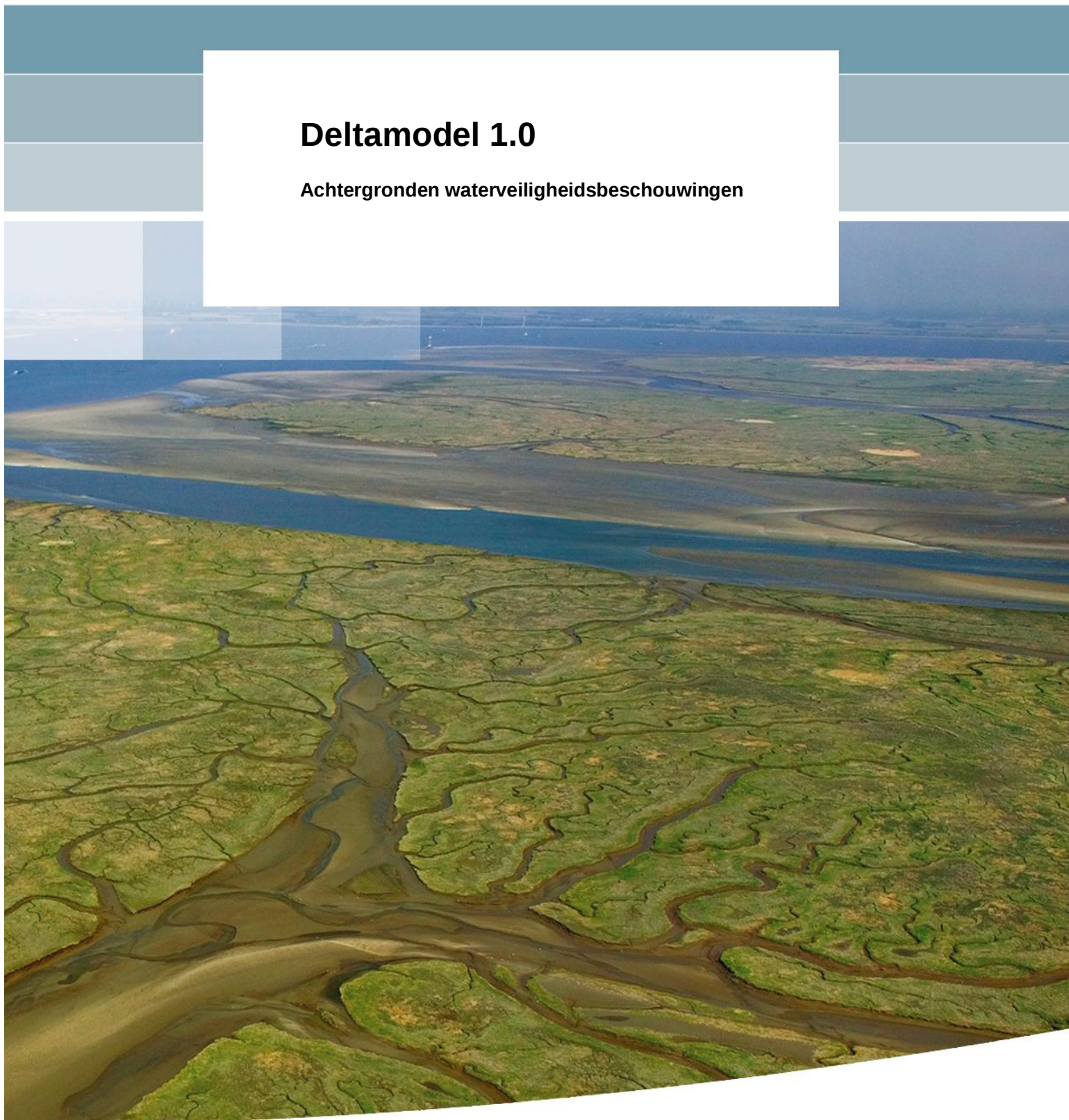


Deltamodel 1.0

Achtergronden waterveiligheidsbeschouwingen



Deltamodel 1.0

Achtergronden waterveiligheidsbeschouwingen

J.P. de Waal

1205954-001

Titel
Deltamodel 1.0

Opdrachtgever
RWS Waterdienst

Project
1205954-001

Kenmerk
1205954-001-ZWS-0003

Pagina's
97

Trefwoorden
Deltamodel, veiligheid, Deltaprogramma

Samenvatting

Het Deltamodel vormt de 'waterstaatkundige gereedschapskist' voor het Deltaprogramma en bestaat uit een samenhangende en consistente verzameling rekenmodellen. De beoogde toepassing van het Deltamodel ligt in het voorbereiden van beleidsbeslissingen, waarbij sprake is van een afweging tussen verschillende maatregelen met betrekking tot waterbeheer, waterveiligheid en ruimtelijke ordening, in de context van onzekerheid over de klimatologische en socio-economische toekomst van Nederland. Binnen het Deltamodel richt een keten modellen zich op de bepaling van de effecten van toekomstscenario's en maatregelen op de waterveiligheid. Onderhavig document beschrijft deze keten van modellen. Mogelijkheden en beperkingen worden benoemd en aanbevelingen voor toepassing en eventuele nadere modelontwikkelingen worden geformuleerd.

Referenties

Werkplan Deltamodel. Versie 1 juni 2010. Deltares rapport 1202134-001, E. Ruijgh.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	sept. 2012	J.P. de Waal		J.V.L. Beckers		H. van der Klis	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 De gevraagde functionaliteiten binnen het Deltamodel	3
2.1 Inleiding	3
2.2 Enkele eerste kanttekeningen	4
2.2.1 Specificatie toepassingsruimte	4
2.2.2 Geografische afbakening: uitsluiting waterkeringen van categorie c	4
2.2.3 Geografische afbakening: uitsluiting Oosterschelde	5
2.2.4 Beperkte uitwerking voor buitendijkse gebieden	5
2.2.5 Rekentijd	5
2.2.6 Versie 1.0	6
3 Globale invulling analysemethode	7
3.1 Uitgangspunt: Hydra-aanpak	7
3.2 Beoogde veiligheidsbeschouwing op hoofdlijnen	8
3.3 Uitgangspunten binnen Hydra-Zoet	10
3.3.1 Focus op hoogte-aspect van hydraulische belasting	10
3.3.2 Het water wordt gekeerd	10
3.3.3 Focus op winterhalfjaar	11
3.4 Nuancering in onderdeel 'gedrag watersysteem'	12
3.5 Uitdagingen op het pad van uitgangspunt naar doel	14
4 Uitwerking generieke methode veiligheidsanalyse	15
4.1 Inleiding	15
4.2 Generiek stroomschema waterveiligheidsbeschouwing	15
4.3 Generieke modelkeuzes	16
4.3.1 Uitvoerlocaties	16
4.3.2 Belastingparameters	17
4.3.3 Veiligheidsopgaveparameters	17
4.3.4 Te beschermen binnendijks gebied	18
4.4 Stochastcombinaties: de watersystemen	18
4.4.1 Generieke opzet Hydra-Zoet	18
4.4.2 Implicaties van huidige Hydra-Zoet watersysteemtypes	20
5 Stap 1: Gedrag watersysteem, statistiek	23
5.1 Inleiding	23
5.2 De Hydra stochasten	24
5.2.1 Overzicht en standaard instellingen	24
5.2.2 Wind	25
5.2.3 Zeewaterstand	26
5.2.4 Rivierafvoeren	26
5.2.5 Meerpeil	27
5.2.6 Stormvloedkering	28
5.3 Bepaling statistiek IJsselmeerpeil	28
6 Stap 1: Gedrag watersysteem, fysica	31
6.1 Inleiding	31
6.2 Gedragsbepalende factoren	31

6.3	Relevant kansbereik systeemgedrag	32
6.4	Definitie productiesommen fysica: bereik en discretisatie stochastcombinaties	33
6.5	Hydra database fysica processor	33
6.5.1	Hoofdfunctionaliteiten	33
6.5.2	Berekening waterstanden	34
6.5.3	Berekening golven	34
6.6	Omgaan met bodemdaling	35
7	Stap 2: Statistiek Hydraulisch Belastingniveau	37
7.1	Inleiding	37
7.2	Primaire functionaliteiten Hydra-Zoet	37
7.3	Aanpassingen aan Hydra-Zoet voor Deltamodel toepassing	38
7.4	Basis instellingen bij Deltamodel 1.0 berekeningen	38
7.5	Kenmerken van de uitvoer	39
8	Stap 3: Veiligheidsopgave	41
8.1	De veiligheidsopgave als parameter	41
8.2	Basisfunctionaliteiten	42
8.3	Presentatie geografische verdeling veiligheidsopgave	44
8.4	Ruimtelijke aggregatie	45
9	Samenhang in invoergegevens, pre-processing	47
9.1	Inleiding	47
9.2	Samenhang in basis informatie	47
9.3	Samenhang in gebiedschematisaties	47
9.4	Samenhang tussen de watersystemen	47
9.5	Profielen in referentiesituatie	48
9.6	De bepaling van HBN-referentiewaarden in de referentiesituatie	48
10	Aanwijzingen voor toepassing voor Deltaprogramma	51
10.1	Hoofdlijn	51
10.1.1	Procedure	51
10.1.2	De maatregel 'standaard dijkversterking'	52
10.2	Definitie van de referentiesituatie	52
10.3	Verwerking van de Deltascenario's	53
10.3.1	Zeespiegelstijging	53
10.3.2	Hogere rivierafvoer-extremen	53
10.3.3	Bodemniveau-verandering	54
10.4	Verwerking van maatregelen	54
10.4.1	Aanpassing normen (zwaarte)	54
10.4.2	Aanpassing afvoer verdeling splitsingspunten	55
10.4.3	Aanpassing peilbeheer IJsselmeer	55
10.4.4	Aanpassingen bodem langs rivieren, bijvoorbeeld afgraven winterbed	56
10.4.5	Inzet externe berging (Volkerak-Zoommeer, Grevelingen)	56
10.4.6	Nieuwe beweegbare keringen	56
10.4.7	Aanpassingen aan randen van rivieren (dijkverlegging, bypasses, nieuwe riviertakken)	57
10.5	Beperkingen rekenmogelijkheden Deltamodel	57
11	Inbedding	59
11.1	Aansluiting op aanverwante gereedschappen	59

11.2 Relatie met SLA - Modellen	60
11.3 Samenhang met analysemethode zoetwatervoorziening	60
12 Discussie	63
12.1 Ambitieniveau	63
12.2 Inventarisatie sterke punten	63
12.3 Inventarisatie beperkingen	63
12.4 Onzekerheden	64
13 Samenvatting	67
13.1 Overzicht	67
13.2 Aanbevelingen	68
14 Referenties	71
 Bijlage(n)	
A Generiek Stroomschema	A-1
B Positionering Oosterschelde	B-1
B.1 Inleiding	B-1
B.2 Probleemanalyse	B-1
B.2.1 De behoefte aan veiligheidsbeschouwingen	B-1
B.2.2 De beschikbare middelen voor veiligheidsbeschouwingen	B-1
B.2.3 Criteria voor opname in Deltamodel	B-3
B.2.4 Cruciale vragen	B-3
B.3 Aanpak	B-4
B.4 Uitvoering	B-4
C Positionering Bretschneider golfmodellering	C-1
C.1 Inleiding	C-1
C.1.1 Probleembeschrijving	C-1
C.2 Achtergrond informatie golfmodellering voor Hydra	C-1
C.2.1 Bretschneider	C-1
C.3 Opties voor inrichting productieproces	C-2
C.3.1 Inleiding	C-2
C.3.2 Productieketen met Bretschneider, generiek	C-4
C.3.3 Productieketen met Bretschneider, Bovenrivieren (prob)	C-6
C.4 Overwegingen en voorkeur	C-9
C.5 Samenvatting	C-9
D Positionering bodemniveau verandering in waterveiligheid	D-1
D.1 Inleiding: probleembeschrijving	D-1
D.2 Opties voor aanpak	D-2
D.3 Voorkeur	D-3

1 Inleiding

Kader

Het project 'Deltamodel' is een meerjarig samenwerkingsproject van Deltares en Rijkswaterstaat Waterdienst, dat wordt uitgevoerd binnen het kader van de 'Kennis voor de Primaire Processen' (KPP) van Rijkswaterstaat. Het doel van het project is het leveren van een betrouwbare en geaccepteerde waterstaatkundige basis voor de voorbereiding van het Deltaprogramma: het Deltamodel vormt de 'waterstaatkundige gereedschapskist' voor het Deltaprogramma. Het Deltamodel zal vanaf de geplande oplevering eind 2012 dienen als het nieuwe rekenmodel voor de beleidsanalyse voor het hoofdwatersysteem.

Binnen het Deltamodel richt een hoofdonderdeel zich op de bepaling van de effecten van toekomstscenario's en maatregelen op de *waterveiligheid*. Onderhavig document beschrijft dit hoofdonderdeel, dat in de praktische uitwerking bestaat uit een keten van verschillende modellen en instrumenten.

Doel en positionering van dit rapport

Het doel van onderhavig rapport is het specificeren van de waterveiligheidsbeschouwing in Deltamodel versie 1.0 en het geven van achtergrondinformatie bij de gekozen uitwerking. Deze beschrijving beoogt de veiligheidsbeschouwing inzichtelijk te maken, hetgeen zal bijdragen aan het correct gebruik van het instrument. Het document vormt zo een bouwsteen van de kwaliteit van het instrument.

De term '(water)veiligheidsbeschouwing' wordt in dit document gebruikt voor de wijze waarop een beeld wordt verkregen van de waterveiligheid. In het Deltamodel wijkt de veiligheidsbeschouwing enigszins af van gangbare analyses zoals een 'toetsing', daarom wordt een dergelijke gangbare term vermeden.

De waterveiligheidsbeschouwing bevat zeer veel aspecten. Niet al deze aspecten worden in dit document tot in alle detail behandeld. In veel gevallen zal worden verwezen naar andere documenten en vormt onderhavig document dus meer het centrale punt van waaruit de lezer de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing kan leren kennen.

Enkele belangrijke aanverwante documenten met betrekking tot het Deltamodel in zijn algemeenheid zijn:

- Functionele specificaties, zie (Kroon en Ruijgh, 2012);
- Gebruikershandleiding, zie (Van Vuren et al, 2012);
- Testrapport (nog te verschijnen);
- Basis voor invoergegevens: Deltascenario's, zie (Bruggeman et al, 2011)¹.

Systeemdokumentatie is alleen beschikbaar voor afzonderlijke instrumenten binnen de modellenketen(s).

Doelgroep

De doelgroep van dit document bestaat uit:

1. Een update wordt najaar 2012 verwacht.

1. Het projectteam Deltamodel, bestaande uit medewerkers van Deltares en RWS Waterdienst.
2. De beoogde gebruikers van het Deltamodel: de Deelprogramma's van het Deltaprogramma.

De lezer wordt verondersteld bekend te zijn met de functionele specificaties van het Deltamodel (Kroon en Ruijgh, 2012).

Indeling rapport

In de structuur van onderhavig rapport is een combinatie en balans gezocht van een beschouwing van grof naar fijn, een aansluiting op de volgorde van de schakels in de modellenketen, en een beschouwing van theorie naar praktijk. Dit heeft geleid tot de structuur op hoofdlijnen, zoals weergegeven in Tabel 1.1:

Hfdstk	Onderwerp
1	inleiding op het document
2	de beoogde functionaliteiten van de veiligheidsbeschouwing op hoofdlijnen
3 - 4	de invulling van de waterveiligheidsbeschouwing op hoofdlijnen: globaal en generiek
5 - 8	de belangrijkste afzonderlijke stappen in de veiligheidsbeschouwing in (meer) detail
9	de benodigde samenhang in de invoergegevens
10	de belangrijkste kenmerken van een aantal (mogelijke) praktijktoepassingen
11	inbedding in de omgeving
12	discussie
13	samenvatting

Tabel 1.1 Rapportstructuur op hoofdlijnen.

Totstandkoming

Het rapport is voornamelijk tot stand gekomen op basis van (nader uitgewerkte) elementen uit de definitiestudie en diverse memo's die in de loop van het ontwikkeltraject van de waterveiligheidsbeschouwing zijn opgesteld ter ondersteuning van de besluitvorming. Daarnaast zijn achtergronden bij de WTI werkwijze gebruikt om de verhaallijn compleet te maken.

2 De gevraagde functionaliteiten binnen het Deltamodel

2.1 Inleiding

Voor de volledige beschrijving van de Functionele specificaties wordt verwezen naar (Kroon en Ruijgh, 2012). Hieronder volgt een zeer summier uittreksel van de functionele specificaties met betrekking tot waterveiligheidsbeschouwingen.

Het doel van het onderdeel waterveiligheid binnen het Deltamodel is het op consistente, reproduceerbare wijze berekenen en in beeld brengen van de (verandering van de) waterveiligheidsopgave die het gevolg is van:

- zeespiegelstijging, bodemdaling en mogelijke veranderingen in rivierafvoeren
- mogelijke actualisering van de waterveiligheidsnormen
- gebiedsgerichte strategieën om de veiligheidsopgave aan te pakken

Het geografische toepassingsgebied van het onderdeel waterveiligheid van het Deltamodel beslaat de dijkkringgebieden en buitendijkse gebieden die liggen aan het Buitenwater, exclusief de Kust, de Wadden en de Westerschelde.

De referentiesituatie is 2015 en de zichtjaren zijn 2050 en 2100. Voor de twee zichtjaren worden vier scenario's beschouwd. De maatregelen kunnen betrekking hebben op wijzigingen in het waterbeheer, het waterveiligheidsbeleid en de gebiedsinrichting.

De referentiesituatie, de scenario's voor de twee zichtjaren en de maatregelen vormen input voor het Deltamodel. Een combinatie van zichtjaar, scenario en maatregelenpakket wordt een Case genoemd. Ook de referentiesituatie (2015) vormt een Case. Per Case bepaalt de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing de veiligheidsopgave. In de basis gebeurt dit voor alle dijkvakken afzonderlijk, maar in ruimtelijke aggregatie van deze informatie wordt eveneens voorzien. Door de veiligheidsopgave behorend bij verschillende Cases te vergelijken ontstaat een beeld van de knelpunten en van de effectiviteit van maatregelenpakketten.

De veiligheidsopgave met betrekking tot de hoogwaterbescherming wordt uitgedrukt in

- een maatgevende waterstand
- een kans op overbelasting van een dijkvak

De veiligheidsopgave met betrekking tot buitendijks wonen wordt uitgedrukt in

- de kans op een bepaalde overstromingsdiepte
- het overstromingsrisico

De Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing is grotendeels afgestemd op veiligheidsnormen, die zijn geformuleerd in termen van een (zeer kleine) toegestane faalkans per jaar. De actuele kansen volgen uit de extreme waarden statistiek van stochasten zoals rivierafvoer, wind en zeewaterstand, die behoort bij een gegeven klimaat. Bij ieder scenario en zichtjaar hoort een 'gegeven' klimaat, met bijbehorende extreme waarden statistiek van de stochasten. Bij de vertaling van de extreme waarden statistiek van de stochasten naar een faalkans van de waterkeringen (en andere parameters met betrekking tot de waterveiligheid) speelt een probabilistisch model een centrale rol. Het probabilistische model binnen de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing is Hydra-Zoet.

2.2 Enkele eerste kanttekeningen

2.2.1 Specificatie toepassingsruimte

De beoogde toepassingsruimte van de waterveiligheidsbeschouwing is weinig specifiek ingevuld.

In een meer standaard geval van modelontwikkeling is doorgaans duidelijk welke onderdelen van het model vast (mogen) liggen en welke parameters gebruikersinvoer (moeten) vormen, anders gezegd: wat de 'knoppen' van het model zijn. In bijvoorbeeld een model voor operationele berichtgeving over waterstanden op een rivier liggen de gebiedsschematisatie en allerlei rekeninstellingen vast en vormt (het verloop in de tijd van) de afvoer op de bovenstroomse rand de gebruikersinvoer: de knop. Bij de ontwikkeling van dit model kan gericht gezorgd worden voor stabiliteit en betrouwbaarheid van het model voor het verwachte totale bereik aan waarden voor de invoerparameter.

