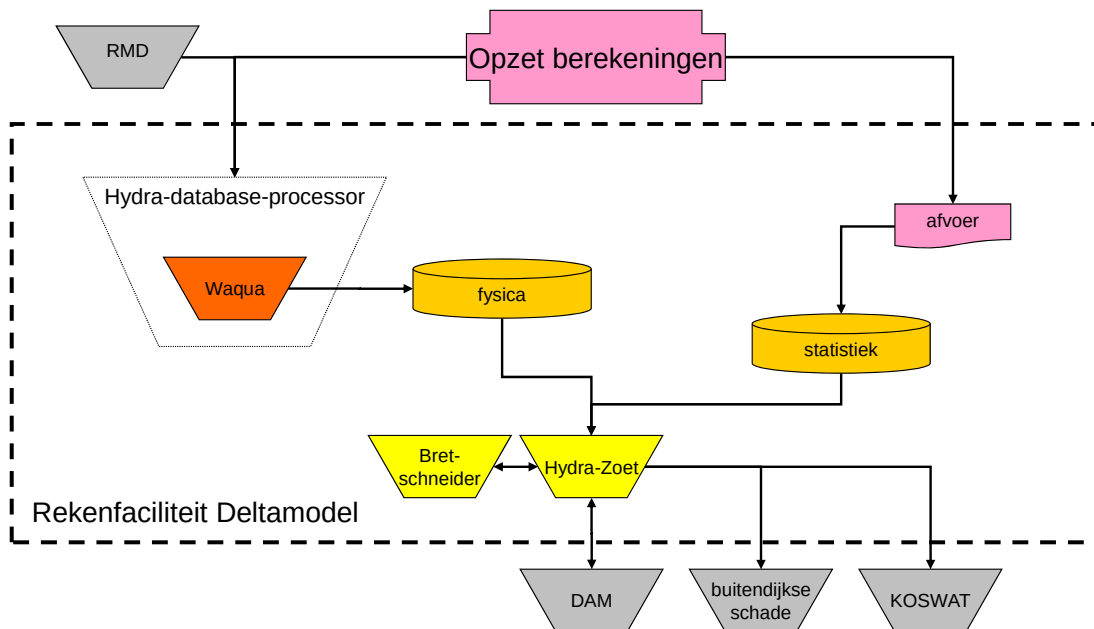
BIJLAGE B, Modelonderdelen Deltamodel (workflows)



DISCLAIMER: de inhoud van deze bijlage is overgenomen uit Ruijgh (2012) en beschrijft de modelonderdelen van het Deltamodel. Voor een uitgebreide beschrijving van de verschillende onderdelen wordt verwezen naar Ruijgh (2012) en de aanvullende rapportage die hieronder wordt genoemd.

Deze bijlage beschrijft per deelprogramma de verschillende workflows die zijn opgenomen in de Rekenfaciliteit Deltamodel. Dit is bedoeld als overzicht. De systeemdokumentatie Rekenfaciliteit Deltamodel (Deltares, 2012) beschrijft meer gedetailleerd de wijze waarop de modellen zijn opgenomen in het Deltamodel.

1. Workflow DP-Rivieren



Figuur B.1 Schematisch weergave van de workflow voor DP-Rivieren.

Waqua

- Voor zowel de Rijntakken als de Maas maakt het Deltamodel gebruik van Waqua. Het betreft de versie Simona-2011 (patch 10).
- Om Waqua te gebruiken binnen de Rekenfaciliteit Deltamodel is een “FEWS-adapter” nodig. Dit is dezelfde adapter als wordt gebruikt in FEWS-Meren, het operationele systeem voor de voorspelling van de waterstanden in het IJsselmeergebied. Het

gebruik van de adapter in operationele toepassingen (watermanagement) is gelijk aan het gebruik voor beleidsondersteuning.

- De Waqua-modellen voor de Maas en Rijnakken die zijn opgenomen in het Deltamodel voor de Referentie-2015 zijn ontwikkeld in het kader van het KPP-Rivierkundig Instrumentarium. Het betreft 5^{de} generatie Waqua-modellen die specifiek zijn ontwikkeld voor het Deltaprogramma. Het PvO voor beide modellen is beschikbaar (Waqua-Maas-DMref12_5-v1 en Waqua-Rijn-DMref12_5-v1) (Becker, 2012a en 2012b). Daarbij wordt aandacht besteed aan de kalibratie en validatie van de modellen, en de kwaliteitscriteria zoals gelden voor toepassing in het kader van WT1.

Hydra-database-processor

- De Hydra-database-processor regelt binnen de Rekenfaciliteit Deltamodel het uitvoeren van meerdere berekeningen ten behoeve van de probabilistische analyse voor de waterveiligheid.
- Voor de Rijnakken en Maas worden elk 9 verschillende Waqua-sommen gedraaid (met verschillende afvoergolven), hetgeen direct in de configuratie van de Rekenfaciliteit is opgenomen. De resultaten van de berekeningen worden opgenomen in de database fysica. Deze functionaliteit wordt in detail beschreven in de Systeemdokumentatie Rekenfaciliteit Deltamodel.