In het geval van de ontwikkeling van het Deltamodel ligt dit anders: de gebruikersinvoer bestaat hier uit combinaties van zichtjaar, scenario en maatregelenpakket. De aard van de scenario's en - vooral - van de te beschouwen maatregelen is echter niet scherp afgebakend, juist omdat het om de verkenning van deels nog te bedenken oplossingsrichtingen gaat. Dit betekent dat de gebruikersknoppen niet (allemaal) goed zijn gedefinieerd. Het is daardoor niet mogelijk het model zo te ontwikkelen dat de benodigde knoppen beschikbaar zijn en dat vooraf kan worden aangetoond dat het stabiel en betrouwbaar is bij alle standen van de knoppen (los van de vraag welke inspanning dit zou vergen als alle knoppen wel goed gedefinieerd zouden zijn).

In onderhavig document wordt de waterveiligheidsbeschouwing binnen het Deltamodel beschreven als instrument. Daarbij wordt getracht inzichtelijk te maken welke knoppen goed toegankelijk zijn, welke knoppen moeilijker toegankelijk zijn (en in feite een aanpassing van het model vergen) en welke knoppen praktisch niet beschikbaar zijn (omdat ze raken aan fundamentele keuzes in het instrument).

Een concreet voorbeeld betreft de mogelijke maatregel 'aanpassing van de waterveiligheidsnormen'. Het instrument is nu zo opgebouwd dat het effect van de aanpassing van de *zwaarte* van de normen op de veiligheidsopgave met geringe inspanning bepaald kan worden. Het bieden van een knop 'aanpassing van het *type* normen' is echter binnen de scope van de Deltamodel ontwikkeling niet haalbaar: dat raakt aan de fundamentele keuzes in het instrument. (Dit voorbeeld is overigens zo evident, dat deze afbakening al in de functionele specificaties is opgenomen).

2.2.2 Geografische afbakening: uitsluiting waterkeringen van categorie c

Het interessegebied voor de effectmodellen waterveiligheid binnen het Deltamodel is beperkt tot het zogenaamde buitenwater. Bij sommige maatregelen kan deze geografische afbakening een onvolledig beeld van het effect op de waterveiligheid opleveren.

Een maatregel als het inzetten van het Volkerak Zoommeer en de Grevelingen als extra berging voor rivierwater in geval van hoogwater en storm, bijvoorbeeld, heeft een negatief effect op de veiligheid van de gebieden die grenzen aan deze twee wateren. De twee wateren zijn echter geen Buitenwater. Het genoemde negatieve effect van de maatregel komt

dan ook bij de gekozen geografische afbakening van de effectanalyse niet aan het licht. Mogelijk speelt iets dergelijks bij meer maatregelen. Een gebruiker moet hier zelf alert op zijn; het instrument zal dit niet signaleren.

2.2.3 Geografische afbakening: uitsluiting Oosterschelde

Net als de Kust, de Wadden en de Westerschelde is ook de Oosterschelde uitgesloten van de Deltamodel 1.0 waterveiligheidsbeschouwing. In Bijlage B wordt dit nader toegelicht.

2.2.4 Beperkte uitwerking voor buitendijkse gebieden

De waterveiligheidsbeschouwing met betrekking tot buitendijkse gebieden is beperkter van opzet dan beschreven in de functionele specificaties. Dit hangt samen met de volgende overwegingen.

De beschouwing van *overstromingsrisico's* voor de buitendijkse gebieden gaat methodisch gezien een stap verder dan de waterveiligheidsbeschouwing ten aanzien van binnendijs gebied (die immers gericht is op de kans op overbelasting van een dijkvak). Daarmee zou het Deltamodel twee verschillende veiligheidsbenaderingen gaan bevatten, hetgeen niet goed past bij de gewenste samenhang, consistentie en uniformiteit binnen het Deltamodel.

Een beschouwing van de overstromingsrisico's vergt bovendien nadere informatie over de verwachte schade van een overstroming. Deze schade hangt (ondermeer) af van de gebiedsinrichting, de overstromingsdiepte, de stroomsnelheden en de overstromingsduur. Laatstgenoemde parameters zijn sterk gerelateerd aan de lokale omstandigheden en vergen een aanzienlijke modelleerinspanning in *aanvulling* op de modellering van de veiligheidsbeschouwing voor binnendijs gebied.

Bij het ontwerp van het Deltaportaal is besloten de veiligheidsopgave voor buitendijs gebied vooralsnog buiten de scope te plaatsen.

Op basis van voorgaande overwegingen is besloten in de Deltamodel 1.0 waterveiligheidsbeschouwing alleen de bepaling van een overbelastingkans voor buitendijs gebied te faciliteren, passend binnen de generieke opzet van de waterveiligheidsbeschouwing. De benodigde aanvullende modellering moet vooralsnog buiten het Deltamodel, bij voorkeur in het Delta Instrumentarium², gestalte krijgen.

2.2.5 Rekentijd

In (Kroon en Ruijgh, 2012) wordt tevens een richtlijn gegeven wat betreft de acceptabele rekentijd: deze mag per watersysteem niet meer dan 3 dagen zijn.

Het is bekend dat de rekentijd van berekeningen voor een watersysteem in het kader van de WTI bepaling vaker in de orde van weken ligt dan in de orde van uren of dagen. Omdat de

2. Het Delta Instrumentarium vormt de bredere context van het Deltamodel: het omvat niet alleen het Deltamodel, maar ook de Effectmodules voor belangrijke gebruiksfuncties, de Deltascenario's, de Vergelijkingssystematiek en het Deltaportaal, zie (Kroon en Ruijgh, 2012).

WTI aanpak aan de basis ligt voor de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing, is de functionele eis ten aanzien van de rekentijd een punt van aandacht en zorg.

In absolute zin hangt de rekentijd sterk af van de hardware waarop de Deltamodel berekeningen (zullen) worden uitgevoerd. De kenmerken van die hardware zijn op het moment van schrijven van dit document nog niet bekend.

Daarom wordt in onderhavig document wel aandacht besteed aan de rekentijd, maar alleen in kwalitatieve zin. Aangegeven wordt welke onderdelen sterk bijdragen aan de totale rekentijd en tevens op welke aspecten in de Deltamodel aanpak een versnelling is bewerkstelligd in vergelijking met de WTI aanpak.

2.2.6 Versie 1.0

Zoals uit bovenstaande kanttekeningen al blijkt, zal versie 1.0 van het Deltamodel mogelijk niet in alle behoeftes kunnen voorzien. Daarom (en ook om andere redenen) is versie 1.0 wellicht niet de laatste versie van het Deltamodel. De 'discussie' in hoofdstuk 12 biedt handvatten voor mogelijke vervolgactiviteiten ten aanzien van de waterveiligheidsbeschouwingen.

3 Globale invulling analysemethode

3.1 Uitgangspunt: Hydra-aanpak

In definitiestudie (De Waal, 2011) zijn verschillende recente veiligheidsbeschouwingen naast elkaar gezet:

- Vigerend instrumentarium voor de wettelijke toetsing van primaire waterkeringen (WTI)
- Verkennende faalkansbepaling dijkringen (VNK)
- Beoogd nieuw instrumentarium voor wettelijke toetsing en ontwerp (TOI / WTl2017)
- Actualisatie en optimalisatie veiligheidsnormen (WV21)
- Regionale verkenningen voor de Rijn- en Maasmonding en het IJsselmeer

In de definitiestudie is vervolgens gekozen om voort te bouwen op (elementen uit) de WTI-aanpak, waarin Hydra centraal staat. In de functionele specificaties (Kroon en Ruijgh, 2012) is dit nader gespecificeerd tot Hydra-Zoet.

Positionering Hydra-Zoet

Hydra-Zoet kent zeer veel mogelijkheden wat betreft de te berekenen uitvoerparameters. Enerzijds biedt deze grote vrijheid in gebruikersinstellingen veel mogelijkheden om rekenresultaten nader te analyseren en te begrijpen. Anderzijds is deze vrijheid slecht te rijmen met de gewenste consistentie, uniformiteit en reproduceerbaarheid van de analyses in het kader van het Deltamodel. Dit dilemma heeft geleid tot een twee sporen beleid:

Toepassing in de Rekenfaciliteit van het Deltamodel vormt het eerste spoor. In de Rekenfaciliteit van het Deltamodel wordt alleen het rekenhart van Hydra-Zoet gebruikt. Er is bij de inpassing in de Rekenfaciliteit helder onderscheid gemaakt tussen variabele invoergegevens (zoals database fysica, statistiek) en rekeninstellingen die eenmalig binnen de Rekenfaciliteit worden vastgelegd. Hierdoor kan de uniformiteit van de Hydra berekeningen goed geborgd worden. De Rekenfaciliteit bevat de optie om de variabele invoer te exporteren ten behoeve van het tweede spoor.

Decentrale toepassing (dat wil zeggen buiten de Rekenfaciliteit) vormt het tweede spoor. In deze toepassing wordt Hydra-Zoet stand alone gebruikt, dat wil zeggen de combinatie van user interface en rekenhart. Alle gebruikersopties voor de nadere analyse van de vanuit de Rekenfaciliteit geëxporteerde gegevens zijn in dit spoor beschikbaar.

In onderhavig document worden alleen die aspecten van Hydra-Zoet behandeld die voor het gebruik in Deltamodel kader (spoor 1) van belang zijn. Ook dat beslaat nog veel aspecten. Hydra-Zoet kent namelijk diverse uitgangspunten die in feite de fundamenteen leggen voor de veiligheidsbeschouwing. Inzicht in deze uitgangspunten is van belang voor het begrip van de veiligheidsbeschouwing en van de implicaties voor de mogelijkheden voor toepassing, aanpassing of uitbreiding van de veiligheidsbeschouwing. Enkele van dergelijke algemene uitgangspunten worden behandeld in paragraaf 3.3. Daaraan voorafgaand wordt eerst de beoogde waterveiligheidsbeschouwing op hoofdlijnen beschreven.

WTI en WV21 als basis

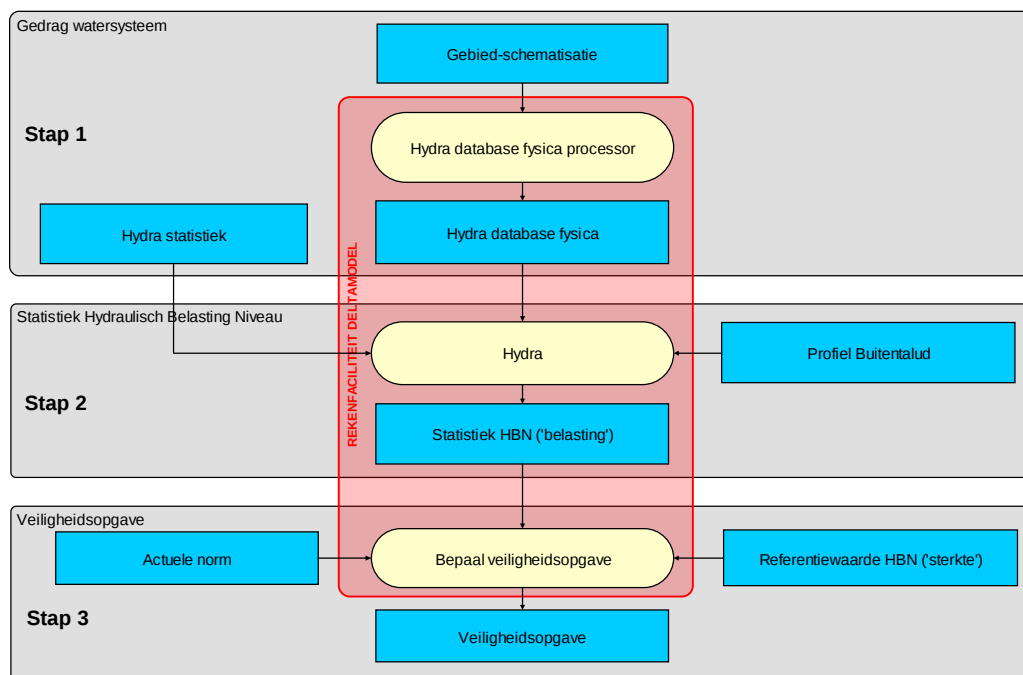
Hydra maakt deel uit van het Wettelijk Toets Instrumentarium (WTI) en is ook ontwikkeld in het kader van het gelijknamige werkprogramma. Vanuit dit programma is een grote

hoeveelheid achtergronddocumentatie beschikbaar gekomen. Deze documentatie zal in onderhavig rapport niet tot in detail aangehaald worden. Goede *ingangen* voor nadere studie zijn (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007) voor meer algemene achtergronden bij de Hydraulische Randvoorwaarden, (Geerse, 2010) voor technische details van de probabilistische modellering voor de zoete wateren, en (Chbab, 2012a,b) en (Chbab en Kieftenburg, 2012) voor meer gebiedsgerichte achtergronden.

Ook in het programma Waterveiligheid 21^e eeuw, kortweg WV21, zijn componenten ontwikkeld die waardevol zijn gebleken voor de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing. Een goede *ingang* voor achtergronden van dergelijke componenten vormt (Van Velzen, 2011).

3.2 Beoogde veiligheidsbeschouwing op hoofdlijnen

Figuur 3.1 geeft een schematische weergave van de belangrijkste stappen in de waterveiligheidsbeschouwing.



Figuur 3.1 Globaal stroomschema Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing. Hierin staat 'HBN' voor Hydraulisch Belasting Niveau.

Wat betreft de *vorm* van de figuur kan worden opgemerkt dat het schema is opgebouwd uit de volgende elementen:

- blauwe blokken met rechte randen bevatten informatie, data
- gele blokken met afgeronde randen bevatten bewerkingen (die al of niet geautomatiseerd zijn in de vorm van software)
- pijlen geven de richting van de gegevensstroom weer: van of naar een bewerking
- het rode blok bevat de functionaliteiten van de Rekenfaciliteit Deltamodel.
- de drie grijze blokken geven de drie belangrijkste stappen (fasen) in het totale proces weer.

Zowel data als bewerkingen kunnen geclusterd worden tot blokken, waarvoor weer dezelfde vorm- en kleurgeving gehanteerd wordt. Deze algemene vorm van clustering komt in Figuur 3.1 niet voor, maar een speciaal geval wel. Dit speciale geval is de clustering van de functionaliteiten van de Rekenfaciliteit Deltamodel. Omdat dit - op hoog abstractieniveau gezien - een clustering van *bewerkingen* is, heeft dit blok afgeronde hoeken, maar om deze clustering goed te laten opvallen heeft het geen gele, maar een rode kleur gekregen.

In dit rapport zullen meer stroomschema's worden gepresenteerd. In deze schema's worden bovenstaande conventies zo consequent mogelijk gevolgd.

Bij de *inhoud* van het schema kan het volgende opgemerkt worden.

- Zoals op basis van paragraaf 3.1 mocht worden verwacht, neemt Hydra een centrale plek in de beschouwing in en wel binnen de Rekenfaciliteit. Tegelijkertijd is duidelijk dat Hydra slechts een schakel in een keten vormt.
- Voor een complete analyse is veel gebruikersinvoer nodig: er gaan veel pijlen van gegevensblokken naar de Rekenfaciliteit toe. In dit vereenvoudigde schema worden alleen deze invoerdata weergegeven en niet hoe de data tot stand zijn gekomen. In de praktijk zijn er overigens wel degelijk ook tools (bewerkingen) en achterliggende basisgegevens beschikbaar die het aanmaken van een deel van deze invoergegevens ondersteunen. Deze tools en gegevens maken geen deel uit van de Rekenfaciliteit en hebben geen formele status binnen het Deltamodel. Vanwege hun belang voor een goede analyse zijn sommige van deze middelen overigens wel in het kader van het project Deltamodel (verder) ontwikkeld. Enkele van deze tools en gegevens zullen later in dit document beschreven worden.
- Normen vormen *invoer* voor de waterveiligheidsbeschouwing. Het is niet zo dat de analyse 'economisch optimale normen' levert, zoals in de veiligheidsbeschouwing van WV21 het geval was.
- Ook dijkprofielen vormen *invoer* voor de veiligheidsbeschouwing: de analyse levert geen ontwerp van een benodigd dijkprofiel.
- De waarde van de veiligheidsnormen en specifieke sterkte-informatie spelen beide pas een rol in stap 3 van de beschouwing. Een groot deel van de analyse is dus niet (of nauwelijks) afhankelijk van deze gebruikersinvoer. De resultaten uit stap 1 en 2 zijn dan ook herbruikbaar bij de analyse van varianten in de normen en de sterkte-informatie.
- De term 'actueel' (zoals gebruikt in 'actuele norm') heeft betrekking op de situatie in het beoogde zichtjaar in de toekomst (2050 danwel 2100). Dit ter onderscheid van de term 'vigerend', die in dit document gehanteerd wordt voor de referentiesituatie (2015), die immers nauw aansluit bij de huidige situatie.
- Onder 'Profiel buitentalud' in stap 2 wordt in dit schema alles verstaan wat zich bevindt tussen de uitvoerlocatie van de Hydra database fysica (in het water) en de kruinlijn (op de dijk). Dat is in ieder geval het buitenprofiel van de waterkering zelf, maar optioneel ook een dam en/of een ondiep voorland. Hierbij zij opgemerkt dat het *kruinniveau* (specifieke sterkte-informatie!) in dit deel van de berekening niet gebruikt wordt: het hoogste taluddeel wordt verondersteld bij gelijkblijvende helling oneindig hoog door te lopen.
- In de gegevensstroom komen geen lussen voor; er is geen sprake van terugkoppeling en/of iteratie.

Het is misschien goed om al in dit vroege stadium van de beschrijving van de waterveiligheidsbeschouwing op te merken dat er niet met één druk op de knop een volledige analyse voor heel Nederland kan worden uitgevoerd. De veiligheidsbeschouwing heeft

namelijk weliswaar generieke kenmerken, maar in de praktijk is deze uitgewerkt voor afzonderlijke regio's in Nederland: de *watersystemen*. Dit onderscheid in de uitwerking van de methode heeft tot gevolg dat ook de *toepassing* van de methode slechts op de afzonderlijke watersystemen kan plaatsvinden.

3.3 Uitgangspunten binnen Hydra-Zoet

3.3.1 Focus op hoogte-aspect van hydraulische belasting

De huidige Hydra modellering is afgestemd op het bepalen van de statistiek van de belastingparameters waterstand en golfoverslagniveau. Deze belastingparameters geven de belangrijkste informatie voor het bepalen of een dijk hoog en breed (sterk) genoeg is. Beide belastingparameters worden uitgedrukt als een niveau in meters ten opzichte van NAP.

Bij de statistiek gaat het specifiek om de waarden van de belastingparameters bij zeer kleine overschrijdingskansen per jaar. De focus op *overschrijdingskansen* impliceert dat in feite alleen *topwaarden* van de belastingparameters voor de veiligheidsbeschouwing van belang zijn, zowel wanneer een vaste periode van een jaar wordt beschouwd als wanneer specifieke gebeurtenissen ('events') worden beschouwd.

3.3.2 Het water wordt gekeerd

Bij de beschouwing van het fysisch gedrag van het watersysteem en de statistiek van het hydraulisch belastingniveau wordt er van uitgegaan dat al het water binnen het watersysteem blijft. Dit betekent dat bij deze beschouwing impliciet wordt aangenomen dat de waterkeringen oneindig hoog en sterk zijn. De feitelijk aanwezige sterkte van de waterkeringen wordt pas bij de bepaling van de veiligheidsopgave in de beschouwing betrokken.

De logica achter dit uitgangspunt is als volgt: correct functionerende waterkeringen (categorie a) geven de hoogste belastingen op de waterkeringen en daarmee dus tevens de maatgevende belastingen voor de bepaling van de veiligheidsopgave voor deze keringen. Een dijkdoorbraak, overloop of een fors golfoverslagdebiet betekent immers dat water uit het watersysteem verdwijnt (namelijk naar het binnendijks gebied). Minder water in het systeem betekent een kleinere belasting - en dus een gunstiger en minder maatgevend veiligheidsbeeld - langs de niet-doorgebroken randen van het watersysteem³.

Het uitgangspunt 'het water wordt gekeerd' vereenvoudigt de analyse zeer aanzienlijk: er is geen modellering nodig van (de duur van) overloop en/of golfoverslag en evenmin van (scenario's voor) een faalmechanisme, breslocatie, bresgroei en overstroming⁴. Dat laatste betekent dat voor deze waterveiligheidsbeschouwing géén informatie nodig is over de inrichting van de dijkkringgebieden.

-
3. Merk op dat deze redenering plausibel is omdat de focus is gelegd op hoogte-aspecten van de belasting, zie paragraaf 3.3.1. Als de focus bijvoorbeeld op een snelle waterstandsval zou liggen, dan is deze redenering veel minder plausibel.
 4. De beschrijving van het fysisch gedrag van het watersysteem heeft dan ook géén informatie nodig over de inrichting van de dijkkringgebieden.

Het voorgaande betreft de omgang met waterkeringen van categorie a. Bij keringen van categorie b (dijkringverbindende keringen) is de aanpak iets meer gedifferentieerd. Dit hangt samen met het feit dat het overstromen of falen van een dergelijke kering een ander type gevolgen heeft dan van een kering van categorie a: bij een kering van categorie b kan dit leiden tot een *toename* van de belasting op achterliggende keringen van categorie a en dus bijdragen aan de maatgevende omstandigheden van die achterliggende categorie a keringen⁵. Bij elke kering van categorie b wordt in de huidige waterveiligheidsbeschouwing één van de volgende drie aanpakken gevolgd:

- 1 De kering wordt oneindig hoog en sterk verondersteld en vormt daarmee - net als keringen van categorie a - een buitenrand van het watersysteem. Voorbeelden hiervan zijn de Afsluitdijk (b1) en de Houtribdijk (b4).
- 2 De kering wordt oneindig sterk verondersteld, maar omdat de overstroombaarheid een relevante karakteristiek wordt geacht, wordt de correcte hoogte van de kering in de waterstandsmodellering in rekening gebracht. Een voorbeeld hiervan is de dijk Ramspol-IJsselmuiden (het vaste deel van b25).
- 3 De kering wordt zowel eindig hoog als eindig sterk (i.c. feilbaar) verondersteld. Deze aanpak wordt alleen toegepast bij enkele stormvloedkeringen, dat wil zeggen een beweegbaar deel van een dijkringverbindende kering. Momenteel wordt deze aanpak alleen toegepast voor de Balgstuw Ramspol (beweegbaar deel van b25) en de Europoort kering, dat is de combinatie van Maeslantkering (beweegbaar deel van b8) en Hartelkering (beweegbaar deel van b9).

3.3.3 Focus op winterhalfjaar

Standaard aanpak

Door de oogharen bekeken kent Nederland twee primaire natuurlijke bronnen van bedreiging van de veiligheid tegen overstromen: hoge rivierafvoeren en stormen. De huidige veiligheidsbeschouwing (dat wil zeggen de gangbare toepassing van het probabilistische model Hydra-Zoet) houdt rekening met het feit dat bij beide stochasten de kans op extremen het grootst is in het winterhalfjaar. Het winterhalfjaar is daarmee maatgevend voor de kans op overbelasten van een waterkering. In het verlengde hiervan wordt in de huidige veiligheidsbeschouwing de bijdrage van het zomerhalfjaar aan de totale kans op overbelasten verwaarloosd. Deze gangbare toepassing van Hydra-Zoet vormt ook het uitgangspunt voor de toepassing van Hydra-Zoet binnen de veiligheidsbeschouwing van het Deltamodel.

Knoppen voor meer seizoenen wel beschikbaar

Hydra-Zoet biedt overigens wel degelijk de mogelijkheid om ook het zomerhalfjaar in de beschouwing te betrekken of het jaar anderszins in seizoenen in te delen: de 'knoppen' zijn hiervoor in Hydra-Zoet beschikbaar. De daarvoor benodigde invoergegevens (zoals de Hydra windstatistiek voor de zomer) zijn echter niet standaard beschikbaar en het gebruik van deze knoppen kan - ook om andere redenen - vooralsnog beter aan experts worden overgelaten.

Correlatie tussen rivierafvoer en storm?

Er zijn aanwijzingen dat zowel de kans op een hoge rivier afvoer als de kans op een storm niet alleen het grootst is in het winterhalfjaar, maar daarbinnen ook nog eens voor allebei het

5. Bij de vóórliggende keringen van categorie a wordt (enige) reductie van de belasting verwacht, maar deze reductie wordt niet in rekening gebracht, conform de logica achter het uitgangspunt 'het water wordt gekeerd'.

grootst is in de periode januari-februari. In (Geerse en Zethof, 2011) is daarom verkend in hoeverre deze voorkeur van beide fenomenen inderdaad samenvalt op een nog kleinere tijdschaal dan het winterhalfjaar (namelijk een wintermaand), en wat de invloed daarvan zou zijn op de met Hydra berekende waterstanden en benodigde kruinhoogten in het Benedenrivierengebied. De conclusie uit deze studie is dat de verschillen in rekenresultaten klein zijn en dat - bij dat gegeven - de standaard aanpak de voorkeur verdient vanwege de kleinere kans op fouten en de kleinere rekentijd.

Rijkswaterstaat wil, mede op basis van (Geerse en Zethof, 2011), overigens aan het KNMI nog een vervolganalyse vragen, waarin de volgende punten aan bod zouden moeten komen:

- een statistische controle op de onafhankelijkheid tussen wind en afvoer;
- een analyse of fysisch het samenvallen van extreme afvoer en extreme opzet waarschijnlijk is, op basis van circulatiepatronen in het weer;
- of klimaatverandering invloed heeft op de huidige conclusies.

Het is niet geheel uitgesloten dat deze KNMI analyse alsnog leidt tot een correctie op de huidige waterveiligheidsbeschouwingen. Vooralsnog biedt (Geerse en Zethof, 2011) echter voldoende basis om te mogen aannemen dat de huidige standaard Hydra aanpak toereikend is voor de beoogde beleidsanalyse.

Verwaarlozing bijdrage zomerhalfjaar terecht?

In (Geerse en Zethof, 2011) is óók gekeken naar de vraag wat de invloed van het meenemen van het zomerhalfjaar zou zijn op de met Hydra berekende waterstanden en benodigde kruinhoogten in het Benedenrivierengebied. De conclusie is dat deze invloed - voor dit gebied - inderdaad verwaarloosbaar is.

Echter, voor het Deelprogramma IJsselmeergebied kan het in de beschouwing betrekken van het zomerhalfjaar toch wel relevant zijn. Door de grote rol van het lokale waterbeheer is het IJsselmeerpeil in feite een niet-zo-natuurlijke bron van hoge waterstanden in dit watersysteem; het is geen directe afgeleide meer van de primaire natuurlijke bronnen afvoer en wind. Daardoor is voor dit systeem de aanname dat het zomerhalfjaar verwaarloosd mag worden niet vanzelfsprekend terecht.

Als namelijk het IJsselmeer-streefpeil in de zomer zeer veel hoger wordt gekozen dan in het winterhalfjaar, dan kan dit hoge meerpeil in de zomer het effect van de kleinere kans op stormen voldoende compenseren om het zomerhalfjaar een significante bijdrage te laten leveren aan de jaarlijkse kans op overbelasting. Verkennende Hydra berekeningen ten aanzien van dit onderwerp zijn gerapporteerd in (Kramer en Van Meurs, 2010).

3.4 Nuancering in onderdeel 'gedrag watersysteem'

In de vorige paragraaf is al naar voren gekomen dat het watersysteem IJsselmeer in het algemeen - en de IJsselmeerpeilstatistiek in het bijzonder - speciale aandacht in de veiligheidsbeschouwing vraagt. Het peilbeheer speelt een belangrijke rol in zowel de zoetwatervoorziening als de waterveiligheid en vormt een belangrijk onderdeel van de Delta-beslissingen.

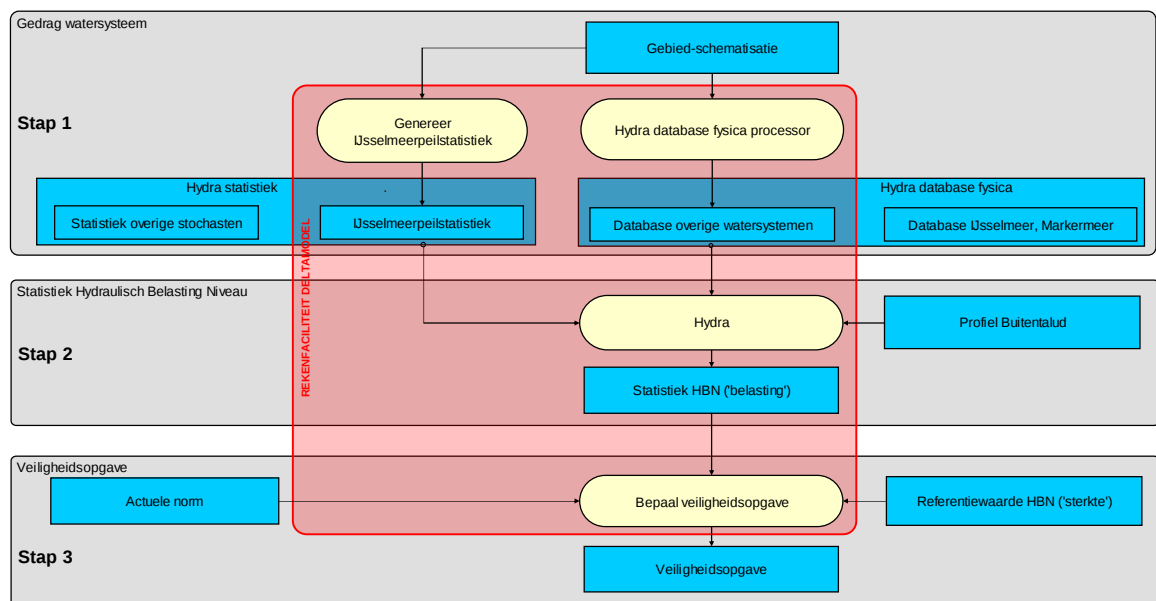
Zoals al in paragraaf 3.3.3 gezegd, kan de veiligheidsbeschouwing voor het IJsselmeergebied in geval van seizoensafhankelijk peilbeheer vooralsnog het beste aan

specialisten worden overgelaten. Echter, ook specialisten zullen bij hun analyse behoefte hebben aan een systematische en reproduceerbare procedure om aan de benodigde invoer te komen. Vanwege het belang van deze analyse voor de Deltabeslissing is besloten dat de Rekenfaciliteit Deltamodel in een belangrijk deel van deze procedure zal voorzien: de bepaling van de extreme waarden statistiek van het IJsselmeerpeil.

Anderzijds lijken voor het IJsselmeer geen maatregelen in beeld die het fysisch gedrag van het watersysteem zullen beïnvloeden. Daarom is besloten in alle zichtjaren en scenario's gebruik te maken van het fysisch gedrag (Hydra database fysica) in de referentiesituatie. Het genereren van een aangepaste Hydra database fysica wordt voor dit watersysteem niet ondersteund in de Rekenfaciliteit.

Deze laatste redenering wordt ook van toepassing geacht voor het watersysteem Markermeer. Daarom wordt ook voor dat watersysteem het genereren van een aangepaste Hydra database fysica niet ondersteund in de Rekenfaciliteit.

Bovenstaande nuanceringsen voor het IJsselmeer en Markermeer leiden tot een aangepaste versie van het schema uit Figuur 3.1, zie Figuur 3.2.



Figuur 3.2 Globaal stroomschema Deltamodel Waterveiligheidsbeschouwing - aangepast.

Dit aangepaste schema is iets zorgvuldiger wat betreft de weergave van de hoofdfunctionaliteiten binnen Rekenfaciliteit: het bepalen van de IJsselmeerpeilstatistiek is een belangrijk, vermeldenswaard onderdeel. Anderzijds wordt het (beoogd generieke) schema hierdoor wel minder overzichtelijk. Daarom zal in verdere generieke *schema's* deze nuancering niet meer gebruikt worden. Ten aanzien van de *implementatie* is van belang te onthouden dat de bepaling van de IJsselmeerpeilstatistiek wel degelijk deel uitmaakt van de Rekenfaciliteit Deltamodel.

3.5 Uitdagingen op het pad van uitgangspunt naar doel

In de definitiestudie (De Waal, 2011) is al uiteengezet dat de basisversie van Hydra-Zoet is ontworpen voor toepassing in WTI kader. In WTI kader worden slechts één maal per 5 à 6 jaar door één groep specialisten voor één situatie (gebiedsinrichting, klimaat) de toetspeilen bepaald en wordt Hydra verder slechts aan dijkbeheerders ter beschikking gesteld om toe te passen op hun waterkeringgegevens. In Deltamodel kader moeten binnen ca 2 jaar door verschillende regionale Deelprogramma's voor een onbekende verscheidenheid aan situaties (gebiedsinrichtingen, klimaten) meerdere veiligheidsparameters uitgerekend worden, mede op basis van representatieve waterkeringgegevens.

Meer in het algemeen zijn voor het onderdeel waterveiligheid binnen het project Deltamodel de belangrijkste uitdagingen op het pad van uitgangspunt naar doel:

- De ontsluiting van voorbereiding- en productie-omgeving: het genereren van een Hydra database fysica en Hydra statistiek;
- Het flexibiliseren van de toepassing: de procedure geschikt maken voor *keuzes* wat betreft klimaat (Hydra statistiek) en gebiedsinrichting (Hydra database fysica);
- Het uitbreiden van de beschouwde veiligheidsparameters, onder andere met de beschouwing van de geotechnische faalmechanismen piping en macro-instabiliteit binnenwaarts;
- Het inbrengen van waterkeringinformatie;
- Het verkleinen van de rekentijd;
- Het borgen van de reproduceerbaarheid van Deltamodel toepassingen;
- Het versterken van de landelijke samenhang en consistentie, niet alleen in de veiligheidsbeschouwing voor de diverse watersystemen maar ook in de relatie met beschouwing van de zoetwatervoorziening;
- Het verkrijgen van draagvlak door wat betreft rekenresultaten voor de referentiesituatie dicht in de buurt te blijven van ingeburgerde resultaten uit andere studies en uit eerdere (tussentijdse) versies van het Deltamodel.

4 Uitwerking generieke methode veiligheidsanalyse

4.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk is het generieke *globale* schema voor de waterveiligheidsbeschouwing gepresenteerd. In onderhavig hoofdstuk gaan we een stap verder in detail. De nadere beschouwing is hierbij nog wel steeds gericht op aspecten die van belang zijn voor de grote lijn. In de hierna volgende hoofdstukken worden grote brokstukken uit het schema afzonderlijk nader onder de loep genomen.

In paragraaf 4.2 wordt het generieke *gedetailleerde* schema voor de waterveiligheidsbeschouwing geïntroduceerd. Dit schema vormt de basis voor de beschrijving van de veiligheidsbeschouwing in de hierna volgende hoofdstukken: hoofdstuk 5 tot en met 8.

Zoals aan het eind van paragraaf 3.2 al is opgemerkt, is het onderscheid in *watersystemen* een belangrijk kenmerk van de waterveiligheidsbeschouwing. Een ander belangrijk onderwerp is de identificatie van *uitvoerlocaties*, *belastingparameters* en *veiligheidsopgaveparameters*. Dergelijke onderwerpen maken deel uit van de meer generieke modelkeuzes, die in paragraaf 4.3 worden behandeld.

4.2 Generiek stroomschema waterveiligheidsbeschouwing

Bijlage A geeft een generiek stroomschema van informatie en bewerkingen in de veiligheidsbeoordeling. In aansluiting op het globale schema van Figuur 3.1 kan het generieke schema van Bijlage A worden ingedeeld in basisinformatie en 3 bewerkingsstappen:

0. basis-informatie
1. gedrag watersysteem
2. statistiek Hydraulisch Belasting Niveau
3. veiligheidsopgave

Deze hoofdonderdelen worden in Hoofdstuk 5 tot en met Hoofdstuk 8 nader beschreven. Uit praktische overwegingen wordt de beschrijving van 'gedrag watersysteem' verdeeld over twee hoofdstukken: een voor de statistiek en een voor de fysica.

Hieronder volgen eerst nog enkele algemene opmerkingen bij het schema:

Zoals gezegd zijn de hoofd-elementen uit Figuur 3.1 nog steeds herkenbaar in Bijlage A. De diverse onderdelen zijn nu echter intern verder opgesplitst, waardoor het schema beduidend minder overzichtelijk is.

Het schema bevat nu ook enkele donkerblauwe blokken. Dit betreft cruciale tussenresultaten, die herbruikbaar zijn binnen de Rekenfaciliteit en exporteerbaar zijn ten behoeve van toepassing en analyse buiten de Rekenfaciliteit.

Vooraf buiten de Rekenfaciliteit is de gegevensstroom relatief complex, door de vereiste samenhang in de invoergegevens. Toch is juist buiten de Rekenfaciliteit nog een groot deel

van de gegevensstroom uit het schema weggelaten, vanwege de focus op de primaire functionaliteit van de veiligheidsbeschouwing in het Deltamodel. Op de 'rand'-aspecten wordt overigens later in dit document nog wel ingegaan, namelijk in hoofdstuk 9.

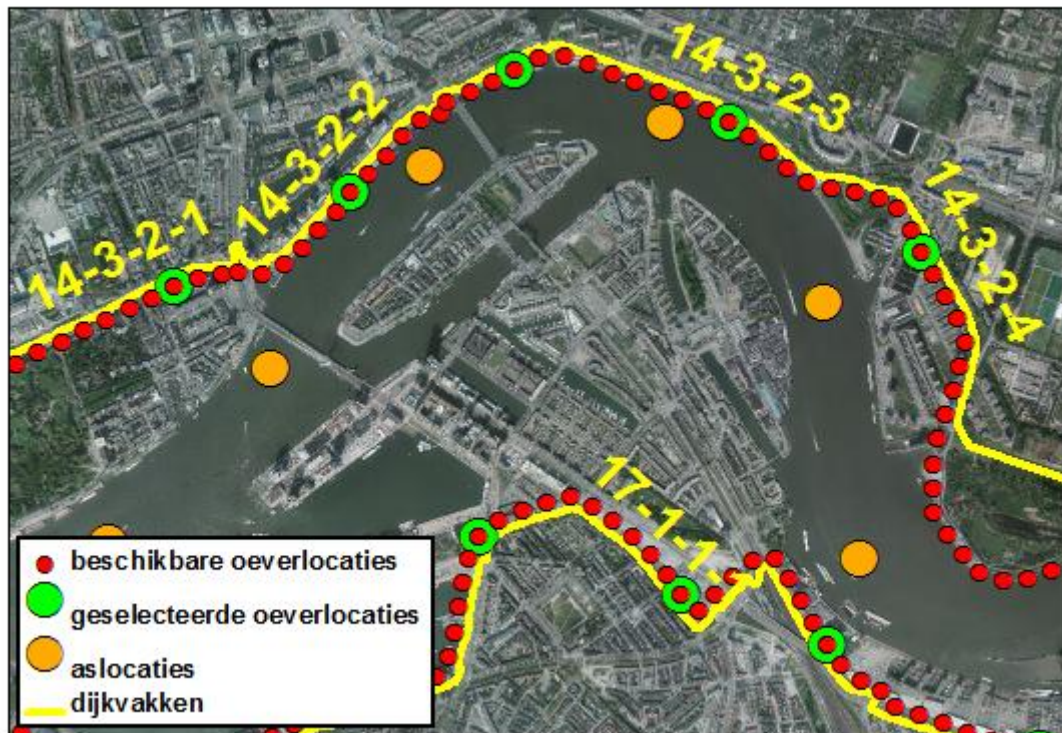
4.3 Generieke modelkeuzes

4.3.1 Uitvoerlocaties

Uitvoerlocaties zijn locaties in het watersysteem waar - in stap 1 - waterstanden en golfcondities worden bepaald bij een scala aan synthetische, maar wel realistische, gebeurtenissen ('events'). De omvang van de Hydra database fysica is evenredig met het aantal events en met het aantal uitvoerlocaties. Per event is een berekening nodig, die in één keer resultaten levert voor alle uitvoerlocaties. De rekeninspanning in deze fase 1 wordt dan ook niet of nauwelijks bepaald door het aantal te beschouwen uitvoerlocaties, maar veel meer door het aantal te beschouwen events (en daarnaast natuurlijk door zaken als de duur van elk event, de omvang van het watersysteem en de aard van het rekenmodel).

Uitvoerlocaties worden doorgaans in de nabijheid van de waterkeringen gekozen ('oeverlocaties'), maar in het geval van rivieren bovendien nog in de as van de rivier ('aslocaties'). De informatie over terugkeerniveaus van waterstanden in de aslocaties vormt een belangrijk referentiepunt voor het beschouwen van (veranderingen in) het fysische gedrag van het riviersysteem. Deze informatie is in de vorm van 'toetspeilen' opgenomen in het HR boek. Veel verkennende analyses (screenings) beperken zich tot een analyse van veranderingen in deze informatie. Op aslocaties is geen informatie over golfcondities nodig.