Hydra-Zoet

- De *regie* over het ontstaan en de verdere ontwikkeling van Hydra-Zoet heeft gelegen bij het 'SLA project B&O Hydra instrumentarium' en later in het *deel*project B&O Hydra instrumentarium binnen het 'KPP project B&O RTO instrumentarium'. Ten behoeve van de inbedding van Hydra-Zoet in het Deltamodel zijn enkele aanpassingen aangebracht aan Hydra-Zoet. Dit heeft geleid tot Hydra-Zoet versie 1.6.0.
- De database-fysica (met de resultaten van de berekeningen voor verschillende situaties in de Hydra-database-processor) en de database-statistiek (met de kansen op voorkomen van deze situaties) vormen invoergegevens voor Hydra-Zoet.
- In Hydra-Zoet is de Bretschneider formulering opgenomen om de golfcondities te bepalen.
- In de post-processing van Hydra-Zoet gebruikt de Rekenfaciliteit Deltamodel de resultaten van de Dijksterkte Analyse Module (DAM) om de referentiewaarde van de sterkte van de dijken af te leiden. De achtergronden van deze koppeling worden beschreven in Van der Meij en Nugroho (2012, in prep.).
- Om Hydra-Zoet te gebruiken binnen de Rekenfaciliteit Deltamodel is een "FEWS-adapter" nodig. Deze adapter is ontwikkeld door HKV (in opdracht van Deltares) in het kader van de ontwikkeling van het Deltamodel. Bij de oplevering van de adapter voor Hydra-Zoet heeft HKV een Handleiding en een Testrapport opgesteld.

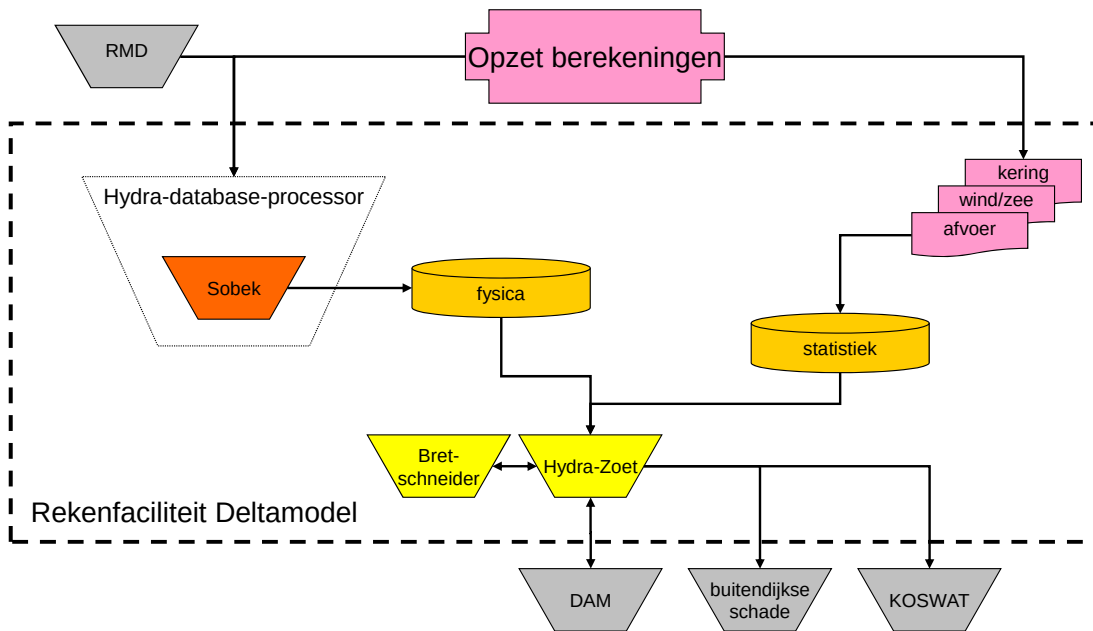
Rivier Morfologisch Deltamodel (RMD)

- Voor de simulatie van de grootschalige (en langjarige) morfologische ontwikkelingen voor Rijnakken (en de Rijn-Maasmonding en IJssel-Vechtdelta) is in het kader van het project Deltamodel het Rivier Morfologisch Deltamodel (RMD) ontwikkeld.
- Het DVR-instrumentarium (voor de Rijnakken) vormt het uitgangspunt voor DMR, en dit is uitgebreid voor de Rijn-Maasmonding.
- Het RMD is niet opgenomen in de Rekenfaciliteit Deltamodel. De resultaten van RDM kunnen wel worden gebruikt om de schematisatie van Waqua en/of Sobek aan te passen ten aanzien van de ligging van het zomerbed.

Effectmodules "Koswat" en "Schade buitendijks"

- De effectmodules "Koswat" en "Schade buitendijks" zijn niet opgenomen in de Rekenfaciliteit Deltamodel. Deze effectmodules vormen een onderdeel van het Delta-Instrumentarium. Wel is voorzien in een export functionaliteit.

2. Workflow DP-Rijnmond Drechtsteden



Figuur B.2 Schematisch weergave van de workflow voor DP-Rijnmond-Drechtsteden.

Sobek-RE

- Voor DP-Rijnmond-Drechtsteden maakt het Deltamodel gebruik van Sobek-RE, versie 2.52.007.
- De FEWS-adapter voor Sobek-RE wordt gebruikt in verschillende operationele systemen, zoals FEWS-Rivieren dat reeds is opgenomen in het Protocol Netwerkmogelijkheden (Scholten en Van der Hoek, 2011). Het gebruik van de adapter in operationele toepassingen (watermanagement) is gelijk aan het gebruik voor beleids-ondersteuning.
- De Sobek-RE schematisatie die is opgenomen in het Deltamodel voor DP-Rijnmond-Drechtsteden is de schematisatie voor WTI2011 *plus* PKB-maatregelen Benedenrivieren *plus* Oosterschelde, Grevelingen en Westerschelde. Deze schematisatie is beschreven in Gao en Van Zetten, 2011. Dit model is op verzoek van, en met instemming van DP-RD, opgenomen in de Rekenfaciliteit Deltamodel (dit model wordt nader aangeduid als "Sobek-RMM-ReferentieDPR2015". Voor dit model circuleren ook de namen "U07", "DP-RD versie B (MHWp)").