De onderlinge afstand tussen zowel aslocaties als oeverlocaties is vooralsnog op 1 km gekozen. Figuur 4.1 geeft een voorbeeld van de ligging van uitvoerlocaties.



Figuur 4.1 Voorbeeld van de ligging van uitvoerlocaties: aslocaties en (geselecteerde) oeverlocaties.

4.3.2 Belastingparameters

Belastingparameters zijn definities van het Hydraulisch Belasting Niveau (HBN). Gangbare keuzes zijn:

- HBN = waterstand
- HBN = golfoverslagniveau bij een specifiek kritiek overslagdebiet

Elke combinatie van uitvoerlocatie en belastingparameter vergt in stap 2 een Hydra berekening. Binnen de Rekenfaciliteit worden al die berekeningen uiteraard 'in batch' uitgevoerd, maar het aantal combinaties is wel bepalend voor de totale rekestijd in stap 2 (naast uiteraard de rekestijd per Hydra berekening, die afhangt van de aard van het watersysteem).

4.3.3 Veiligheidsopgaveparameters

De veiligheidsopgaveparameters bestaan elk uit een vergelijking tussen een belastingparameter en een 'sterkte'-parameter. Daarbij is de 'sterkte'-parameter uitgedrukt in een referentiewaarde voor de belasting. Binnen het Deltamodel worden vergelijkingen gemaakt (c.q. veiligheidsopgaveparameters beschouwd) zoals weergegeven in Tabel 4.1.

HBN	'Sterkte', c.q. referentieniveau van de belastingparameter
waterstand	vigerend Toetspeil
waterstand	actuele kritieke waterstand voor piping
waterstand	actuele kritieke waterstand voor macro instabiliteit binnenwaarts
golfoverslagniveau, 1 l/s/m	actuele kruinhoogte
waterstand	actuele kritieke waterstand buitendijks gebied

Tabel 4.1 Veiligheidsopgaveparameters als vergelijking tussen HBN en sterkte.

De analyse in stap 3 vindt plaats per veiligheidsopgaveparameter en per uitvoerlocatie. Vervolgens biedt stap 3 de mogelijkheid de afzonderlijke veiligheidsopgaveparameters ruimtelijk te aggregeren.

4.3.4 Te beschermen binnendijks gebied

Elk binnendijks gebied wordt beschermd door een dijkkring (de waterkering).

Als een dijkkring door meer dan een watersysteem bedreigd wordt, is het zinvol de dijkkring op te delen in dijkringdelen, die elk door één en hetzelfde watersysteem worden bedreigd. Daarbinnen kunnen delen worden geïdentificeerd waarvan een doorbraak tot een gelijke gevolgen leidt, hetgeen een belangrijke overweging kan zijn bij een nieuwe normering in de toekomst⁶. Dergelijke delen worden dijktrajecten genoemd. Dijktrajecten worden verder opgedeeld in dijkvakken, op basis van homogene sterktekenmerken. Een laatste opdeling vindt plaats op basis van de oriëntatie van de dijk: dit leidt tot dijkvakdelen.

De waterveiligheidsbeschouwing vindt plaats op dijkvakdeel niveau. In de huidige uitwerking worden de resultaten ten behoeve van de weergave in het Deltaportaal naar dijkvak niveau geaggregeerd. Dit gebeurt door - per veiligheidsopgaveparameter - de grootste veiligheidsopgave van de verschillende dijkvakdelen binnen een dijkvak toe te kennen aan het hele dijkvak. Rekentechnisch gezien is deze wijze van aggregeren eenvoudig, maar er gaat wel informatie over de veiligheid verloren.

4.4 Stochastcombinaties: de watersystemen

4.4.1 Generieke opzet Hydra-Zoet

De opsplitsing van de procedure in drie stappen kán de indruk wekken van grote onafhankelijkheid. Het is echter goed om te beseffen dat het - per watersysteem - in feite om één model blijft gaan: de losse schakels zijn zeer sterk op elkaar afgestemd en hebben in feite alleen in deze specifieke samenhang een zinvolle betekenis en toepasbaarheid. Daarom wordt ook wel gesproken van de 'Hydra-filosofie'.

In de waterveiligheidsterminologie is een watersysteem een gebied waar de waterveiligheid bedreigd wordt door een specifieke combinatie van stochasten. In Tabel 4.2 wordt een overzicht gegeven van de watersystemen en hun stochastcombinaties binnen het toepassingsgebied van het Deltamodel.

6. In de huidige normering geldt één normwaarde voor een gehele dijkkring.

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

Tabel 4.2 Watersystemen en hun stochastcombinaties binnen het toepassingsgebied van het Deltamodel.

Het is duidelijk dat er verschillende stochasttypes voorkomen: wind, afvoer, enzovoort. Elk stochasttype heeft generieke kenmerken, zie verder paragraaf 5.2. Ook heeft elk stochasttype een vrij specifieke definitie, die samenhangt met de focus op topwaarden. Hier kan verwarring met dagelijks taalgebruik op de loer liggen. Zo is bijvoorbeeld de *stochast* 'zeewaterstand' gedefinieerd als het maximum van de waterstand in een getijperiode, en dat is toch echt iets anders dan de 'zeewaterstand' in dagelijks taalgebruik.

Uit Tabel 4.2 blijkt ook dat er watersystemen zijn met eenzelfde *combinatie* van stochasttypes, bijvoorbeeld de combinatie van Wind en Meerpeil. Deze watersystemen worden beschouwd als exemplaar van een watersysteemtype, zie Tabel 4.3.

	Watersysteemtype				
	Rivier	Meer	Rivier_naar_meer	Rivier_naar_meer_metSVK	Rivier_naar_zee_metSVK
Stochasten (type)					
Afvoer					
Wind (richting en snelheid)					
Meerpeil					
Toestand Stormvloedkering(en)					
Zeewaterstand					
Watersystemen in Buitenwater, Deltamodel					
Rijntakken					
Maas					
Markermeer					
IJsselmeer					
IJsseldelta					
Vechtdelta					
Benedenrivieren-Rijndominant					
legenda					
■ standaard nodig					
■ alleen nodig als ook golven (kruinhoogtes) beschouwd worden					

Tabel 4.3 Watersystemen en watersysteemtipes.

In de praktijk wordt overigens de IJsseldelta (van het type Rivier_naar_meer) behandeld als speciaal geval van het watersysteemtype Rivier_naar_meer_metSVK, namelijk het geval waarin de stormvloedkering een faalkans gelijk aan nul heeft.

Tevens valt wellicht op dat Tabel 4.2 en Tabel 4.3 alleen melding maken van het watersysteem Benedenrivieren-Rijndominant. In aansluiting op andere beleidsanalyses voor

het benedenrivierengebied wordt in de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing het hele gebied behandeld als Rijndominant, dus ook het (kleine) deel dat in WTI kader doorgaans wordt behandeld als Maasdominant (met 'Lith' als Afvoer stochast).

Uit het voorgaande volgt dat binnen het huidige Hydra-Zoet vier watersysteemtypes worden onderscheiden. Ieder watersysteemtype heeft een specifieke combinatie van stochasttypes en daarmee samenhangend een eigen type events, eigen invulling van de Hydra database fysica en eigen formules in de probabilistische berekening.

Van deze vier watersysteemtypes zijn er overigens in feite slechts twee echt generiek, namelijk de types Rivier en Meer: het is relatief eenvoudig een nieuw watersysteem van een van deze types te definiëren en met Hydra-Zoet door te rekenen. De uitwerking van de overige twee types is (nog) niet echt generiek: deze twee uitwerkingen bevatten nog veel kenmerken die samenhangen met de twee Nederlandse watersystemen waarvoor ze van oorsprong zijn ontwikkeld.

4.4.2 Implicaties van huidige Hydra-Zoet watersysteemtypes

Aanpassingen aan het watersysteem

Binnen de waterveiligheidsbeschouwing bestaat veel vrijheid om aanpassingen aan te brengen die van invloed zijn op het *gedrag* van het watersysteem, dat wil zeggen op de relatie tussen de stochasten enerzijds en de lokale waterstanden en golven anderzijds. De mogelijkheden om de *aard* van het watersysteem te veranderen zijn echter beperkt. Uit paragraaf 4.4.1 volgt namelijk dat de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing, met Hydra-Zoet als basis, zich niet leent voor:

- het definiëren van een nieuw watersysteemtype, zoals '2Rivieren_naar_Zee';
- het kiezen (definiëren) van een extra type stochast, zoals het faseverschil tussen de piek van de stormopzet op zee en de top van het astronomisch getij;
- het uitbreiden van een bestaand type stochast, zoals het uitbreiden van het aantal mogelijke faaltoestanden van de stochast Stormvloedkering;

De Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing kan deze 'knoppen' niet bieden, omdat de daarvoor benodigde ingreep in het instrument te groot en complex is, zie ook paragraaf 2.2.1.

Aanpassing beschouwd veiligheidsaspect

Binnen de waterveiligheidsbeschouwing bestaat de mogelijkheid om aanvullende veiligheidsaspecten te bekijken. Voorwaarde daarvoor is dat het veiligheidsaspect kan worden uitgedrukt in een veiligheidsopgave, in termen van een verschil tussen een in *Hydra-Zoet gangbare belastingparameter* en een referentiewaarde voor deze belastingparameter.

De identificatie van de relevante stochasten (en daarmee de identificatie van het watersysteem en het watersysteemtype) hangt namelijk in feite af van de beoogde veiligheidsparameter. De huidige Hydra-filosofie is afgestemd op de belastingparameters 'topwaarde van de waterstand' en 'topwaarde van het golfoverslagniveau'. De voor deze twee belastingtypes relevante stochasten en stochastcombinaties komen grotendeels overeen⁷.

7. De overeenkomst is zelfs voor deze twee belastingparameters overigens niet volledig, zoals herkenbaar is in de grijze vlakken in Tabel 4.3.

De Huidige Hydra filosofie is echter niet ingericht op de bepaling van de statistiek van belastingaspecten die niet direct gekoppeld zijn aan deze topwaarden. De aanpak is dan ook niet geschikt voor de bepaling van de statistiek van bijvoorbeeld:

- een kenmerk van het verloop van de waterstand in de tijd, zoals een belastingduur of een 'snelle val';
- de zwaarte en duur van golfbelasting op bekledingen, op diverse niveaus langs het talud.

En Hydra-Zoet is al helemaal niet geschikt om de statistiek te bepalen van (veiligheidsaspecten die voortvloeien uit onzekerheid rond) niet-belasting aspecten, zoals de sterkte van een waterkering.

Kort samengevat zijn de mogelijkheden om aanvullende veiligheidsaspecten te bekijken beperkt, omdat een andere veiligheidsparameter een her-identificatie van de relevante stochasten vergt. De kans is daarbij groot dat Hydra-Zoet (nog) niet geschikt is voor deze stochasttypes en/of voor dit watersysteemtype. En dan is wederom sprake van een onhaalbare 'knop' aan het instrument (zie ook paragraaf 2.2.1).

5 Stap 1: Gedrag watersysteem, statistiek

5.1 Inleiding

Het hoofdproduct van de het blok 'statistiek' binnen de beschrijving van het gedrag van het watersysteem in Bijlage A is het bepalen van de Hydra statistiek.

Dit product moet worden afgeleid uit de volgende gegevens (zie het schema van Bijlage A):

- de geselecteerde belastingstochasten
- het relevante kansbereik van de belastingstochasten
- informatie over het klimaat

Geselecteerde belastingstochasten

De geselecteerde belastingstochasten liggen per watersysteem vast. Een overzicht hiervan is gegeven in Tabel 4.2. De stochasttypes zijn: wind, afvoer, meerpeil, zeewaterstand, stormvloedkeringen. De stochasten zullen per type worden behandeld in paragraaf 5.2.

Relevant kansbereik belastingstochasten

Het relevante kansbereik van de stochasten hangt samen met de te beschouwen normen. Als de normen veel strenger gekozen zouden worden dan nu het geval is, dan moet nagegaan worden of de tot dan gangbare statistiek ook voor dat nog extremere bereik wel plausibel is. Dat is namelijk niet zondermeer het geval: er kan namelijk sprake zijn van bijvoorbeeld een fysisch maximum. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het 'aftoppen' van de stochast Afvoer bij Lobith of Borgharen, door overstromingen bovenstrooms (dus buiten Nederland).

Informatie over het klimaat

Klimaatinformatie is nodig voor het bepalen van de statistiek van de belastingstochasten, met name de extreme-waardenstatistiek en de onderlinge correlatie tussen de stochasten.

In WTI kader - waarin de 'huidige' situatie wordt beschouwd - wordt de statistiek doorgaans afgeleid uit de statistische analyse van gemeten tijdreeksen. De hieruit resulterende WTI Hydra statistiek wordt representatief geacht - en daarom hergebruikt - voor de referentiesituatie in het kader van de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwingen. Voor de zichtjaren in de toekomst (2050 en 2100) wordt de Hydra statistiek bepaald door rechtstreekse aanpassing van de Hydra statistiek voor de referentiesituatie, op basis van de klimaatverandering zoals beschreven in de Deltascenario's. Binnen het Deltamodel worden dus niet eerst nieuwe tijdreeksen van stochastwaarden gegenereerd, waaruit de nieuwe statistiek wordt afgeleid. De wijze waarop klimaatscenario's moeten worden verwerkt tot aangepaste Hydra statistiek bestanden zal door HKV Lijn in Water worden beschreven in een afzonderlijk document.

Uitzondering op bovenstaande werkwijze in de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing is de bepaling van de statistiek van het IJsselmeerpeil. In dat geval volgt ook voor de referentiesituatie de statistiek uit een statistische analyse van een (binnen het Deltamodel gegenereerde) meerpeiltijdreeks. En voor de zichtjaren wordt eerst de meerpeiltijdreeks binnen het Deltamodel opnieuw gegenereerd, op basis van de klimaatscenario's (en

maatregelen!). De statistische analyse leidt vervolgens tot de aangepaste Hydra statistiek. Op dit onderwerp wordt nader ingegaan in paragraaf 5.3.

Sommige aspecten van het klimaat komen niet (alleen) terug in de statistiek van de belastingstochasten maar moeten (ook) elders in de waterveiligheidsbeschouwing verwerkt worden. Het gaat hier met name om zeespiegelstijging en bodemdaling.

Zeespiegelstijging is primair van invloed op het niveau van de getijkromme. Bij Maasmond en de Haringvlietsluizen is de getijkromme onderdeel van het fysisch gedrag van het watersysteem en bij de spuisluisen in de Afsluitdijk is de getijkromme van belang in de bepaling van de IJsselmeerpeilstatistiek. Maar uiteraard werkt een gewijzigde (vershoven) getijkromme ook door in de statistiek van de stochast Zeewaterstand bij Maasmond. Uiteraard is het van belang de zeespiegelstijging op een consistente wijze in deze verschillende aspecten te verwerken.

De positionering van het omgaan met bodemdaling binnen de waterveiligheidsbeschouwing is niet vanzelfsprekend. Maar bodemdaling wordt in ieder geval *niet* verwerkt in de statistiek van een belastingstochast. Hoe het dan wel wordt verwerkt wordt beschreven binnen het kader van het fysisch gedrag van het watersysteem, in paragraaf 6.6.

5.2 De Hydra stochasten

5.2.1 Overzicht en standaard instellingen

De Hydra stochasten kunnen volgens verschillende criteria worden onderverdeeld. Er kan bijvoorbeeld onderscheid gemaakt worden tussen

- snelle en trage stochasten,
- continue en discrete stochasten,
- externe en interne stochasten

Hieronder wordt nader ingegaan op deze vormen van onderscheid.

Snelle en trage stochasten

Het onderscheid tussen snelle en trage stochasten houdt verband met de verschillende karakteristieke tijdschalen van bedreigende situaties: een afvoergolf kan zich over weken uitstrekken, terwijl een storm in totaal slechts ongeveer twee etmalen beslaat. Tijdens een afvoergolf kunnen meerdere stormen plaatsvinden, andersom niet. Hydra-Zoet houdt hier rekening mee.

Daartoe worden twee karakteristieke tijdsduren onderscheiden: een basisduur en een blokduur. Een basisduur is aanzienlijk groter dan een blokduur: een trage stochast heeft één realisatie per basisduur en een snelle stochast heeft één realisatie per blokduur. Verder neemt Hydra Zoet in de berekening een geschematiseerd verloop in de tijd binnen een basisduur aan voor de 'dagelijks taalgebruik' versie⁸ van de stochast parameter. Een concreet voorbeeld maakt dit wellicht duidelijker: Binnen een basisduur heeft de trage stochast afvoer één realisatie, dus één waarde. Deze realisatie vormt de topwaarde van het

8. De frase "dagelijks taalgebruik versie van de stochast parameter" verwijst terug naar het in paragraaf 4.4.1 genoemde verschil tussen de formele definitie van een stochast parameter en de interpretatie in dagelijks taalgebruik.

geschematiseerde verloop in de tijd van de ('dagelijks taalgebruik' -versie van de parameter) afvoer binnen de basisduur. De schematisatie van het verloop in de tijd is in Hydra-Zoet (doorgaans) een trapeziumvorm. De karakteristieken van deze trapeziumvorm worden in een invoerbestand gegeven in de vorm van topduren. Deze instellingen moeten samenhangen met de momentane overschrijdingskans van de (dagelijks taalgebruik versie) van de stochast parameter.

Voor trage stochasten wordt in Hydra-Zoet doorgaans een 'basisduur' van 30 dagen aangehouden, en voor snelle stochasten een 'blokduur' van 12 uur⁹. In aansluiting op de focus op het winterhalfjaar (zie paragraaf 3.3.3) beschouwt Hydra-Zoet doorgaans 6 basisduren met voor elke basisduur gelijke statistiek voor de beschouwde stochasten. Dergelijke instellingen kunnen worden aangepast, maar dat kan beter aan experts worden overgelaten (zie ook paragraaf 3.3.3).

Discrete en continue stochasten

Discrete stochasten zijn stochasten die een eindig aantal mogelijke realisaties kennen. Deze stochasten geven meer een 'toestand' aan dan een hoogte van de belasting. Aan de afzonderlijke toestanden kunnen kansen worden gekoppeld, waarbij de som van de kansen op alle toestanden gelijk is aan 1. De toestand (open danwel dicht) van een mogelijk falende stormvloedkering is een belangrijk voorbeeld van een discrete stochast. In Hydra-Zoet is er verder voor gekozen ook de windrichting als een discrete stochast te behandelen. De stochasten afvoer, windsnelheid, zeewaterstand en meerpeil zijn continue stochasten. Veelal geldt: hoe hoger de waarde van deze stochast, hoe hoger de belasting. Aan specifieke waarden van een continue stochast kan geen kans worden toegekend, wel een kansdichtheid of, zoals in Hydra doorgaans gebruikt, een overschrijdingskans.

Externe en interne stochasten

Vanuit de Deltamodel veiligheidsbeschouwing kan men daarnaast nog onderscheid maken tussen externe en interne stochasten. Externe stochasten zijn parameters waarvan de instellingen geheel buiten de Deltamodel berekening worden vastgesteld, zoals de Zeewaterstand bij Maasmond, de Wind bij Schiphol en de Afvoer bij Lobith. Interne stochasten zijn stochasten waarvan de instellingen mede afhangen van (een onderdeel van) een Deltamodel berekening, zoals de Afvoer bij Olst en de IJsselmeerpeilstatistiek.

5.2.2 Wind

De stochast wind is een externe, snelle stochast. De stochast bestaat uit twee componenten: de windrichting en de windsnelheid.

In Hydra-Zoet wordt de windrichting behandeld als een discrete stochast: de stochast heeft in de rekenmethode een beperkt aantal mogelijke realisaties. In Hydra-Zoet wordt standaard uitgegaan van de 16 windrichtingen: 22.5, 45.0, ..., 360.0 graden ten opzichte van Noord. Elk van deze windrichting-realisaties *representeert* de windrichtingsector van 22.5 graden rond de betreffende windrichting. De kans van voorkomen van elk van deze realisaties wordt gespecificeerd in een Hydra invoerbestand.

9. Deze keuze voor de blokduur hangt samen met een getijperiode, die een karakteristieke maat is voor de stochast Zeewaterstand; deze blokduur wordt ook toegepast voor de wind, maar impliceert niet dat aangenomen wordt dat een storm 12 uur duurt.

De windsnelheid is een continue stochast. De (windrichtingsafhankelijke) overschrijdingskansen van de windsnelheid worden gespecificeerd in een Hydra invoerbestand.

In Hydra-Zoet wordt alleen de stochast wind van het meetstation Schiphol gebruikt, maar dan wel meteen voor alle watersystemen. Dat laatste volgt uit het feit dat in de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwingen standaard (ook) naar het golfoverslagniveau wordt gekeken en dus in alle watersystemen de golfcondities van belang zijn. Wind is de primaire opwekkende kracht achter golven en daarom is in de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing de wind in alle watersystemen van belang.

In het Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing wordt de statistiek van de stochast wind overgenomen uit WTI 2011. Dit geldt voor alle Cases, dus zowel voor de referentiesituatie (2015), als voor alle situaties in alle zichtjaren (2050 en 2100). Dat laatste hangt samen met het feit dat binnen de Deltascenario's voor (extreme) wind alleen wordt uitgegaan van het scenario 'geen verandering'.

Gezien het belang van de stochast wind voor de waterveiligheidsbeschouwing (Lammers en Kok, 2006) en de onzekerheid rond de statistiek van deze stochast en rond de fysische doorwerking van wind in waterstanden en golven, lijkt een gevoeligheidsstudie aan te bevelen. Voor dat laatste biedt (Smale, 2007) mogelijk een handreiking.

5.2.3 Zeewaterstand

Zeewaterstand is een externe, snelle stochast. In Hydra-Zoet wordt alleen de stochast zeewaterstand van Maasmond gebruikt, en wel voor het watersysteem Benedenrivieren. Voor een nadere beschrijving van deze stochast wordt verwezen naar bijvoorbeeld (De Waal, 2007).

De statistiek van de stochast zeewaterstand is in WTI gegeven in de vorm van een bestand met daarin de kansverdeling van de zeewaterstand bij gegeven windrichting. Hierbij zijn alleen de 'westelijke' windrichtingen relevant. De kansverdelingen hebben betrekking op een getijperiode, voor de locatie Maasmond. Het effect van zeespiegelstijging kan eenvoudig in dit bestand verwerkt worden.

5.2.4 Rivierafvoeren

Rivierafvoer is een trage stochast. In Hydra-Zoet wordt de stochast Afvoer gebruikt bij Borgharen, Lith, Lobith, Olst en Dalfsen. De afvoer stochasten Lith en Olst zijn interne stochasten, de overige extern.

De benodigde statistische informatie (overschrijdingsfrequenties en topduren) voor de afvoer stochasten kan worden overgenomen van WTI. Uitzondering hierop is de afvoer stochast Borgharen. In WTI kader is voor de bovenrivier Maas namelijk tot op heden een deterministische aanpak gevolgd in plaats van de nu gewenste probabilistische aanpak. Daarbij is vanuit WTI kader voor Borgharen wel de werkelijk bekend (overschrijdingsfrequenties) maar niet de topduren. Een kleine complicatie bij de overstap naar de probabilistische methode is het feit dat in het traject bovenstrooms van Boxmeer de

topvervlakking van belang is: in het traject tussen Borgharen en Boxmeer wordt de afvoergolfvorm geleidelijk vlakker en breder. De golfvorm verandert benedenstrooms van Boxmeer veel minder.

In een nette aanpak zou de Maas - wat betreft de Hydra-Zoet berekeningen - in twee watersystemen opgedeeld kunnen worden, met de scheiding bij Boxmeer. Het bovenstroomse deel zou dan de overschrijdingsfrequenties en topduren voor de afvoer stochast Borgharen moeten krijgen, en het benedenstroomse deel die van Lith (die zijn beschikbaar en representatief). Nadeel is dat de Hydra statistiek en topduren voor Borgharen nog moeten worden afgeleid, waarbij de vraag speelt welke topduren gekozen moeten worden: de golfvorm verandert immers in dit traject.

Welke aanpak ook gekozen wordt: het heeft géén invloed op de met Hydra-Zoet berekende waterstanden op de Maas, hooguit wel een kleine invloed op de berekende golfoverslagniveaus. Daarom kan ook gekozen worden voor een pragmatische aanpak. Daarbij wordt de stochast Lith voor de gehele Maas gebruikt. Voordeel is dat dit direct toepasbaar is en (sowieso) de juiste waterstanden levert. Een eerste nadeel is dat voor het bovenstroomse deel bij deze aanpak de gebruikte golfvormen iets te breed en daardoor de berekende golfoverslagniveaus iets te hoog zijn. En een tweede nadeel is dat de vertaling van de klimaatscenario's voor de afvoer Borgharen eerst moeten worden omgerekend naar de afvoer Lith.

Het benedenrivierengebied wordt in het Deltamodel beschouwd als Rijndominant. Dit betekent dat alleen de afvoer stochast Lobith als stochast in de berekening wordt meegenomen. Fysisch gezien wordt aan ieder niveau van de stochast Lobith een waarde voor de stochast Lith gekoppeld, via de zogenaamde 50% relatie. Bij iedere toekomstige verandering (afvoerstatistiek, afvoerverdeling) moet worden nagegaan of deze verandering invloed heeft op de gebruikte koppeling tussen de stochast Lobith en Lith. Dit is in feite onderdeel van de beschrijving van het fysisch gedrag van het watersysteem (Hoofdstuk 6).

5.2.5 Meerpeil

Meerpeil is een trage stochast. In Hydra-Zoet binnen het Deltamodel wordt de stochast Meerpeil gebruikt voor het Markermeer en het IJsselmeer.

Het Markermeerpeil vormt een externe stochast. De Hydra statistiek voor het Markermeerpeil in de referentiesituatie kan uit WTI worden overgenomen.

Het IJsselmeerpeil is een interne stochast. In paragraaf 5.3 wordt beschreven hoe de overschrijdingsfrequenties van het IJsselmeerpeil binnen het Deltamodel bepaald kunnen worden, zowel voor de referentiesituatie als voor de toekomst-zichtjaren. De aanpassing van de topduren voor het IJsselmeerpeil kan vooralsnog het best handmatig gebeuren, mede op basis van het actuele streefpeil.

De stochast IJsselmeerpeil is gerelateerd aan de afvoer stochast Olst, zowel in termen van statistische correlatie als in termen van schematisatie van het faseverschil tussen de twee golfvormen in het probabilistisch model. Voor een beschrijving van deze relatie wordt verwezen naar (Geerse, 2010).

5.2.6 Stormvloedkering

De toestand van de stormvloedkering is een externe, snelle stochast. In Hydra-Zoet worden de Europoortkering en de Ramspol kering behandeld als stochast Stormvloedkering.

Het is nadrukkelijk niet nodig om elke stormvloedkering als een stochast te behandelen, dat is alleen nodig als gemeend wordt dat de *onzekerheid over het functioneren* van de stormvloedkering in rekening gebracht moet worden.

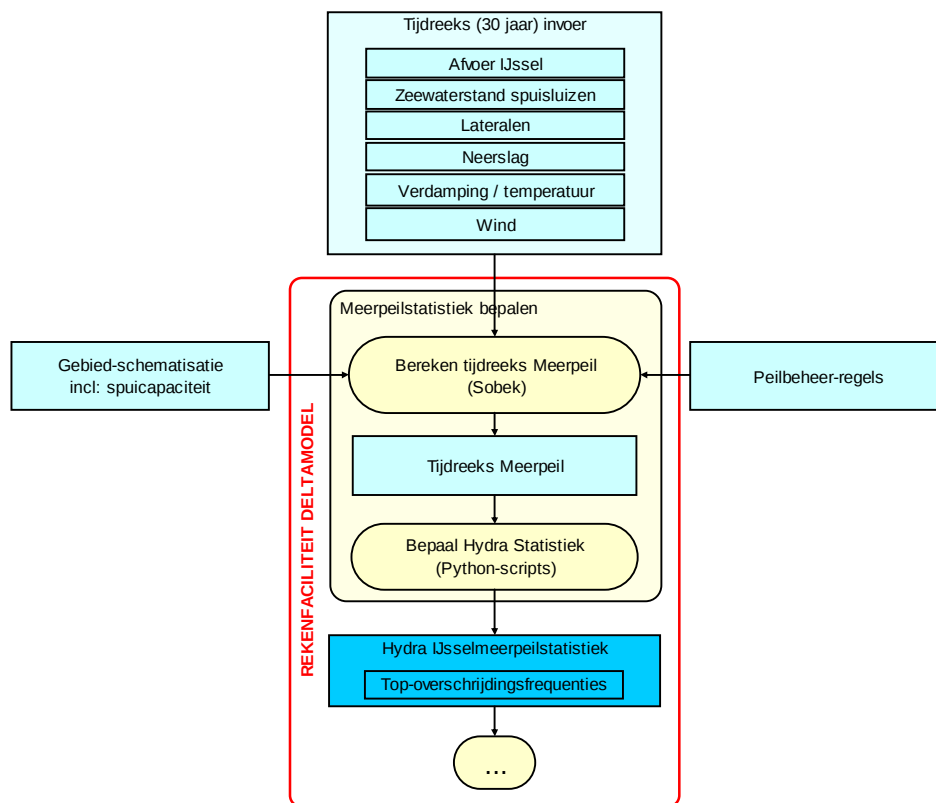
De stochast stormvloedkering is een discrete stochast: het aantal mogelijke realisaties is beperkt. Het is mogelijk om meerdere stormvloedkeringen onder te brengen binnen de stochast stormvloedkering: daarmee neemt het aantal mogelijke realisaties toe. Voor al deze realisaties moet echter wel de statistiek beschreven worden (Hydra statistiek), moeten de formules beschikbaar zijn (Hydra rekenhart) en moet het fysisch gedrag van het watersysteem beschreven zijn (Hydra database fysica). Daarnaast zou deze informatie ook gebruikersvriendelijk ingevoerd moeten kunnen worden (Hydra user interface). Dit alles impliceert dat het toevoegen van een stormvloedkering als stochast zeer ingrijpend is.

In de Hydra-Zoet beschrijving van het watersysteem benedenrivieren is een stochast Stormvloedkering beschikbaar met vier mogelijke realisaties. In de Deltamodel toepassing worden daarvan slechts twee gebruikt, net als in de WTI toepassing. Voor het watersysteem Vechtdelta is een stochast met twee mogelijke realisaties beschikbaar.

De beschrijving van de statistiek van de stormvloedkering is vrij specifiek afgestemd op de momenteel aanwezige keringen en hun aansturing. Voor de referentiesituatie kan deze informatie worden overgenomen van WTI. Voor toekomstige situaties geldt dat eventuele veranderingen in de statistiek voortvloeien uit beheer. Mogelijk aandachtspunt hierbij is bijvoorbeeld dat de voorspelnaauwkeurigheid van waterstanden een rol speelt bij het afgeven van een sluitcommando voor de Europoortkering; wellicht is deze voorspelnaauwkeurigheid in 2050 en/of 2100 groter dan nu.

5.3 Bepaling statistiek IJsselmeerpeil

Voor een samenhangende, consistente en reproduceerbare bepaling van de IJsselmeerpeilstatistiek is een procedure uitgewerkt. Deze procedure is stand alone toepasbaar en beschreven in (Hoonhout, 2012). Dezelfde procedure is tevens in Python scripts geprogrammeerd en opgenomen in de Rekenfaciliteit. De essentie van de methode is weergegeven in Figuur 5.1.



Figuur 5.1 Stroomschema bepaling IJsselmeerpeilstatistiek.

6 Stap 1: Gedrag watersysteem, fysica

6.1 Inleiding

Binnen de waterveiligheidsbeschouwing heeft de beschrijving van het fysisch gedrag van het watersysteem als hoofddoel om de fysische relatie te leggen tussen stochastwaardecombinaties enerzijds en lokale hydraulische condities (waterstanden, golven) anderzijds. Deze fysische relatie wordt - per watersysteem - vastgelegd in de vorm van een Hydra database fysica. Dat is in feite een grote tabel waarin voor een reeks uitvoerlocaties en een reeks stochastwaardecombinaties de waterstand en golfcondities staan vermeld.

Iedere stochastwaardecombinatie representeert een specifieke gebeurtenis, doorgaans 'event' genoemd. Met name bij de bepaling van de waterstand wordt binnen een event een verloop in de tijd beschouwd, bijvoorbeeld het verloop van de windsnelheid tijdens een storm, met als piekwaarde de waarde van de *stochast* Windsnelheid. Toch wordt per event (en per locatie) slechts één representatieve waarde voor de waterstand (en golfcondities) opgeslagen in de database fysica. In de Hydra-Zoet aanpak zijn dat de (lokale) condities op het moment dat de (lokale) waterstand maximaal is.

De bepaling van het fysisch gedrag van een watersysteem bevat de volgende activiteiten:

- inventariseer en parametriseer gedragsbepalende factoren en selecteer de belastingstochasten
- bepaal het relevante kansbereik van het systeemgedrag
- bepaal het bereik en de discretisatie van de belastingstochasten: het scala aan te beschouwen events
- genereer de Hydra database fysica (de Hydra database fysica processor)

Deze onderwerpen worden in de paragrafen hierna behandeld.

6.2 Gedragsbepalende factoren

Per watersysteem zijn de belangrijkste bronnen voor de onzekerheid rond (c.q. statistiek van) de belastingen aangewezen om als stochast te worden behandeld. Er blijft dan nog een zeer groot scala aan aspecten over die van belang zijn voor de uiteindelijke belasting op de waterkering, maar waarvan de onzekerheid niet in de statistiek in rekening wordt gebracht. Van deze aspecten moeten representatieve waarden of instellingen gekozen worden. Deze representatieve waarden hoeven overigens niet voor alle events hetzelfde te zijn, als ze maar op een eenduidige wijze aan de afzonderlijke events gekoppeld zijn, bijvoorbeeld in de vorm van een eenduidige relatie met een of meer van de stochasten.

Deze 'overige' aspecten kunnen als volgt worden onderverdeeld:

Onveranderlijke aspecten

De aspecten die voor alle events binnen een Case gelijk zijn, zijn bijvoorbeeld de gebiedsschematisatie, bestaande uit: de specificatie van aspecten zoals:

- de randen,
- de bodemligging,
- fysieke kenmerken van eventuele obstakels zoals dammen

- fysieke kenmerken van kunstwerken zoals stormvloedkeringen, spuisluizen, verdelingswerken,
- de uitvoerlocaties.

Natuurlijke (bronnen voor) variatie in de tijd of tussen events

Variatie in de tijd binnen een event kan volgen uit een beschrijving van bijvoorbeeld de volgende natuurlijke aspecten:

- het verloop van windsnelheid en windrichting in de tijd,
- het stormopzetverloop,
- de getijkromme,
- het faseverschil tussen stormopzet en getij,
- de afvoergolfvorm
- toestroming uit open verbindingen

Menselijke (bronnen voor) variatie in de tijd of tussen events

Variatie in de tijd binnen een event kan volgen uit een beschrijving van bijvoorbeeld de volgende menselijke aspecten:

- spuibeleid (gerelateerd aan het streefpeil van een meerpeil),
- bergingbeleid,
- afvoerverdeling splitsingspunten,
- zijdelingse toestroming vanuit gemalen,
- stormvloedkeringen: sluitcriteria, sluitprocedure, voorspelnauwkeurigheid

Dergelijke instellingen worden voor de referentiesituatie in de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwingen zo veel mogelijk overgenomen uit de instellingen binnen WTI.

Hierbij wordt opgemerkt dat alleen in het watersysteemtype Rivier de waterstand volledig bepaald wordt door een trage stochast, namelijk de afvoer. Bovendien leidt - met name op de Maas - het rekenen met een realistische afvoergolfvorm tot aanzienlijk lagere waterstanden dan het rekenen met een stationaire afvoer ('permanentie'), door topvervlakking. Daarom is dit het enige watersysteemtype waar een event in de waterstandsmodellering het verloop rond een trage stochast (i.c. een volledige afvoergolfvorm) omvat. In de overige watersystemen is tenminste één snelle stochast van belang voor de waterstanden. Voor die watersystemen wordt de trage stochast (afvoer, meerpeil) gedurende elk afzonderlijk event als stationair behandeld (op een enkele uitzondering in de IJssel- en Vecht Delta na).

6.3 Relevant kansbereik systeemgedrag

In paragraaf 5.1 is de relatie gelegd tussen de normen en het te beschrijven statistische bereik van de stochasten. Een overeenkomstige relatie bestaat tussen de normen en het te beschrijven fysische bereik van de stochasten en de stochastwaarde-combinaties. De in WTI gemaakte keuzes dekken een vrij groot bereik van het fysisch gedrag van het watersysteem. Maar net als in paragraaf 5.1 geldt ook hier dat een forse verzwaring van de normen aanleiding moet zijn voor een heroverweging van het te beschrijven bereik van het fysisch gedrag van het watersysteem.

6.4 Definitie productiesommen fysica: bereik en discretisatie stochastcombinaties

In paragraaf 4.3.1 is al beschreven dat het aantal te beschouwen events van grote invloed is op de rekeninspanning voor de beschrijving van het fysisch gedrag van het watersysteem. De rekeninspanning is in WTI kader een minder zwaarwegend punt dan in het Deltamodel kader, terwijl voor de gewenste nauwkeurigheid van de rekenresultaten het omgekeerde geldt. Daarom zijn de keuzes vanuit WTI voor de te beschouwen events niet zondermeer overgenomen in de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwingen.

In (Geerse en Duits, 2012) is per watersysteem een voorstel aan het project Deltamodel gedaan om voor een beperkte verzameling combinaties daadwerkelijk berekeningen uit te voeren en deze resultaten vervolgens (door middel van doorkopiëren) 'op te blazen' tot een verzameling gegevens die nodig is voor een Hydra-Zoet berekening. Dit advies is overgenomen in de inrichting van de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing.

Een nadere toelichting op het benodigde aantal waterstandsberekeningen in het watersysteemtype Rivier (ook wel 'bovenrivieren') is hier nog wel op zijn plaats. Tot op heden wordt voor dit systeemtype in de WTI aanpak uitgegaan van een deterministische berekening: vanuit de - bekende - afvoerstatistiek is de maatgevende afvoer bekend en de maatgevende waterstanden volgen dan eenvoudig uit de ene waterstandsberekening bij deze maatgevende afvoer. De golfcondities (nodig voor de bepaling van het golfoverslagniveau) worden op basis van een (relatief lage) ontwerpwindsnelheid uit diverse richtingen bepaald.

Een dergelijke aanpak is in de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing ongewenst: De rol van de wind - via de ontwerpwindsnelheid - is namelijk ongewenst vaag. Bovendien vergt elke aanpassing aan de afvoerstatistiek (klimaatverandering) of aan de normen (maatregel) een nieuwe waterstandsberekening, en dat is niet consistent met de werkwijze voor de andere watersystemen. Daarnaast geldt óók nog dat ten behoeve van de beschrijving van het fysisch gedrag van de benedenstroomse watersystemen toch al een waterstandsberekening in de bovenrivieren moeten worden gemaakt voor een reeks waarden van de afvoerstochast.

Het ligt voor de hand de beschouwing samenhangender te maken door ook in de bovenrivieren een probabilistische aanpak te volgen. De componenten 'wind als extra stochast' (alleen voor golf-effecten), de 'Hydra statistiek' en de 'Hydra database fysica' zijn immers in feite al beschikbaar. Deze aanpak voor de bovenrivieren is dan ook in de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing opgenomen.

6.5 Hydra database fysica processor

6.5.1 Hoofdfunctionaliteiten

De belangrijkste functionaliteiten van de Hydra database processor zijn:

- Aansturing scripts genereren
- Productieberekeningen waterstanden, stromingen en golven uitvoeren
- Uitvoerbestanden inlezen en relevante info in Hydra database zetten

Deze functionaliteiten zijn in de Rekenfaciliteit (FEWS omgeving) geprogrammeerd en nader beschreven in de systeemdocumentatie van de Rekenfaciliteit¹⁰.

Hieronder volgen nog enkele nadere beschouwingen op de hoofdlijnen van bovenstaande functionaliteiten.

Het genereren van de aansturingsscripts behelst in feite het verzamelen van alle informatie zoals beschreven in paragraaf 6.2 voor alle berekeningen zoals beschreven in paragraaf 6.3, ter voorbereiding van de daadwerkelijke uitvoering van de berekeningen.

Het uitvoeren van de 'productieberekeningen waterstanden, stromingen en golven' behelst in de huidige praktijk alleen de uitvoering van de berekeningen met een waterstandsmodel. De uitvoering van de golfberekening hangt samen met de positionering van het golfmodel in de modellenketen, daarop wordt in paragraaf 6.5.3 (en vooral Bijlage C) nader ingegaan.