Hydra-database-processor

- De functionaliteit van de "MHW-processor 3.2" voor DP-Rijnmond-Drechtsteden is gemigreerd naar de configuratie van de Rekenfaciliteit Deltamodel (Delft-FEWS). De nieuwe naam die we hiervoor hanteren is "Hydra-database-processor". De functionaliteit van de Hydra-database-processor wordt in detail beschreven in de Systeemdokumentatie Rekenfaciliteit Deltamodel.
- Voor DP-Rijnmond-Drechtsteden biedt de configuratie van de Rekenfaciliteit Deltamodel de mogelijkheid om (108) productie-sommen te maken, op basis van 9 verschillende afvoeren van de Rijn en Maas, 6 combinaties voor de zeespiegel, windrichting en windkracht, en het al dan niet functioneren van de Europoortkering (Maeslant- en Hartelkering).

- Als onderdeel van de oplevering van het Deltamodel is een vergelijking uitgevoerd van de resultaten van de oorspronkelijke MHW-processor en de toepassing van de Hydra-database-processor voor enkele locaties binnen DP-Rijnmond-Drechtsteden. Deze vergelijking vormt de test voor het correct functioneren van de Hydra-database-processor.

Hydra-Zoet
Zie DP Rivieren

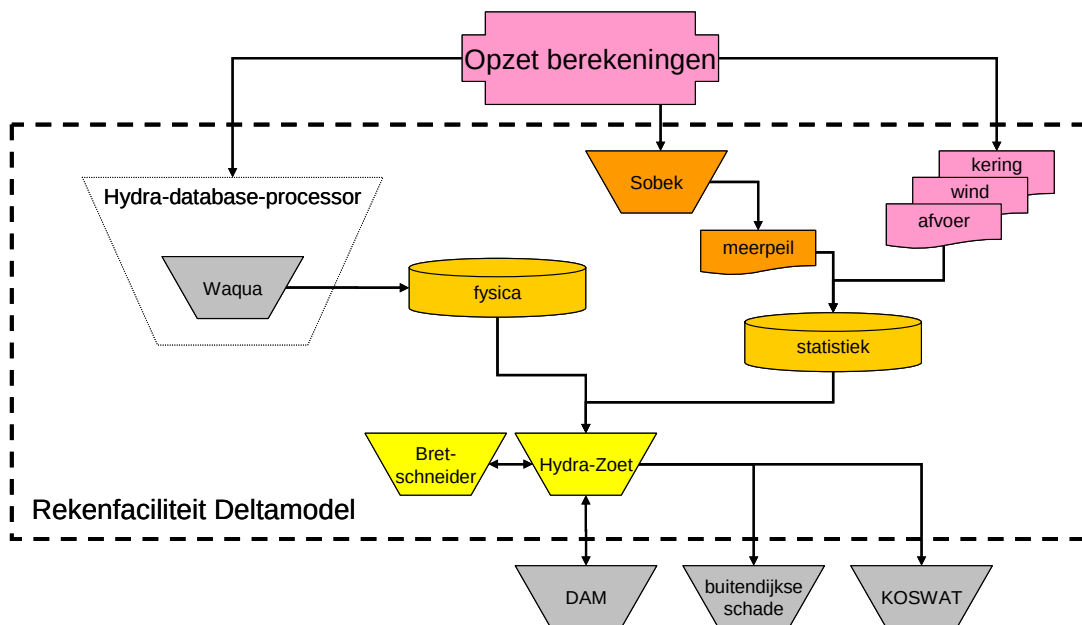
Rivier Morfologische Deltamodel RMD
Zie DP Rivieren

Effectmodules "Koswat" en "Schade buitendijs" *"*
Zie DP Rivieren

3. Workflows DP- IJsselmeergebied

Voor DP-IJsselmeergebied onderscheiden we de modellen voor IJsselmeer en Markermeer en de modellen voor IJssel-Vechtdelta.

IJsselmeer en Markermeer



Figuur B.3 Schematisch weergave van de workflow voor DP-IJsselmeer, voor IJsselmeer / Markermeer.

Sobek-River

- Het meerpeil in het IJsselmeer en Markermeer berekenen we in het Deltamodel met een Sobek-model. Het betreft het meest recente (5^{de} generatie) rekenhart van Sobek-River, dat onderdeel uitmaakt van Sobek-3 onder het nieuwe user-interface DeltaShell. Dit rekenhart kan ook worden toegepast met het user-interface van Sobek 2.12.
- De FEWS-adapter voor Sobek-2.12 (met daarin dus het nieuwe rekenhart) vormt een onderdeel van ondermeer FEWS-IWP. Het gebruik van de adapter in operationele toepassingen (watermanagement) is gelijk aan het gebruik voor beleidsondersteuning.
- De toepassing van Sobek-River voor het IJsselmeer en Markermeer vormt een uitsnede van het Landelijk Sobek Model LSM, zoals ook wordt gebruikt voor het

deelprogramma DP-ZW. In Deltamodel 1.0 betreft het vooralsnog een uitsnede van LSM-0.4, maar daarbij merken we op dat de verschillen tussen LSM-0.4 en LSM-1.0 voor dit gebied zeer gering zijn.

Meerpeilstatistiek

- Op basis van een langjarige berekening met Sobek-River voor het IJsselmeer en Markermeer wordt de meerpeilstatistiek bepaald.
- De gehanteerde methode is beschreven in de Handleiding Meerpeilstatistiek (Hoonhout, 2012).
- Deze methode is in eerste instantie opgenomen in een Matlab-script. Voor de implementatie in de Rekenfaciliteit Deltamodel is het gebruik van Matlab ongewenst (in verband met licentiekosten) en gaat de voorkeur uit naar een toepassing in Python (freeware).