Het inlezen van de uitvoerbestanden inlezen en het plaatsen van de relevante info in een Hydra database fysica zijn in de praktijk twee duidelijk gescheiden activiteiten. De relevante rekenresultaten uit de waterstandsberekeningen worden namelijk aan de 'Hydra-Zoet adapter' gegeven. Binnen de Hydra-Zoet adapter wordt eerst de verzameling gegevens 'opgeblazen' tot een volwaardige Hydra-Zoet verzameling en in een Hydra database fysica geplaatst. Vervolgens wordt - meteen, in dezelfde Hydra-adapter - de Hydra-Zoet berekening gestart. Maar dat laatste is in het overzicht pas onderdeel van stap 2 in het totale rekenproces.

6.5.2 Berekening waterstanden

Types model

Waterstandsberekeningen in het kader van de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwingen worden, afhankelijk van het beschouwde watersysteem, uitgevoerd met het 1D model Sobek danwel het 2D model Waqua. In de huidige praktijk wordt alleen in het watersysteem Benedenrivieren met Sobek gerekend; in alle andere watersystemen binnen Deltamodel waterveiligheid scope wordt gerekend met Waqua.

Gebiedsschematisatie

De gebiedsschematisaties voor de referentiesituatie in de diverse watersystemen zijn zoveel mogelijk overgenomen uit WTI kader. Voor zichtjaren in de toekomst zouden deze bij voorkeur vanuit een generieke GIS omgeving (Baseline) aangemaakt moeten worden en eerst - buiten de Rekenfaciliteit - getest.

6.5.3 Berekening golven

Types model

Bij het berekenen van golfcondities in het kader van WTI wordt per (deel van een) watersysteem gebruik gemaakt van ofwel het golfmodel SWAN ofwel het golfmodel Bretschneider. SWAN is een geavanceerd 2D model, waarin veel kennis van golffysica is geïmplementeerd. Bretschneider daarentegen is een zeer eenvoudig 0D golfmodel, waarin alleen empirische kennis van golfgroei bij gegeven windsnelheid, strijklengte en waterdiepte

10. De betreffende referentie is nog niet beschikbaar.

is geïmplementeerd. In (De Waal, 2008) wordt de kwaliteit van deze vorm van golfmodellering in het kader van WTI berekeningen tegen het licht gehouden.

In Deltamodel kader wordt de inzet van het vrij zware golfmodel SWAN alleen nodig geacht op de watersystemen IJsselmeer en Markermeer. Juist voor deze watersystemen is echter besloten het genereren van nieuwe databases fysica vooralsnog niet te ondersteunen. Dit betekent dat bij golfberekeningen in de huidige Deltamodel context uitsluitend het golfmodel Bretschneider wordt toegepast.

Positionering Bretschneider in modellenketen

Het berekenen van de golfcondities met Bretschneider maakt geen deel uit van de berekeningen fysica die voorafgaan aan het vullen van de Hydra database fysica. In Bijlage C wordt de positionering van de Bretschneider golfmodellering in de waterveiligheidsbeschouwing beschreven.

Gebiedschematisatie voor Bretschneider

Zoals in Bijlage C al is beschreven, is in het kader van het Deltamodel behoefte aan een hulpmiddel bij het genereren van strijklengtes en bodemniveaus. Het verdient aanbeveling deze tool niet alleen voor toekomstige situaties, maar ook voor de referentiesituatie te gebruiken, zodat gebiedskenmerken op consistente wijze in de schematisatie voor de golfmodellering verwerkt worden.

6.6 Omgaan met bodemdaling

Bodemdaling staat hier voor alle aspecten die met bodemniveauverandering te maken hebben. Het op correcte wijze van al deze aspecten in de diverse onderdelen van het Deltamodel is een zeer omvangrijke klus. In Bijlage D. wordt dit probleem nader beschouwd. Deze beschouwing mondt uit in een voorkeur voor vereenvoudigde verwerking van het fenomeen in de waterveiligheidsbeschouwing, Deze verwerking vindt in feite pas plaats in stap 3 van de beschouwing: bij de bepaling van de veiligheidsopgave. Zie verder paragraaf 8.2.

7 Stap 2: Statistiek Hydraulisch Belastingniveau

7.1 Inleiding

De hoofdfunctie van stap 2, het blok Statistiek Hydraulische Belastingniveau, is de bepaling van de statistiek van het Hydraulisch Belasting Niveau (HBN), zie Bijlage A. Deze hoofdfunctie is de kernfunctie van het probabilistisch model Hydra-Zoet. In tegenstelling tot de procedures in stap 1 is deze telg uit de Hydra familie opgezet voor gebruik door niet-specialisten. Voor de basisbeschrijving wordt dan ook verwezen naar de gebruikershandleiding voor normale gebruikers (Duits en Kuijper, 2012a) voor geavanceerde gebruikers, waaronder de Deltamodel toepassing (Duits en Kuijper, 2012b), de systeemdokumentatie (Duits en Kuijper, 2012c), en het achtergronddocument (Geerse, 2010).

In het vervolg van dit hoofdstuk worden alleen die aspecten belicht die specifiek van belang zijn voor toepassing in het kader van het Deltamodel.

7.2 Primaire functionaliteiten Hydra-Zoet

De primaire functionaliteiten binnen Hydra-Zoet zijn:

- I) de vertaling van de relatie tussen stochastwaardecombinaties en waterstanden en golven op uitvoerlocaties (zoals beschikbaar in de Hydra database fysica) naar een relatie tussen stochastwaardecombinaties en het Hydraulisch Belasting Niveau (HBN), doorgaans opgedeeld in twee deelstappen (beide per stochastwaardecombinatie, event):
 - a) vertaling van waterstanden en golven op de uitvoerlocatie naar de dijkteen
 - b) vertaling van waterstanden en golven bij de dijkteen naar HBN
- II) de bepaling van de overschrijdingsfrequentie (per jaar) van een gegeven HBN-waarde. In de praktijk wordt deze functionaliteit in een iets andere vorm toegepast: de HBN-waarden worden bepaald die horen bij een gegeven reeks waarden van de overschrijdingsfrequentie.

De basisfunctionaliteit is gericht op de berekening per afzonderlijke locatie en per afzonderlijke definitie van het HBN. Anders gezegd: er is geen rekenkundige relatie tussen de resultaten van verschillende uitvoerlocaties en verschillende HBN definities.

Voor de Deltamodel toepassing van Hydra-Zoet is stap I in zoverre bijzonder, dat de hiervoor benodigde invoergegevens (met betrekking tot het 'buitenprofiel') voor de referentiesituatie niet standaard beschikbaar zijn vanuit de WTI context: deze informatie wordt door de dijkbeheerders ingebracht tijdens het gebruik van Hydra in de toetsing. De gegevens worden niet centraal verzameld en beheerd. In het project WV21 speelde hetzelfde probleem en in dat project is de benodigde informatie - in relatief globale vorm - verzameld. In het Deltamodel zijn de gegevens van WV21 overgenomen.

Punt van zorg is dat in de WV21 profielgegevens informatie over eventuele voorlanden ontbreekt. Het Deltamodel vertoont nu deze zelfde lacune. Voorlanden zijn niet alleen van belang bij de bepaling van de hydraulische condities bij de dijkteen (stap Ia, hierboven), maar

ook bij het op orde maken van de dijkprofielen (paragraaf 9.5) en bij het bepalen van de HBN referentiewaarden van de profielen in de referentiesituatie (paragraaf 9.6).

7.3 Aanpassingen aan Hydra-Zoet voor Deltamodel toepassing

Hydra-Zoet kent - net als diverse voorgangers in de Hydra familie - voor geavanceerde gebruikers bijzonder veel instellingsmogelijkheden. Deze mogelijkheden zijn oorspronkelijk bedoeld voor het testen en nader analyseren van Hydra berekeningen door experts. Diverse van deze mogelijkheden zijn nu ontsloten in het kader van de Deltamodel toepassing. Hydra-Zoet heeft daartoe een nieuwe gebruikersmodus gekregen: de 'Deltamodel modus'. Toch blijven veel van deze opties alleen geschikt voor gebruik door gevorderde gebruikers.

Binnen de Deltamodel modus zijn diverse gebruikstoepassingen vergemakkelijkt: de flexibiliteit is vergroot en de gebruiksvriendelijkheid verhoogd. In de rekenkern is niet veel veranderd. Tenminste één beperking van het rekenhart is blijven bestaan, en moet hier nogmaals vermeld worden, in verband met de mogelijke wens om een watersysteem met een sterk veranderd gedrag door te rekenen. Dat betreft het punt van de 'reparaties':

Reparaties

Het gedrag van een watersysteem kan complex zijn, waardoor in sommige gevallen een hydraulische belasting afneemt terwijl een stochastwaarde (zoals zeewaterstand) extremer wordt. In dat geval ontstaan 'irreguliere faalgebieden' en daar kan Hydra-Zoet niet mee omgaan. Hydra-Zoet 'repareert' daarom in die gevallen de relatie tussen belasting en stochastwaarde op zo'n manier dat irreguliere faalgebieden worden voorkomen en de berekening kan worden uitgevoerd. Met de reparatie kan de (complexe) werkelijkheid echter geweld worden aangedaan. Beweegbare keringen of de inzet van bergingsgebieden zijn voorbeelden van mogelijke bronnen van irreguliere faalgebieden en daardoor mogelijk minder accurate rekenresultaten uit Hydra-Zoet.

7.4 Basis instellingen bij Deltamodel 1.0 berekeningen

Voor het Hydraulisch Belasting Niveau worden in de Deltamodel toepassing de volgende definities toegepast, die standaard in Hydra-Zoet aanwezig zijn:

- HBN = waterstand
- HBN = golfoverslagniveau bij een specifiek kritiek overslagdebiet

In Deltamodel 1.0 worden twee golfoverslagniveaus doorgerekend, namelijk bij een kritiek overslagdebiet van 0.1 en 1.0 (l/s/m). Merk op dat het totaal aantal gebruikte HBN definities hiermee op drie komt. Om de rekentijd te beperken zou overwogen kunnen worden met slechts één waarde voor het kritiek overslagdebiet te werken.

'De statistiek' van deze parameters wordt beschreven in de vorm van de niveaus bij een vaste reeks terugkeertijden. In Deltamodel 1.0 is gekozen voor de reeks terugkeertijden van 10, 40, 100, 400, 1000, 1250, 2000, 4000, 10000 en 20000 jaar.

7.5 Kenmerken van de uitvoer

De uitvoer van stap 2 bestaat in principe uit een grote tabel. Daarin staat per uitvoerlocatie en per terugkeertijd voor elke HBN-definitie het terugkeerniveau¹¹ in meters ten opzichte van NAP. Bij de invulling van deze tabel wordt wel onderscheid gemaakt tussen twee types uitvoerlocaties.

Voor oeverlocaties geldt dat de hiervoor genoemde drie HBN definities worden gebruikt. Voor oeverlocaties is de uitvoer dan ook het meest omvangrijk.

Voor aslocaties en locaties gekoppeld aan buitendijkse gebieden geldt dat alléén de HBN definitie 'waterstand' wordt gehanteerd. Voor deze locaties worden geen golven en geen golfoverslagniveaus berekend; er is dan ook voor deze locaties geen 'buitenprofiel' informatie nodig.

11. Het 'terugkeerniveau' is het niveau dat hoort bij een bepaalde terugkeertijd. Bijvoorbeeld: het '2000 jaar terugkeerniveau' is het niveau dat hoort bij een terugkeertijd van 2000 jaar.

8 Stap 3: Veiligheidsopgave

8.1 De veiligheidsopgave als parameter¹²

De bepaling van de veiligheidsopgave in een gegeven situatie (Case) bestaat in essentie uit de bepaling van het verschil tussen de actuele normbelasting en de actuele aanwezige sterkte.

Omdat diverse belasting- en sterkteparameters met elkaar vergeleken worden, zijn er ook diverse veiligheidsopgaveparameters, naast elkaar. Er bestaan nog geen ingeburgerde termen voor de verschillende veiligheidsopgaveparameters. Vooralsnog worden de volgende termen gekozen:

- veiligheidsopgave toetspeil
- veiligheidsopgave piping
- veiligheidsopgave macro-instabiliteit binnenwaarts
- veiligheidsopgave golfoverslag
- veiligheidsopgave buitendijks gebied

Binnen het Deltamodel worden de vergelijkingen gemaakt (c.q. veiligheidsopgaveparameters beschouwd) zoals weergegeven in Tabel 8.1.

Veiligheidsopgave	Actuele normwaarde van HBN-definitie:	Aanwezige 'sterkte'; referentiewaarde HBN
toetspeil	waterstand as	toetspeil in de referentiesituatie
piping	waterstand oever	actuele kritieke waterstand piping
macro instabiliteit binnenwaarts	waterstand oever	actuele kritieke waterstand macro instabiliteit binnenwaarts
golfoverslag	golfoverslagniveau	actuele kruinhoogte
buitendijks gebied	waterstand buitendijks	actuele kritieke waterstand buitendijks

Tabel 8.1 Typing van de Veiligheidsopgaveparameters

De term 'actueel' heeft in dit verband betrekking op de situatie in het beschouwde zichtjaar. De actuele normbelasting is dan ook het terugkeerniveau van de beschouwde HBN definitie bij de norm die voor de beschouwde locatie in het beschouwde zichtjaar geldt. In de referentiesituatie van het Deltamodel (2015) wordt aangenomen dat de huidige (vigerende) WTI normwaarden van toepassing zijn. De actuele sterkte is uitgedrukt in een grenswaarde voor de belasting (HBN); anders gezegd: 'het HBN dat nog juist weerstaan kan worden' of 'de kritieke waarde van het HBN'.

De analyse in stap 3 vindt plaats per veiligheidsopgaveparameter en per uitvoerlocatie. Vervolgens biedt stap 3 de mogelijkheid de afzonderlijke veiligheidsopgaveparameters ruimtelijk te aggregeren.

Tot slot nog enkele kanttekeningen:

12. Het gebruik van de term 'grootheid' zou hier zuiverder zijn dan de term 'parameter', maar in dit document is gekozen voor 'parameter' omdat dit naar verwachting beter aansluit bij wat gangbaar is in de doelgroep.

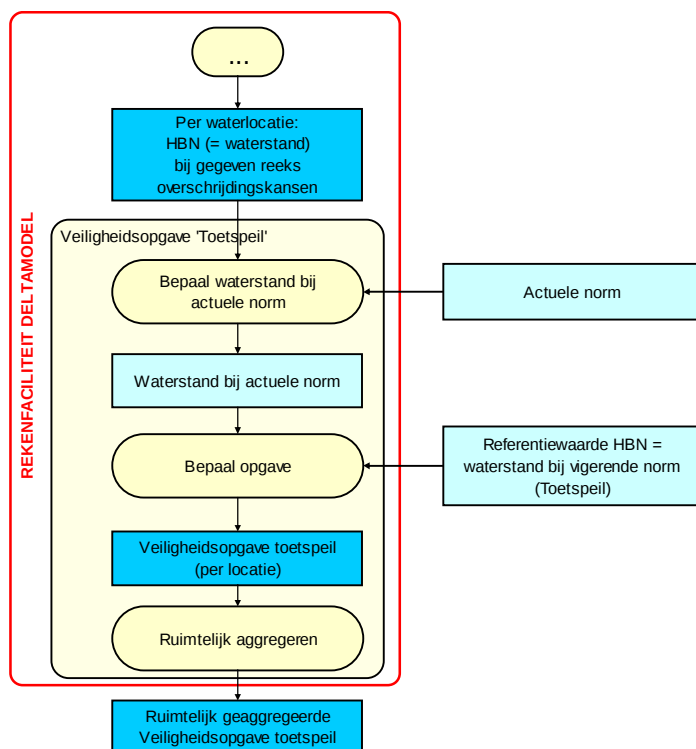
De veiligheidsopgaveparameters worden in principe allemaal uitgedrukt in een fysische maat: een hoogtemaat in meters. Het is echter betrekkelijk eenvoudig om - in plaats daarvan - de actuele veiligheid uit te drukken in een *statistische* maat: de overschrijdingsfrequentie van de actuele sterkte. De veiligheidsopgave zou vervolgens uitgedrukt kunnen worden in een verhouding tussen de actuele overschrijdingsfrequentie en de actuele norm-overschrijdingsfrequentie. In het Deltamodel is vooralsnog gekozen voor de fysische weergave (hoogtemaat) omdat ingeschat wordt dat dit meer aanspreekt en minder verwarring oproept.

Voor de veiligheid van het binnendijkse gebied bestaan nu drie veiligheidsopgaveparameters naast elkaar: piping, macro instabiliteit binnenwaarts en golfoverslag. Deze veiligheidsopgaveparameters zouden we graag willen kunnen aggregeren tot één veiligheidsopgaveparameter. Voor piping en macro instabiliteit binnenwaarts is de aggregatie tot een 'veiligheidsopgave geo-stabiliteit' eenvoudig, omdat beide fenomenen gekoppeld zijn aan alleen de waterstand: de grootste opgave is daardoor maatgevend. De aggregatie met de veiligheidsopgave golfoverslag is echter lastiger te realiseren, omdat hier verschillende condities aan ten grondslag (kunnen) liggen. In Deltamodel 1.0 wordt daarom vooralsnog geen aggregatie over de mechanismen uitgevoerd.

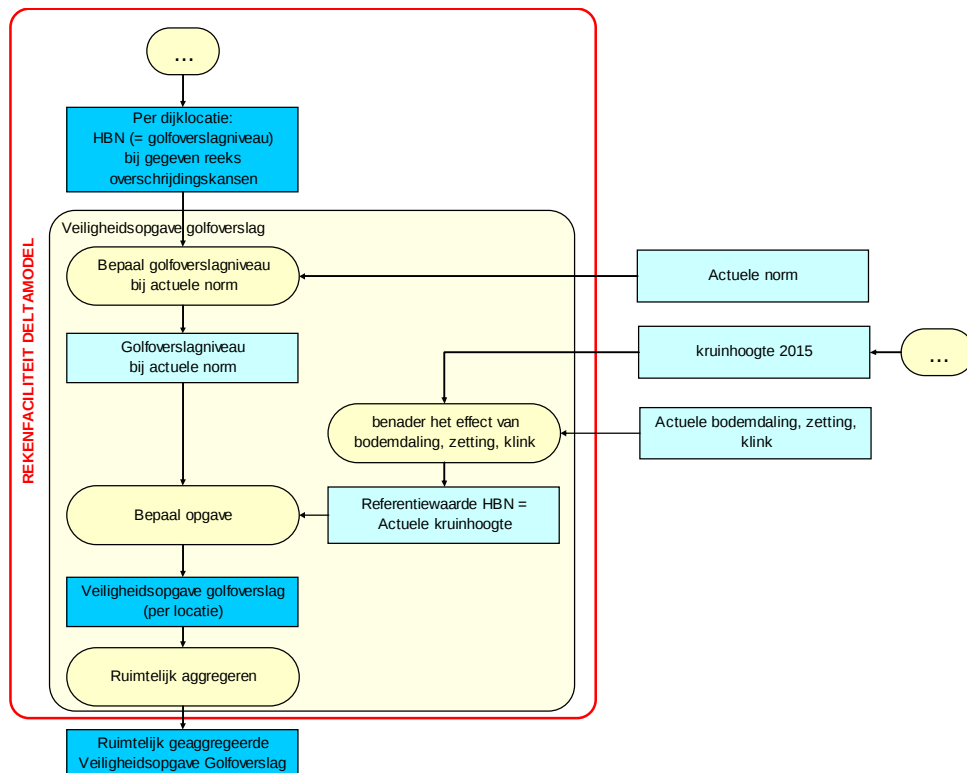
Het Deltamodel kan ten behoeve van de veiligheid van buitendijks gebied alléén informatie leveren over de overschrijdingsfrequenties van waterstanden. Het Deltamodel kan zelf geen informatie leveren met betrekking tot belastingaspecten als overstromingsduur en stroomsnelheden. Net als de parameters overstromingsdiepte en de overstromingsschade moet dergelijke informatie in een nabewerking worden afgeleid, waarbij aanvullende informatie en berekeningen (met andere modellen dan het Deltamodel) noodzakelijk zijn.

8.2 Basisfunctionaliteiten

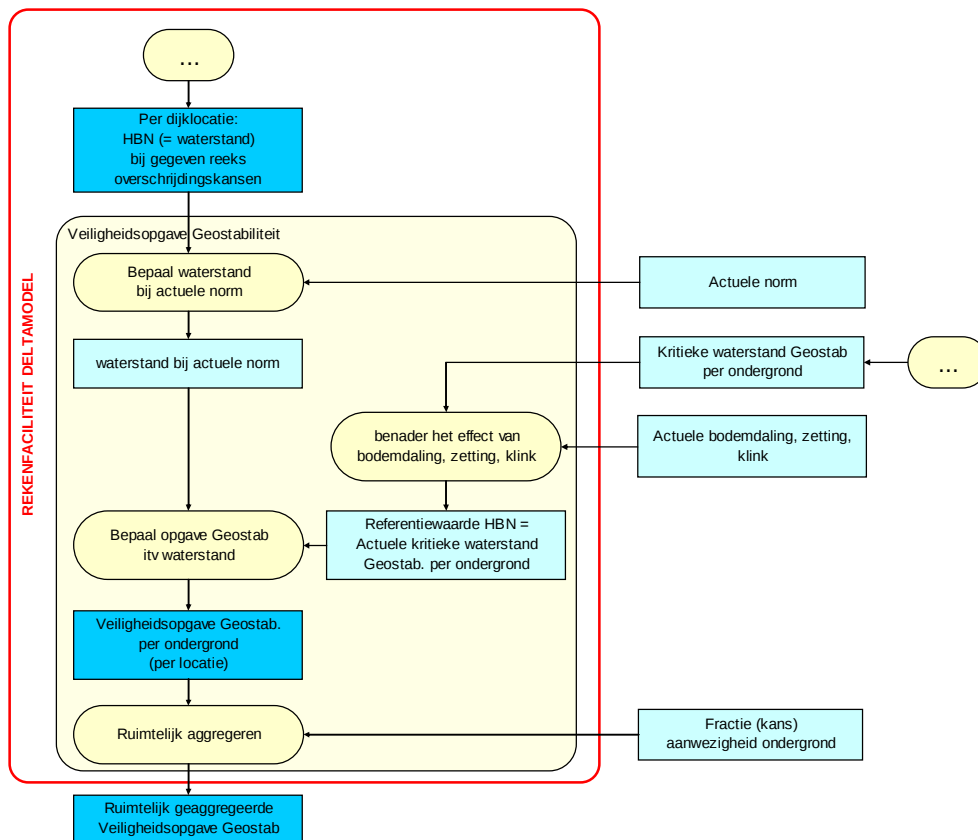
Voor het in beeld brengen van de basisfunctionaliteiten binnen stap 3 is het nuttig eerst de stroomschema's te bekijken voor de verschillende veiligheidsopgaveparameters. Zie Figuur 8.1, Figuur 8.2 en Figuur 8.3.



Figuur 8.1 Stroomschema veiligheidsopgave toetspeil.



Figuur 8.2 Stroomschema veiligheidsopgave golfoverslag.



Figuur 8.3 Stroomschema veiligheidsopgave geo-stabiliteit (piping; macro-instabiliteit binnenwaarts).

De primaire functionaliteiten in deze procedures zijn vrij eenvoudig:

De waarde van het HBN bij de actuele norm wordt bepaald door middel van logaritmisch interpoleren in de in tabelvorm beschikbare relatie tussen HBN en terugkeertijd.

Het (totale) effect van bodemdaling, zetting, klink en klink wordt benaderd door de (voor de beschouwde locatie) opgegeven waarde van deze gezamenlijke effecten af te trekken van de kritieke waarde van het HBN in de referentiesituatie. (Deze procedure is niet van toepassing bij de veiligheidsopgave toetspeil).

De waarde van de veiligheidsopgave wordt bepaald door de actuele belasting af te trekken van de actuele sterkte.

Voor de ruimtelijke aggregatie wordt verwezen naar paragraaf 8.3.

8.3 Presentatie geografische verdeling veiligheidsopgave

Het is betrekkelijk eenvoudig de berekende waarden van een veiligheidsopgaveparameter in te delen in klassen, aan elke klasse een verschillende kleur toe te kennen en deze kleuren toe te kennen aan hun geografische locatie. Daarmee ontstaat een beeld van de geografische verdeling van de veiligheidsopgaveparameter.

Dit beeld kan heel nuttig zijn, maar het is daarnaast waarschijnlijk ook gewenst om de berekende veiligheidsopgave ruimtelijk te aggregeren.

8.4 Ruimtelijke aggregatie

Zodra de berekende veiligheidsopgaveparameters in klassen zijn ingedeeld, is het betrekkelijk eenvoudig de resultaten te aggregeren tot een histogram van alle resultaten in een bepaald gebied.

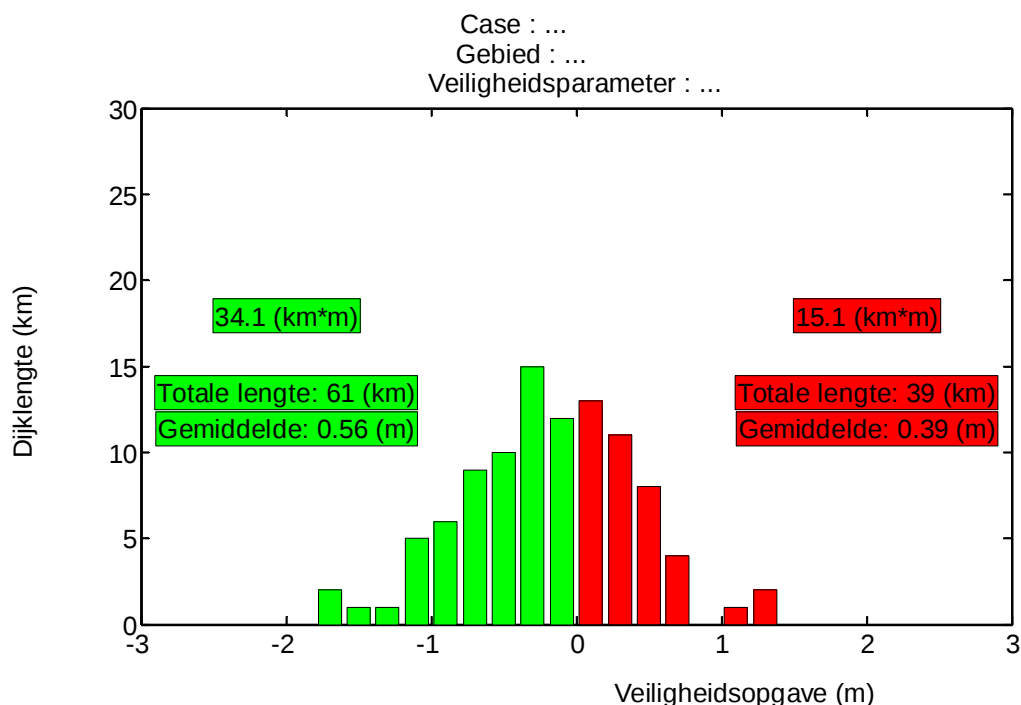
Dat gebied kan bijvoorbeeld een dijkkring zijn, of een riviertak, of het interessegebied van een Deelprogramma. Alles is in principe mogelijk, als er maar een eenduidige relatie is gelegd tussen een regio en de daarbinnen vallende uitvoerlocaties.

Het histogram wordt veelzeggender als niet het aantal locaties met een veiligheidsopgave wordt weergegeven, maar het aantal kilometer dijk waarop de veiligheidsopgave betrekking heeft. Daarvoor is uiteraard per locatie de informatie nodig over de aan deze locatie gekoppelde dijklength.

In Figuur 8.4 wordt een (fictief) voorbeeld gegeven van hoe de aggregatie in de vorm van een histogram er uit zou kunnen zien.

Grote voordelen van deze geaggregeerde weergave zijn:

- Er ontstaat een overzicht van zowel de veiligheidsopgave als de reserve (negatieve opgave).
- Verschillen tussen Cases kunnen inzichtelijk worden gemaakt door de twee betreffende histogrammen in één grafiek op te nemen.
- Er is een eenvoudige verdergaande aggregatie mogelijk door bijvoorbeeld het totaal aantal dijkkilometers met een (positieve) veiligheidsopgave te bepalen.



Figuur 8.4 Generiek histogram als fictief voorbeeld van ruimtelijke aggregatie van de berekende waarden van een veiligheidsopgaveparameter.

9 Samenhang in invoergegevens, pre-processing

9.1 Inleiding

Zoals al in paragraaf 3.5 is beschreven, is de samenhang in de invoer voor het Deltamodel van groot belang voor het realiseren van de doelstelling van het Deltamodel. In onderhavig hoofdstuk wordt ingegaan op de diverse aspecten van deze samenhang en de hulpmiddelen die beschikbaar zijn bij het (samenhangend) beheren van de invoerinformatie.

9.2 Samenhang in basis informatie

Binnen de basis informatie is met name de samenhang in de gebiedsbeschrijving een punt van aandacht. Het gaat daarbij niet alleen om de samenhang en consistentie in de informatie over de watersystemen, maar ook over de keringen langs de watersystemen en de koppeling tussen delen van de waterkering en specifieke locaties in het watersysteem.

Veel van deze informatie is verspreid over verschillende bronnen (zoals projectarchieven) en bestanden. Inmiddels zijn scripts beschikbaar om de informatie uit deze basisbronnen te verzamelen in één centrale database. Binnen deze centrale database zijn bovendien scripts ontwikkeld om uit de verzamelde informatie invoerbestanden te genereren die voor de diverse stappen binnen het Deltamodel nodig zijn.

Deze vorm van informatiebeheer is niet primair bestemd voor het Deltamodel. Ze is ook nog in ontwikkeling en de documentatie moet bijvoorbeeld nog gestalte krijgen. Toch is het nu al een waardevol hulpmiddel voor het Deltamodel.

9.3 Samenhang in gebiedschematisaties

Voor het beheren en genereren van gebiedschematisaties voor waterstands- en golfmodellen bestaat een GIS omgeving, waarin Baseline het belangrijkste beheerinstrument is. Het is van groot belang dat eventuele wijzigingen in de gebiedschematisatie ook vanuit deze omgeving worden aangebracht en beheerd.

Het genereren van een gebiedschematisatie voor het golfmodel Bretschneider is momenteel nog niet goed aangesloten bij deze beheeromgeving. Wel is een *prototype* instrument ontwikkeld dat de Bretschneider gebiedschematisatie kan afleiden, met gebruikmaking van de bodembestanden uit Baseline en de gebiedscontouren in standaard GIS bestanden (Shape files). Ook dit prototype instrument kan een waardevol hulpmiddel zijn bij het op consistente en reproduceerbare wijze genereren van Deltamodel invoerbestanden.

9.4 Samenhang tussen de watersystemen

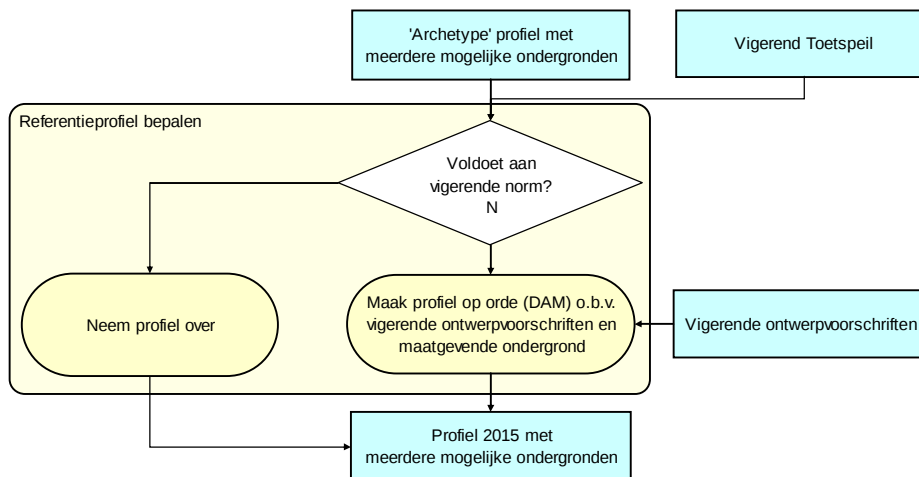
In paragraaf 3.2 is al aangegeven dat een waterveiligheidsbeschouwing niet kan worden uitgevoerd met één druk op een knop, maar moet plaatsvinden per watersysteem. Nu sluit de indeling in watersystemen gelukkig vrij goed aan bij de indeling in regionale Deelprogramma's. Maar het is zeker niet zo dat de watersystemen onafhankelijk van elkaar

beschouwd en behandeld mogen worden. Evenmin is het zo dat effecten tussen watersystemen altijd slechts één kant op gaan. Kortom: er is interactie tussen de Deelprogramma's nodig bij het voorbereiden van waterveiligheidsberekeningen.

Een voor de hand liggend voorbeeld van een ingreep in een watersysteem met effect op andere watersystemen is de verandering van de afvoerdeling over de Rijntakken.

9.5 Profielen in referentiesituatie

De dijken worden verondersteld in de referentiesituatie 'op orde' te zijn. De wijze waarop de dijkprofielen voor de referentiesituatie worden bepaald, wordt beschreven in (Van der Meij en Nugroho, 2012). De hoofdlijn van deze aanpak wordt weergegeven in het schema van Figuur 9.1. De basisgegevens van de dijkprofielen zijn overgenomen uit het programma WV21.



Figuur 9.1 De bepaling van het dijkprofiel in de referentiesituatie

Bij het toetsen op piping en het eventueel ontwerpen op piping is de vraag actueel met welke rekenregels gewerkt wordt: de resultaten kunnen aanzienlijk verschillen. In de voor het Deltamodel gehanteerde aanpak is bij het 'op orde maken' van de profielen uitgegaan van de nu vigerende methode (Sellmeijer, 1989).

De dijkprofielen in de referentiesituatie zijn van belang voor de Hydra berekeningen en de berekening van de HBN-referentiewaarden.

9.6 De bepaling van HBN-referentiewaarden in de referentiesituatie

Referentiewaarde toetspeil

De referentiewaarde van de veiligheidsopgaveparameter toetspeil is de Deltamodel benadering voor het vigerende toetspeil: de waterstand in de rivieras bij de vigerende normfrequentie.

Kritieke waarde golfoverslagniveau

De kritieke waarde voor het golfoverslagniveau in de referentiesituatie is simpelweg de kruinhoogte van het referentieprofiel.

Kritieke waterstand voor piping en voor macro instabiliteit binnenwaarts

De bepaling van de kritieke waterstand voor de geotechnische mechanismen piping en macro-instabiliteit binnenwaarts wordt beschreven in (Van der Meij en Nugroho, 2012). Kort gezegd komt de procedure er op neer dat voor een reeks waterstanden de mate van stabiliteit wordt bepaald, waarna door middel van interpolatie de waterstand wordt bepaald waarbij de stabiliteit een kritieke waarde aanneemt.

Zoals al in paragraaf 9.5 is gezegd voor het toetsen en ontwerpen, is ook bij de bepaling van de kritieke waterstand voor piping de vraag actueel met welke rekenregels gewerkt wordt: de resultaten kunnen aanzienlijk verschillen. In het Deltamodel wordt bij de bepaling van de kritieke waterstand voor piping uitgegaan van de methode gebaseerd op recente nieuwe inzichten (Förster et al, 2011).

Bij de bepaling van de kritieke waterstand voor macro-instabiliteit binnenwaarts moet nog worden opgemerkt dat de duur van de hoge waterstand een relevante invoerparameter is: in tegenstelling tot bij het mechanisme piping is de aanname van een stationaire situatie niet bruikbaar. Deze duur is nu op een vaste wijze gerelateerd aan het huidige fysische gedrag van (de waterstand in) het watersysteem: een lange duur op afvoergedomineerde gebieden en een korte duur bij windgedomineerde gebieden. Als het fysisch gedrag van het watersysteem (drastisch) wijzigt, dan moet de gehanteerde belastingduur - en daarmee de kritieke waterstand voor macro-instabiliteit binnenwaarts - herzien worden.

Kritieke waterstand voor buitendijks gebied

De kritieke waterstand voor buitendijks gebied moet handmatig ingevuld worden op basis van hoogtegegevens over (de randen van) het gebied. Verder is van belang dat er een eenduidige koppeling wordt gelegd tussen :

- de naam van het buitendijks gebied;
- de geografische positie en uitgestrektheid;
- het kritiek waterstandsniveau;
- de gekoppelde uitvoerlocatie in het watersysteem.

10 Aanwijzingen voor toepassing voor Deltaprogramma

10.1 Hoofdlijn

10.1.1 Procedure

De (start van de) toepassing van het Deltamodel in het kader van het Deltaprogramma kan er als volgt uitzien.

- I) Referentiesituatie
 - a. Start met de gegevens voor de referentiesituatie, met daarbinnen de basis dijkprofiel informatie zoals bekend uit WV21.
 - b. Gebruik deze informatie voor het uitvoeren van stap 1 en 2 van de veiligheidsbeschouwing op de referentiesituatie.
 - c. Gebruik de toetspeilen en golfoverslagniveaus uit stap 2 voor het op orde brengen van de profielen in de referentiesituatie.
 - d. Bepaal de HBN referentiewaarden voor de op orde gebrachte profielen.
 - e. Gebruik de HBN referentiewaarden in stap 3 van de veiligheidsbeschouwing van de referentiesituatie.
- II) Probleemanalyse
 - a. Schematiseer de scenario's
 - b. Voer de berekeningen uit
 - c. Vergelijk de veiligheidsopgaven met die voor de referentiesituatie
- III) Maatregelenpakket(en)
 - a. Schematiseer het maatregelenpakket: de variant voor gebiedsinrichting en waterbeheer
 - b. Combineer de variant met de scenario's voor de zichtjaren
 - c. Voer de berekeningen uit
 - d. Vergelijk de berekende veiligheidsopgaven met die voor de andere Cases
 - e. Herhaal stap IIIa tot en met IIId voor de andere maatregelenpakketten

In de voorgaande hoofdstukken zijn al vele aspecten van de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing aan bod gekomen die van belang zijn bij het gebruik van het instrument. Deze aspecten zijn daar voornamelijk behandeld in de context van de beschrijving van de generieke opbouw van het instrument. In onderhavig hoofdstuk worden aandachtspunten aangestipt in de context van het gebruik. Daarin staan scenario's en maatregelen, ofwel aanpassingen ten opzichte van de referentiesituatie, centraal.

Voor de scenario's zal worden aangegeven op welke plekken veranderingen nodig zijn ten opzichte van de referentiesituatie. Voor maatregelen wordt aangegeven op welke plekken veranderingen nodig zijn ten opzichte van hetzelfde zichtjaar en scenario zonder maatregelen (dus de bijpassende Case uit de knelpuntenanalyse).

De plaats waar de aanpassingen een rol in de berekening spelen wordt aangegeven in een tabel, waarvan Tabel 10.1 een voorbeeld is. In de tabel staan de gegevensblokken uit Figuur 3.1, 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.

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

Tabel 10.1 Voorbeeld van de generieke tabel voor de weergave van aan te passen data.

In de praktijk hoeft overigens de noodzaak tot aanpassing (herberekening) niet in alle gevallen voor alle watersystemen aan de orde te zijn. Dergelijke nuances worden echter niet getoond.

10.1.2 De maatregel 'standaard dijkversterking'

De maatregel 'standaard dijkversterking' wordt gezien als de 'default' maatregel voor het oplossen van de (resterende) veiligheidsopgave ten aanzien van binnendijkse veiligheid in iedere Case.

Daarom wordt aanbevolen deze maatregel te ontwerpen met behulp van de combinatie DAM-KOSWAT (De Grave en Baarse, 2011), op basis van de berekende veiligheidsopgave, dus als *nabewerking* op de Deltamodel berekening. DAM-KOSWAT is onderdeel van het Delta Instrumentarium maar is gepositioneerd buiten het Deltamodel. De DAM-KOSWAT combinatie bevat in essentie dezelfde tool als gebruikt bij het op orde maken van het profiel (paragraaf 9.6), maar maakt gebruik van meer gedetailleerde gebiedsinformatie en is nu bovendien meteen gekoppeld aan een berekening van de kosten van de dijkversterking.

10.2 Definitie van de referentiesituatie

De definitie van de referentiesituatie vormt een belangrijk onderdeel van de toepassing van het Deltamodel. Als basis voor de referentiesituatie wordt veelal gebruik gemaakt van de beschrijving die is gehanteerd in het WTI. Er zijn echter diverse onderwerpen die nog aan discussie onderhevig zijn, zoals

- uitgangspunt rivierafvoer-statistiek: met of zonder aftoppen
- uitgangspunt spuicapaciteit en peilbeheer IJsselmeer
- uitgangspunt dijkprofielen: "dijken op orde" (en met welke ontwerpnormen en piping regels?)