Hydra-Zoet

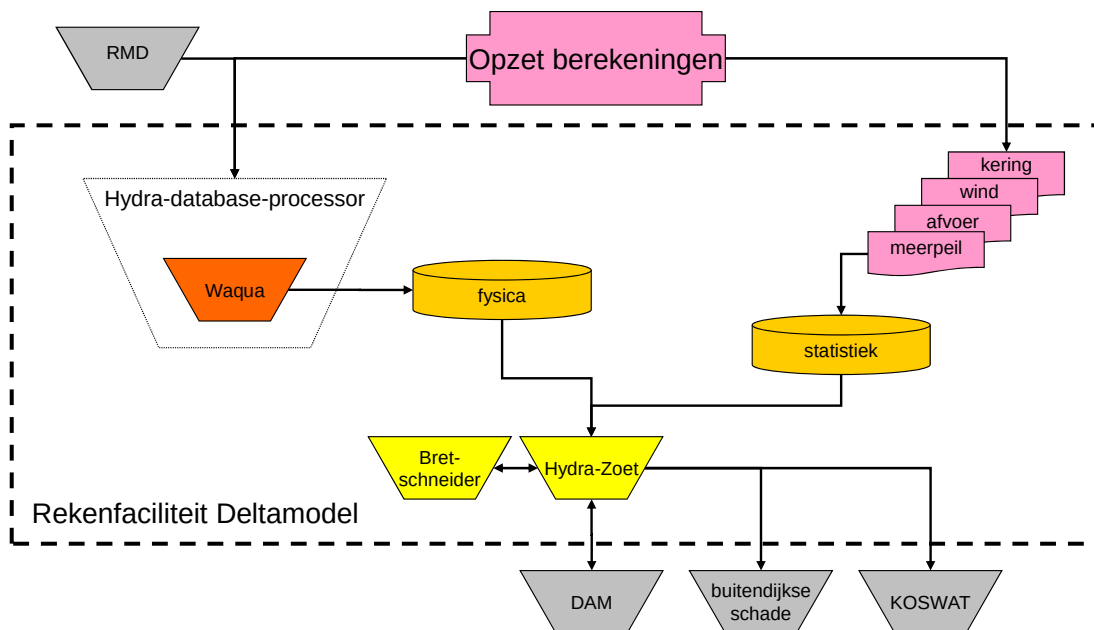
Zie DP Rivieren

Effectmodules "Koswat" en "Schade buitendijks"

Zie DP Rivieren

IJssel-Vechtdelta

Onderstaande figuur geeft de workflow voor de IJssel-Vechtdelta binnen DP-IJsselmeergebied schematisch weer.



Figuur B.4 Schematisch weergave van de workflow voor DP-IJsselmeer, voor IJssel-Vechtdelta.

Hydra-Zoet

- Voor de IJssel-Vechtdelta & IJsselmeer maakt het Deltamodel gebruik van Waqua. Het betreft de versie Simona-2011.
- Om Waqua te gebruiken binnen de Rekenfaciliteit Deltamodel is een "FEWS-adapter" nodig. Dit is dezelfde adapter als wordt gebruikt in FEWS-Meren, het operationele systeem voor de voorspelling van de waterstanden in het IJsselmeergebied. Het

gebruik van de adapter in operationele toepassingen (watermanagement) is gelijk aan het gebruik voor beleidsondersteuning.

- Het Waqua-model voor de IJssel-Vechtdelta in het Deltamodel voor de Referentie-2015 is ontwikkeld in het kader van het KPP-Rivierkundig Instrumentarium. Het betreft een 5^{de} generatie Waqua-model, dat specifiek is ontwikkeld voor het Deltaprogramma. Het Protocol van Overdracht voor dit model is beschikbaar (Waqua-IJVD-DMref12_5-v1) (Becker, 2012c, in prep.). Daarbij wordt aandacht besteed aan de kalibratie en validatie van de modellen, en de kwaliteitscriteria zoals gelden voor toepassing in het kader van WTI.
- In het Waqua-model voor de IJssel-Vechtdelta & IJsselmeer is een Q-rand bij de Afsluitdijk opgenomen (i.t.t. de h-rand zoals gebruikelijk is voor WTI).

Hydra-database-processor

- Voor de IJssel-Vechtdelta & IJsselmeer biedt de configuratie van de Rekenfaciliteit Deltamodel (Delft-FEWS) de mogelijkheid om (1025) productie-sommen te maken, op basis van de afvoer van de IJssel, het meerpeil, de windrichting en windkracht, en het functioneren van de Balgstuw. Hiervoor gebruiken we de “Hydra-database-processor”. De functionaliteit van de Hydra-database-processor wordt in detail beschreven in de Systeemdokumentatie Rekenfaciliteit Deltamodel.
- De functionaliteit van de Hydra-database-processor is gebaseerd op de voormalige MHW-processor. Voor IJssel-Vechtdelta & IJsselmeer bestond nog geen toepassing van de MHW-processor. Als onderdeel van de oplevering van het Deltamodel is een vergelijking uitgevoerd van de resultaten van de oorspronkelijke MHW-processor en de toepassing van de Hydra-database-processor voor enkele locaties binnen DP-Rijnmond-Drechtsteden.

Hydra-Zoet

Zie DP Rivieren.

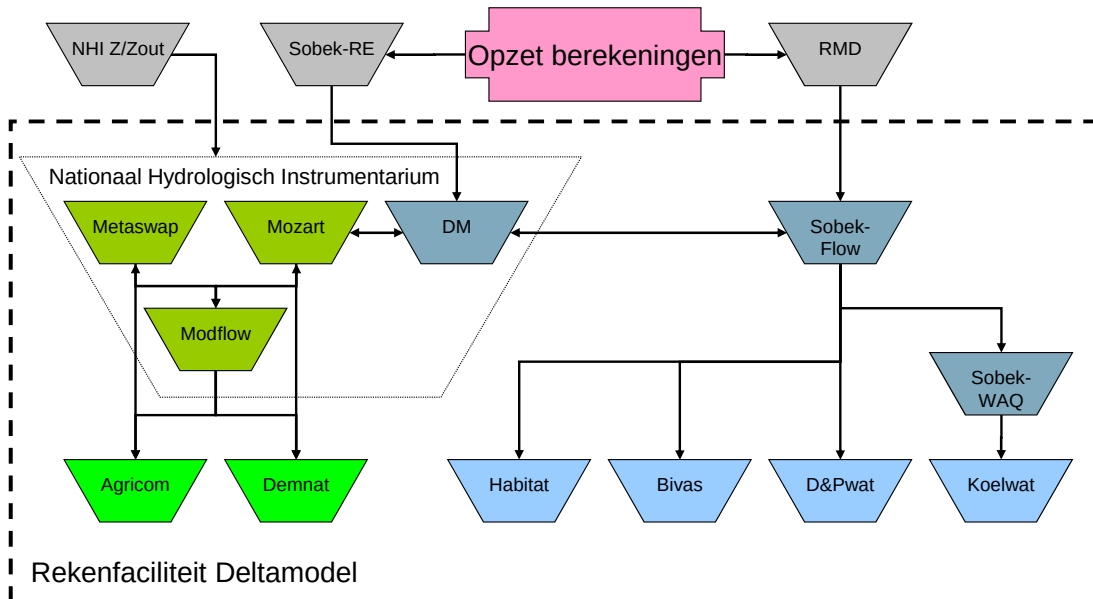
Rivier Morfologisch Deltamodel RMD

Zie DP Rivieren.

Effectmodules “Koswat” en “Schade buitendijks”

Zie DP Rivieren.

4. Workflow DP-Zoetwater



Figuur B.5 Schematisch weergave van de workflow voor DP-Zoetwater.

NHI

- In het kader van het KPP-project NHI is NHI-3.0 (Modflow-Metaswap-Mozart-DM) ontwikkeld. In vergelijking tot NHI-2.2 bevat NHI-3.0 zowel allerlei functionele / inhoudelijke verbeteringen als verbeteringen / aanpassingen in de schematisaties en invoerfiles. Voor nadere info wordt verwezen naar Hoogewoud et al (2013).
- Bij de oplevering van NHI-3.0 is de prestatie t.o.v. de kwaliteitseisen voor het Deltamodel vastgelegd (Hoogewoud et al, 2013).
- De zout-randen in de ondergrond voor de berekeningen met NHI worden afgeleid van een berekening met NHI Zout/Zoet. Dit is een speciale – meer gedetailleerde – versie van NHI waarmee dichtheidstromingen in de ondergrond kunnen worden gesimuleerd. In de achtergronddocumentatie van NHI-3.0 wordt beschreven hoe dit is geïmplementeerd. Deze berekeningen met NHI Zout/Zoet vormen geen onderdeel van de Rekenfaciliteit Deltamodel, maar worden off-line uitgevoerd.

Sobek-River

- De resultaten van NHI-3.0 vormen in het Deltamodel de invoer voor een berekening met Sobek voor de waterstanden, afvoer (en zoutconcentraties) in het waterverdelingsnetwerk. Het betreft het meest recente (5^{de} generatie) rekenhart van Sobek-River, dat onderdeel uitmaakt van Sobek-3 onder het nieuwe user-interface DeltaShell. Dit rekenhart vormt tevens het rekenhart van Sobek 2.12.
- De FEWS-adapter voor Sobek-2.12 (met daarin dus het nieuwe rekenhart) vormt een onderdeel van ondermeer FEWS-IWP. Het gebruik van de adapter in operationele toepassingen (watermanagement) is gelijk aan het gebruik voor beleidsondersteuning.
- De toepassing van Sobek-River voor het waterverdelingsnetwerk heeft de naam “Landelijk Sobek Model” gekregen (LSM-1.0, Prinsen 2012).

Sobek-Waq

- Op basis van de resultaten van LSM-1.0 berekent het Deltamodel de temperatuur van het oppervlaktewater met de waterkwaliteitsmodule van Sobek-2.12 (Sobek-Waq). Sobek-Waq is een internationaal veel gebruikte module, met uitgebreide functionaliteit waarvan het Deltamodel slechts een beperkt deel gebruikt voor de temperatuursmodellering.
- Met de FEWS-adapter voor Sobek-2.12 (zoals wordt toegepast voor FEWS-IWP) kan naast het hydraulische rekenhart van Sobek-River ook de waterkwaliteitsmodule worden aangestuurd.
- De toepassing van de waterkwaliteitsmodule van Sobek voor de temperatuursmodellering van het waterverdelingsnetwerk heeft de naam Landelijk Temperatuursmodel LTM gekregen. Deze schematisatie is gebaseerd op LSM, met daaraan toegevoegd de thermische lozingspunten.

Agricom

- Voor de landbouwschade module Agricom zal aanvullende informatie beschikbaar worden gesteld (Hoogewoud, 2012 in prep.) in het kader van het KPP-project PAWN-effectmodellen.

Demnat

- Voor nadere informatie over Demnat wordt verwezen naar het Protocol van Overdracht van de terrestrische natuur module Demnat-3.0 (van Ek, 2012).

Koelwat

- In het kader van de ontwikkeling van de Rekenfaciliteit Deltamodel is de functionaliteit van de effectmodule Koelwater opgenomen in de configuratie van Delft-FEWS.

Drinkwat

In het kader van de ontwikkeling van de Rekenfaciliteit Deltamodel is de functionaliteit van de effectmodule Drinkwat opgenomen in de configuratie van Delft-FEWS.

Habitat

- Het Protocol van Overdracht van de aquatische natuur module Habitat (Harezlac, 2012) is opgesteld in het kader van het KPP-project Toolbox Ecologische Modellen.

BIVAS

- Het Protocol van Overdracht van de scheepvaart module Bivas (Verheij en Van der Sligte, 2012) is opgesteld in het kader van het KPP-project PAWN-effectmodellen.

Rivier Morfologische Deltamodel RMD

Zie DP Rivieren.

Sobek-RE (zout)

- Voor de zoutmodellering in de Rijn-Maasmonding maakt het Deltamodel-1.0 gebruik van de resultaten van berekeningen met Sobek-RE. Dit is dezelfde rekenkern als gebruikt wordt voor de veiligheidsberekeningen voor DP-Rivieren.
- Deze berekeningen voor zout vormen geen onderdeel van de Rekenfaciliteit Deltamodel, maar worden off-line uitgevoerd.
- De resultaten van Sobek-RE vormen invoer voor het Distributiemodel DM, waarmee de verspreiding van zout via het waterverdelingsnetwerk in NHI-3.0 wordt gesimuleerd.

- De resultaten van Sobek-RE voor zout in de Rijn-Maasmonding vormen ook de invoer voor de drink- en proceswatermodule Drinkwat, waarmee statistieken worden bepaald voor de chloride concentratie in het oppervlaktewater (frequentie van het optreden van overschrijden van een grenswaarde, de lengte van de overschrijding en de grootte van de overschrijding). Zie ook Bijlage K van Ruijgh (2012).

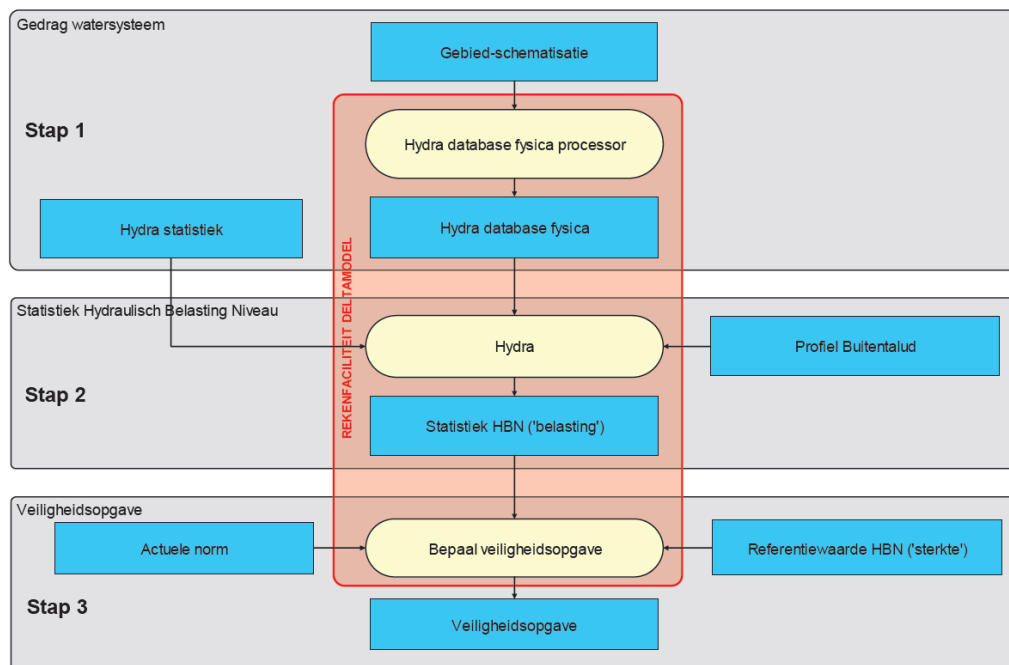
Op termijn verwachten we dat de zoutmodellering met Sobek-RE (voor de Rijn-Maasmonding) zal worden vervangen door een berekening met het Landelijk Sobek Model LSM voor het volledige waterverdelingsnetwerk. In voorbereiding daarop heeft Gao (2012) een vergelijking gemaakt van de resultaten van de berekening met Sobek-RE en Sobek-2.13.

BIJLAGE C, Aanwijzingen voor toepassing voor Deltaprogramma



DISCLAIMER: de inhoud van deze bijlage is overgenomen uit De Waal (2012) en geeft aanwijzingen voor toepassing van het Deltamodel voor het Deltaprogramma.

De Waal (2012) geeft een schematische weergave van de belangrijkste stappen in de waterveiligheidsbeschouwing. Figuur C.1 laat deze schematische weergave zien.



Figuur C.1 Globaal stroomschema Deltamodel waterveiligheidsbeschouwingen. Hierin staat 'HBN' voor Hydraulische Belasting Niveau.

De Waal (2012) geeft aanwijzingen voor de toepassing van het Deltamodel in de deelprogramma's. Hij geeft voor een aantal maatregelen en scenario's aan de hand van tabellen aan op welke plaats aanpassingen nodig zijn in het Deltamodel. Hierbij maakt hij onderscheid in de drie stappen van de waterveiligheidsbeschouwingen uit Figuur C.1.

Hieronder zijn de paragrafen 10.3 en 10.4 uit De Waal (2012) overgenomen. In de tabel staan de gegevensblokken uit Figuur C.1, met daarachter de positie (binnen of buiten de Rekenfaciliteit) en een symbool dat aangeeft of aanpassing nodig is. Een vinkje betekent dat data hergebruikt kunnen worden, hetgeen dan ook wordt aanbevolen. Het symbool voor gereedschap betekent dat de data opnieuw gegenereerd moeten worden.

10.3 Verwerking van de Deltascenario's

10.3.1 Zeespiegelstijging

Analyse-stap		Data	Buiten RF	Binnen RF
Gedrag watersysteem step 1	fysica	Gebiedschematisatie	✗	
		Hydra database fysica IJM, MM	☑	
		Hydra database fysica (excl. IJM, MM)		✗
	statistiek	Statistiek stochasten (excl. IJM-peil)	✗	
		Statistiek IJsselmeerpeil		✗
Statistiek HBN step 2		Profiel buitentalud	☑	
		Statistiek HBN		✗
Veiligheidsopgave step 3		Referentiewaarden HBN ('sterkte')	☑	
		Actuele normen	☑	
		Veiligheidsopgave		✗

Tabel 10.2 Aan te passen data bij verwerking van zeespiegelstijging.

10.3.2 Hogere rivierafvoer-extremen

Analyse-stap		Data	Buiten RF	Binnen RF
Gedrag watersysteem stap 1	fysica	Gebiedschematisatie	☑	
		Hydra database fysica IJM, MM	☑	
		Hydra database fysica (excl. IJM, MM)		☑
	statistiek	Statistiek stochasten (excl. IJM-peil)	✗	
		Statistiek IJsselmeerpeil		☑
Statistiek HBN stap 2		Profiel buitentalud	☑	
		Statistiek HBN		✗
Veiligheidsopgave stap 3		Referentiewaarden HBN ('sterkte')	☑	
		Actuele normen	☑	
		Veiligheidsopgave		✗

Tabel 10.3 Aan te passen data bij verwerking hogere rivierafvoer extremen.

Kanttekening:

Voor het benedenrivierengebied is van belang dat de '50% relatie' tussen de Rijnafvoer en de Maasafvoer niet te veel verandert, anders moet voor dit gebied ook de database fysica worden aangepast.

10.3.3 Bodemniveau-verandering

Analyse-stap		Data	Buiten RF	Binnen RF
Gedrag watersysteem step 1	fysica	Gebiedschematisatie	☑	
		Hydra database fysica IJM, MM	☑	
		Hydra database fysica (excl. IJM, MM)		☑
	statistiek	Statistiek stochasten (excl. IJM-peil)	☑	
		Statistiek IJsselmeerpeil		☑
Statistiek HBN step 2		Profiel buitentalud	☑	
		Statistiek HBN		☑
Veiligheidsopgave step 3		Referentiewaarden HBN ('sterkte')	✗	
		Actuele normen	☑	
		Veiligheidsopgave		✗

Tabel 10.4 Aan te passen data bij verwerking bodemniveau verandering.

Kanttekening:

Dit is de vereenvoudigde aanpak, zoals beschreven in paragraaf 6.6 en Bijlage D. In feite worden niet de HBN referentiewaarden aangepast maar wordt het invoerbestand aangepast waarin voor alle dijkvakken de bodemdaling staat vermeld.

10.4 Verwerking van maatregelen

10.4.1 Aanpassing normen (zwaarte)

Analyse-stap		Data	Buiten RF	Binnen RF
Gedrag watersysteem step 1	fysica	Gebiedschematisatie	☑	
		Hydra database fysica IJM, MM	☑	
		Hydra database fysica (excl. IJM, MM)		☑
	statistiek	Statistiek stochasten (excl. IJM-peil)	☑	
		Statistiek IJsselmeerpeil		☑
Statistiek HBN step 2		Profiel buitentalud	☑	
		Statistiek HBN		☑
Veiligheidsopgave step 3		Referentiewaarden HBN ('sterkte')	☑	
		Actuele normen	✗	
		Veiligheidsopgave		✗

Tabel 10.5 Aan te passen data bij verwerking aanpassing zwaarte normen.

Kanttekening:

Dit geldt alleen als de aanpassing van de normen niet al te fors is. Op vrij globaal niveau zijn de normen namelijk ook van belang bij het in kaart brengen van het gedrag van het watersysteem: als aanzienlijk strengere normen bekeken moeten worden, dan moet het bereik van het te beschrijven fysisch gedrag wellicht vergroot worden. Tevens moet dan worden overwogen of de verdere extrapolatie van de statistiek van de stochasten tot dergelijke waarden nog wel plausibel is.

10.4.2 Aanpassing afvoerverdeling splitsingspunten

Analyse-stap		Data	Buiten RF	Binnen RF
Gedrag watersysteem stap 1	fysica	Gebiedschematisatie	✗	
		Hydra database fysica IJM, MM	☑	
		Hydra database fysica (excl. IJM, MM)		✗
	statistiek	Statistiek stochasten (excl. IJM-peil)	✗	
		Statistiek IJsselmeerpeil		✗
Statistiek HBN stap 2		Profiel buitentalud	☑	
		Statistiek HBN		✗
Veiligheidsopgave stap 3		Referentiewaarden HBN ('sterkte')	☑	
		Actuele normen	☑	
		Veiligheidsopgave		✗

Tabel 10.6 Aan te passen data bij verwerking aanpassing afvoerverdeling splitsingspunten.

Kanttekening:

Deze maatregel wordt ook beschreven in de Handreiking (Van Vuren et al, 2012).

10.4.3 Aanpassing peilbeheer IJsselmeer

Analyse-stap		Data	Buiten RF	Binnen RF
Gedrag watersysteem stap 1	fysica	Gebiedschematisatie	☑	
		Hydra database fysica IJM, MM	☑	
		Hydra database fysica (excl. IJM, MM)		☑
	statistiek	Statistiek stochasten (excl. IJM-peil)	☑	
		Statistiek IJsselmeerpeil		✗
Statistiek HBN stap 2		Profiel buitentalud	☑	
		Statistiek HBN		✗
Veiligheidsopgave stap 3		Referentiewaarden HBN ('sterkte')	☑	
		Actuele normen	☑	
		Veiligheidsopgave		✗

Tabel 10.7 Aan te passen data bij verwerking aanpassing peilbeheer IJsselmeer.

Kanttekeningen:

- Binnen de context van de bepaling van de IJsselmeerpeilstatistiek moet de gebiedschematisatie wel aangepast worden, maar binnen de context van het genereren van de Hydra database fysica niet.
- Bij een forse peilverhoging moet mogelijk het sluitcriterium van Ramspol worden aangepast.

10.4.4 Aanpassingen bodem langs rivieren, bijvoorbeeld afgraven winterbed

Analyse-stap		Data	Buiten RF	Binnen RF
Gedrag watersysteem stap 1	fysica	Gebiedschematisatie	✗	
		Hydra database fysica IJM, MM	☑	
		Hydra database fysica (excl. IJM, MM)		✗
	statistiek	Statistiek stochasten (excl. IJM-peil)	☑	
		Statistiek IJsselmeerpeil		☑
Statistiek HBN stap 2		Profiel buitentalud	☑	
		Statistiek HBN		✗
Veiligheidsopgave stap 3		Referentiewaarden HBN ('sterkte')	✗	
		Actuele normen	☑	
		Veiligheidsopgave		✗

Tabel 10.8 Aan te passen data bij verwerking aanpassingen bodem langs rivieren.

10.4.5 Inzet externe berging (Volkerak-Zoommeer, Grevelingen)

Analyse-stap		Data	Buiten RF	Binnen RF
Gedrag watersysteem step 1	fysica	Gebiedschematisatie	✗	
		Hydra database fysica IJM, MM	☑	
		Hydra database fysica (excl. IJM, MM)		✗
	statistiek	Statistiek stochasten (excl. IJM-peil)	☑	
		Statistiek IJsselmeerpeil		☑
Statistiek HBN step 2		Profiel buitentalud	☑	
		Statistiek HBN		✗
Veiligheidsopgave step 3		Referentiewaarden HBN ('sterkte')	☑	
		Actuele normen	☑	
		Veiligheidsopgave		✗

Tabel 10.9 Aan te passen data bij verwerking inzet externe berging.

10.4.6 Nieuwe beweegbare keringen

Analyse-stap		Data	Buiten RF	Binnen RF
Gedrag watersysteem step 1	fysica	Gebiedschematisatie	✗	
		Hydra database fysica IJM, MM	☑	
		Hydra database fysica (excl. IJM, MM)		✗
	statistiek	Statistiek stochasten (excl. IJM-peil)	☑	
		Statistiek IJsselmeerpeil		☑
Statistiek HBN step 2		Profiel buitentalud	☑	
		Statistiek HBN		✗
Veiligheidsopgave step 3		Referentiewaarden HBN ('sterkte')	☑	
		Actuele normen	☑	
		Veiligheidsopgave		✗

Tabel 10.10 Aan te passen data bij verwerking nieuwe beweegbare keringen.

Kanttekening:

Bovenstaande uitwerking geldt voor nieuwe beweegbare keringen buiten het merengebied, die (bij benadering) feilloos functioneren: bij de bepaling van de statistiek van de belasting wordt geen rekening gehouden met de faalkans (de kans op niet-functioneren) van de beweegbare kering.

10.4.7 Aanpassingen aan randen van rivieren (dijkverlegging, bypasses, nieuwe riviertakken)

Analyse-stap		Data	Buiten RF	Binnen RF
Gedrag watersysteem step 1	fysica	Gebiedschematisatie	✗	
		Hydra database fysica IJM, MM	☑	
		Hydra database fysica (excl. IJM, MM)		✗
	statistiek	Statistiek stochasten (excl. IJM-peil)	☑	
		Statistiek IJsselmeerpeil		☑
Statistiek HBN step 2		Profiel buitentalud	✗	
		Statistiek HBN		✗
Veiligheidsopgave step 3		Referentiewaarden HBN ('sterkte')	✗	
		Actuele normen	☑	
		Veiligheidsopgave		✗

Tabel 10.11 Aan te passen data bij verwerking aanpassing randen van rivieren.

Kanttekeningen:

- Een aanpassing van de randen grijpt in op enkele onderdelen van de *basis* informatie. Naast een nieuwe gebiedschematisatie moeten namelijk ook nieuwe uitvoerlocaties en nieuwe dijkvakken gedefinieerd worden, terwijl andere komen te vervallen. Voor de nieuwe dijkvakken moeten kritische waarden worden bepaald. (Deze waarden liggen overigens waarschijnlijk hoog want ze volgen uit het ontwerp van de maatregel. Verder moeten de kosten van de nieuwe dijken zijn inbegrepen in de kosten van de maatregel zelf).
- De veiligheidsopgave voor een afzonderlijke Case kan met een dergelijke aanpassing goed bepaald worden, zowel ruimtelijk gedifferentieerd als geaggregeerd. Het verschil tussen de veiligheidsopgaven van verschillende Cases kan nu - ter plaatse van de wijzigingen - niet meer goed bepaald worden. De vergelijking van ruimtelijk geaggregeerde veiligheidsopgave tussen Cases is echter weer geen probleem.