Voor de afvoerstatistiek en het 'op orde brengen' van de dijkprofielen kan vergaande consequenties hebben voor de referentiesituatie.

10.3 Verwerking van de Deltascenario's

10.3.1 Zeespiegelstijging

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 10.2 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 Rijnaafvoer 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 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 10.4 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 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 10.5 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 <i>stap 1</i>	fysica	Gebiedschematisatie	✗	
		Hydra database fysica IJM, MM	☑	
		Hydra database fysica (excl. IJM, MM)		✗
	statistiek	Statistiek stochasten (excl. IJM-peil)	✗	
		Statistiek IJsselmeerpeil		✗
Statistiek HBN <i>stap 2</i>		Profiel buitentalud	☑	
		Statistiek HBN		✗
Veiligheidsopgave <i>stap 3</i>		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 <i>stap 1</i>	fysica	Gebiedschematisatie	✗	
		Hydra database fysica IJM, MM	☑	
		Hydra database fysica (excl. IJM, MM)		✗
	statistiek	Statistiek stochasten (excl. IJM-peil)	☑	
		Statistiek IJsselmeerpeil		☑
Statistiek HBN <i>stap 2</i>		Profiel buitentalud	☑	
		Statistiek HBN		✗
Veiligheidsopgave <i>stap 3</i>		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 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 10.9 Aan te passen data bij verwerking inzet externe berging.

10.4.6 Nieuwe beweegbare keringen

Analyse-stap		Data	Buiten RF	Binnen RF
Gedrag watersysteem 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 10.10 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 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 10.11 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.

10.5 Beperkingen rekenmogelijkheden Deltamodel

Het effect van de volgende veranderingen op de waterveiligheid kan niet met de huidige Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing bepaald worden:

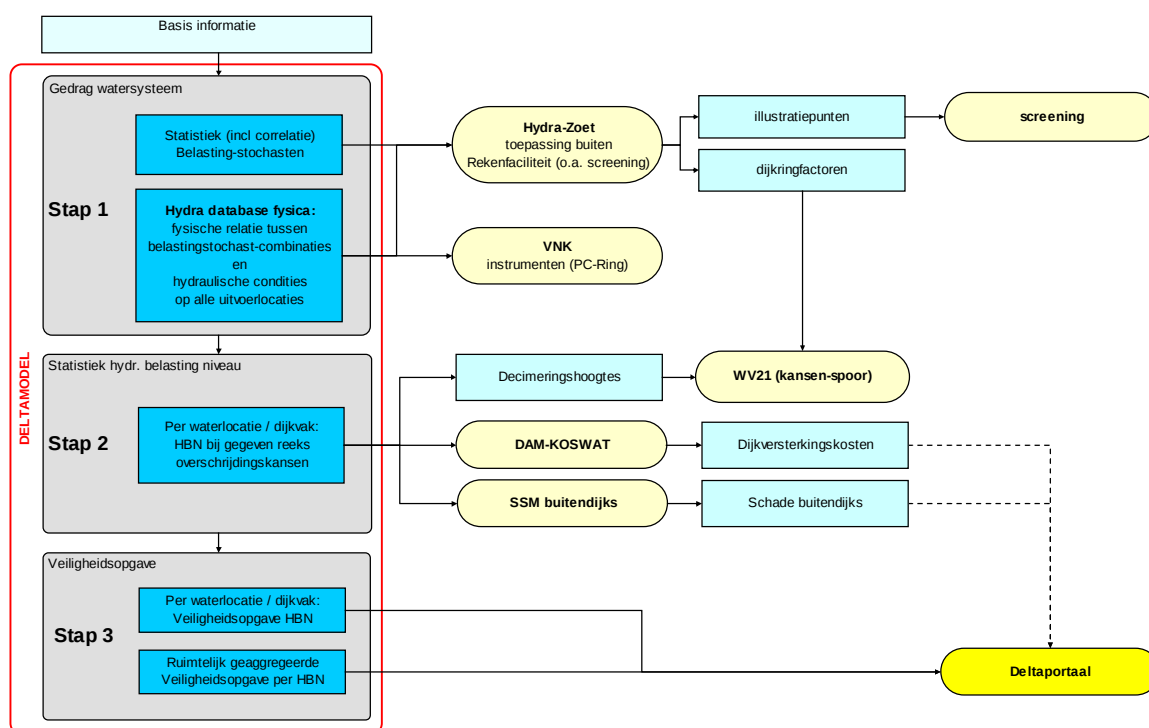
- Maatregelen in laag 2 en 3 van meerlaagsveiligheid;
- Effect van morfologie op dijkstabiliteit;
- Extra stochasten, zoals stormduur;
- Extra veiligheidsparameters.

11 Inbedding

11.1 Aansluiting op aanverwante gereedschappen

In deze paragraaf wordt kort¹³ ingegaan op de aansluiting met aanverwante gereedschappen buiten de Rekenfaciliteit van het Deltamodel.

De aansluiting op aanverwante gereedschappen is schematisch weergegeven in Figuur 11.1.



Figuur 11.1 Aansluiting Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing op aanverwante gereedschappen

De Hydra statistiek en de Hydra database fysica uit stap 1 zijn toepasbaar in Hydra-Zoet stand alone en in de VNK instrumenten (PC-Ring). Stand alone gebruik van Hydra-Zoet biedt onder andere de mogelijkheid om illustratiepunten te bepalen, die vervolgens gebruikt kunnen worden in de screening van maatregelen. Een andere toepassing van Hydra-Zoet betreft de dijkkring berekening. Daarmee kunnen de zogenaamde dijkkringfactoren worden bepaald, die nodig zijn in het kansen spoor binnen de norm-optimalisatie zoals uitgevoerd in WV21.

De overschrijdingsfrequentielijn van het Hydraulisch Belasting Niveau uit stap 2 kan gebruikt worden voor de WV21 aanpak en de bepaling van dijkversterkingskosten in DAM-KOSWAT en buitendijkse schade in SSM-Buitendijks.

13. Een uitvoeriger behandeling van (de toepassing van) deze externe gereedschappen valt buiten de scope van onderhavig document. Hierover is wel advies te verkrijgen bij Rijkswaterstaat Waterdienst en bij Deltares.

(Prototype) Pre-processing tools

Verwacht wordt dat het gebruik het Deltamodel wordt voorbereid door ter zake deskundigen. Deze deskundigen kunnen - onder voorwaarden - toegang krijgen tot de (prototype) hulp-instrumenten voor het aanmaken van invoerbestanden voor de waterveiligheidsbeschouwing, zoals:

- de centrale database met scripts voor het genereren van locatiebestanden, dijkprofielen en dergelijke;
- het berekenen van de bodemniveaus en strijklengtes voor de Bretschneider golfmodellering;
- het berekenen van de kritieke waterstandsniveaus voor piping en macro instabiliteit binnenwaarts met behulp van DAM.

11.2 Relatie met SLA - Modellen

Het Deltamodel en de SLA¹⁴ Modellen hebben een sterke aansluiting in doelstelling: beide zijn gericht op het verkrijgen en in stand houden van een eenduidige, samenhangende verzameling geborgde gereedschappen die van belang voor (de) primaire processen van Rijkswaterstaat. Het Deltamodel maakt daarom zo veel mogelijk gebruik van de modellen en instrumentaria die binnen de SLA in beheer en onderhoud zijn.

11.3 Samenhang met analysemethode zoetwatervoorziening

Beleid ten aanzien van waterveiligheid en beleid ten aanzien van zoetwatervoorziening moet uiteraard in onderlinge samenhang bepaald worden: wat gunstig is voor het ene kan immers negatief uitpakken voor het andere. Daarom wordt binnen het Deltamodel zowel de waterveiligheid als de zoetwatervoorziening beschouwd. In deze technische *beschouwing* van beide aspecten is de samenhang echter minder groot dan op het eerste gezicht verwacht zou worden.

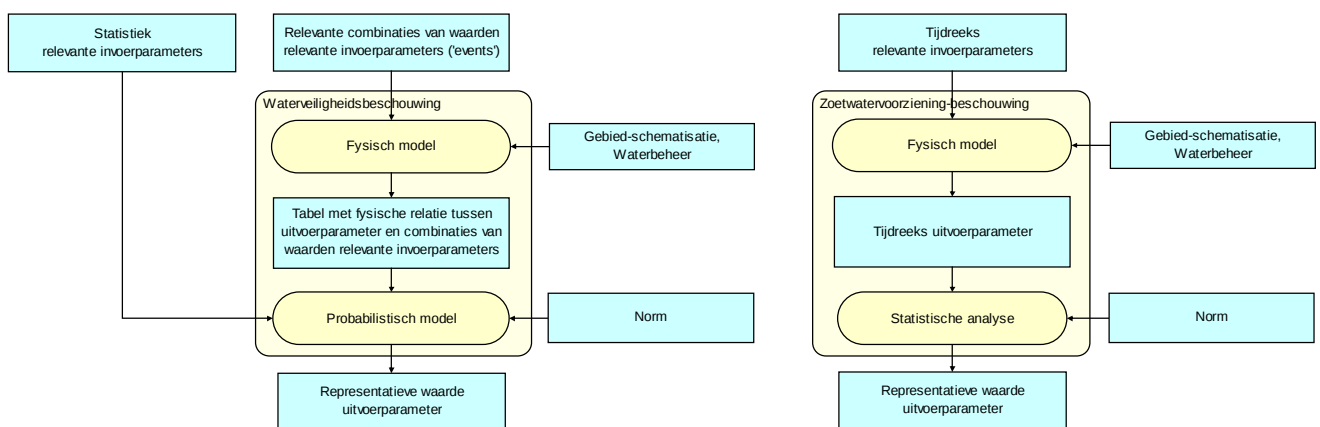
Uiteraard is in beide beschouwingen de berekening van waterstanden een cruciaal onderdeel. Ze maken dan ook beide gebruik van een fysisch model en een gebiedschematisatie. Ze trachten zoveel mogelijk gebruik te maken van dezelfde instrumenten en gegevens, die in beheer zijn onder de SLA Modellen. Maar de interessegebieden lopen in de praktijk al snel uiteen.

Belangrijke verschillen tussen beide beschouwingen zitten uiteraard in de beschouwde (uitvoer-) parameters. En zelfs als er overlap zit in de uitvoerparameter, zoals bij 'waterstand', dan verschilt het interessegebied: veiligheid kijkt naar hoge waterstanden en zoetwatervoorziening naar lage; veiligheid kijkt alleen naar het hoofdwatersysteem, zoetwatervoorziening veel breder. Dit alles betekent dat de instrumenten en relevante invoerparameters in beide beschouwingen verschillend zijn.

In beide beschouwingen spelen normen een rol. Het moet echter gezegd dat de normen bij waterveiligheidsbeschouwingen aanzienlijk specifiekere zijn dan bij de beschouwing van de zoetwatervoorziening. Een ander belangrijk verschil wat betreft de normen is dat bij waterveiligheidsbeschouwingen de normen veel strenger zijn, hetgeen betekent dat de

14. Service Level Agreement

relevante (maatgevende) condities veel zeldzamer zijn dan bij de beschouwingen van de zoetwatervoorziening. In een meetreeks van enkele decennia zijn de voor waterveiligheid relevante condities onvoldoende vertegenwoordigd. En een meetreeks van meer dan enkele decennia zou weinig soelaas bieden, omdat een dergelijke meetreeks hoogstwaarschijnlijk onvoldoende homogeen is als gevolg van klimaatverandering of veranderingen in het waterbeheer. Daarom vormt bij waterveiligheid niet een meetreeks van enkele decennia, maar de extreme waarden statistiek van de relevante invoerparameters de basis. Deze statistiek dient als invoer en kan daartoe eventueel handmatig worden aangepast op basis van de geschatte effecten van klimaatverandering. Dit verschil in benadering is schematisch weergegeven in Figuur 11.2.



Figuur 11.2 Verschil in aanpak tussen een beschouwing van de waterveiligheid en van de zoetwatervoorziening.

Uiteraard is de *basisvorm* van de extreme waarden statistiek bepaald door een statistische analyse op - toch ook weer - een meetreeks van de relevante invoerparameters. Bij de bepaling van de extreme waarden statistiek kan echter - naast de standaard statistische analyse op de meetreeks - ook gebruik gemaakt worden van inzichten in de fysica in situaties die extremer zijn dan in de meetreeks voorkomen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de discussie over de mogelijke invloed van bovenstroomse overstromingen op de afvoerstatistiek bij Lobith en Borgharen.

Merk overigens op dat meerpeilstatistiekbepaling (zie Figuur 5.1 in paragraaf 5.3) in feite een zoetwatervoorziening-aanpak betreft, hoewel deze methode óók iets beoogt te zeggen over zeer zeldzame gebeurtenissen. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de extrapolatie van de statistiek naar extreme waarden in de meerpeilstatistiekbepaling een zwak punt vormt. Buiten het kader van het Deltamodel bestaan momenteel initiatieven om de mogelijkheden te verkennen van een meer probabilistische aanpak voor de meerpeilstatistiekbepaling. Dit vloeit ondermeer voort uit de waterbeheer-problemen in Noord Nederland van begin 2012.

In beide beschouwingen kan de inzet van het fysisch model gepaard gaan met forse rekentijden, in het ene geval door het aantal te beschouwen 'events' en in het andere geval door de lengte van de te beschouwen tijdreeks.

12 Discussie

12.1 Ambitieniveau

Het oorspronkelijke ambitieniveau van het Deltamodel in termen van op te leveren type informatie, flexibiliteit en consistentie was aanzienlijk hoger dan met de beschikbare instrumenten gehaald kon worden. Benaderingen zijn nu zo gekozen dat de meest relevante aspecten voor wat betreft de afweging van de (meeste) maatregelen worden belicht, zoveel mogelijk in overeenstemming met de functionele specificaties (Kroon en Ruijgh, 2012). Een beknopt overzicht van de bereikte doelen en resterende beperkingen wordt hier nader gegeven.

12.2 Inventarisatie sterke punten

Hieronder volgt een opsomming van de sterke punten van de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing:

- De aansluiting bij 'sterke' methodes (status, bewezen, toegepast, geaccepteerd)
- De aansluiting bij bevindingen VNK: de faalmechanismen piping en macro instabiliteit binnenwaarts worden (met behulp van een vertaalslag) meegenomen
- De uniformeringslag op generiek niveau: de generieke dataflow
- De uniformeringslag op componenten: FEWS, Hydra-Zoet, databeheer
- De eenvoudige en toch veelzeggende generieke aggregatie (presentatie) van de veiligheidsopgave: inzicht zowel in tekorten als in overwaarde, reserve; en dus ook in veranderingen in beide.
- De expliciete koppelingen naar de omgeving (resultaten van aanverwante studies; mogelijkheden voor postprocessing)
- De ondersteunende tools
- De uitbreidbaarheid
- De modulaire opzet
- De stand alone¹⁵ toepasbaarheid van diverse componenten ten behoeve van testen, screening of nadere analyse.

12.3 Inventarisatie beperkingen

Flexibiliteit

De beschikbaarheid en toegankelijkheid van 'knoppen' aan de veiligheidsbeschouwing is beperkt, vooral in de ogen van buitenstaanders rond de waterveiligheidsbeschouwing.

Ruimtelijke scope

De waterveiligheidsbeschouwing beslaat bij lange na niet alle primaire keringen voor heel Nederland.

15. Dat wil zeggen: buiten de Rekenfaciliteit. Hierover is advies te verkrijgen bij Rijkswaterstaat Waterdienst en bij Deltares.

Alleen preventie

In aansluiting op de ambitie een *waterstaatkundig* gereedschap te zijn, ligt de focus van de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing bij het gedrag van het watersysteem: de preventie tegen overbelasting vanuit het watersysteem. Hiermee blijven maatregelen in laag 2 en 3 van de nagestreefde meerlaagsveiligheid echter buiten beeld.

Rekentijd

De volledige analyse van een 'Case' (zichtjaar-scenario-maatregel combinatie) kan zeer veel rekentijd vergen.

Referentiesituatie

De beschrijving van de referentiesituatie is nog niet eenduidig ingevuld. Diverse (nog te maken) keuzes daarin kunnen van grote invloed zijn op de veiligheidsbeschouwingen.

Landelijk rekenen

Een geautomatiseerde landelijke veiligheidsanalyse is niet mogelijk: de afstemming tussen watersystemen is niet geautomatiseerd en vergt derhalve handwerk.

Morfologie

De (natuurlijke) morfologie wordt niet binnen een waterveiligheidsbeschouwing uitgerekend. Een door morfologie gewijzigde bodemligging kan wel aan het Deltamodel worden aangeboden als invoer.

Ook het effect van ontgrondingskuilen op (de kans op) macrostabiliteit buitenwaarts kan niet met het Deltamodel uitgerekend worden. (Voor dit mechanisme is het *waterstandsverloop* bepalend, en het Deltamodel kijkt alleen naar *topwaterstanden*).

12.4 Onzekerheden¹⁶

Binnen het Deltamodel spelen verschillende vormen van onzekerheid een rol. Voor zover het Deltamodel echt iets doet met onzekerheden, kan dit 'er mee omgaan' per type onzekerheid nog verschillen.

Een belangrijke vorm van onzekerheid betreft de vraag welke gebeurtenissen in de toekomst zullen optreden. Deze vraag komt op tenminste twee plaatsen terug:

1. De onzekerheid over de klimatologische en socio-economische toestand in 2050 en 2100 wordt in rekening gebracht door verschillende scenario's te beschouwen. De scenario's vertegenwoordigen de buitenranden van het gebied van mogelijke (plausibele) realisaties. Er worden echter niet expliciet kansen toegekend aan de diverse scenario's. Het feitelijk omgaan met deze onzekerheid is een grotendeels beleidsmatige zaak.
2. De onzekerheid over het wel of niet optreden van een extreme storm en/of rivierafvoer wordt in rekening gebracht in de veiligheidsbeschouwing. De veiligheidsbeschouwing is gekoppeld aan de gehanteerde veiligheidsnormen, die zijn geformuleerd in termen van een (zeer kleine) toegestane faalkans per jaar. In de vigerende veiligheidsbeschouwing

16. De tekst van deze paragraaf is vrijwel integraal overgenomen uit de definitiestudie (De Waal, 2011a).

wordt dan ook expliciet gerekend met de kans (per jaar) op een extreme gebeurtenis in termen van een storm en/of rivierafvoer. Deze kansen volgen uit de extreme waarden statistiek van de afvoer en wind, die behoren bij een gegeven klimaat. In het bovenrivierengebied hoeft in (de meeste onderdelen van) de veiligheidsbeschouwing de statistiek van slechts één stochast expliciet in rekening gebracht te worden, namelijk van de rivierafvoer. In dat geval wordt gesproken van een deterministische berekening van de veiligheid. In alle andere gebieden moet de statistiek van meer dan één stochast expliciet in rekening gebracht te worden. Dan hanteert men een probabilistische berekening. Het omgaan met deze onzekerheid is in de huidige praktijk een modeltechnische zaak: het rekenmodel (Hydra) geeft eenduidige rekenresultaten. Het is echter van groot belang te beseffen dat in deze 'eenduidige rekenresultaten' alléén de statistiek van de stochasten is verdisconteerd; alle andere onzekerheden zijn buiten beschouwing gelaten.

In aansluiting op het laatste geldt dat inzicht in de rol van onzekerheden in veel bredere zin noodzakelijk is: ook de rol van de onzekerheden waar het Deltamodel nu niets mee doet, moet in beeld gebracht worden. Het is namelijk niet op voorhand duidelijk wat het onderscheidend vermogen is van de gehanteerde informatie en gehanteerde rekenmethode. Het moet enigszins duidelijk worden in hoeverre straks gevonden verschillen in effecten van maatregelen 'significant' zijn.

Er zijn (tenminste) drie onderwerpen waarvoor een verkennende gevoeligheidsstudie naar de rol van onzekerheden in de berekende effecten op waterveiligheid op z'n plaats lijkt, namelijk de wind, de sterkte van de waterkeringen en de specificatie van de referentiesituatie.

13 Samenvatting

13.1 Overzicht

In dit rapport is uiteengezet op welke wijze invulling is gegeven aan de functionele specificaties voor het Deltamodel onderdeel waterveiligheidsbeschouwingen.

De kern van de waterveiligheidsbeschouwing wordt gevormd door het probabilistische model Hydra-Zoet en de achterliggende WTI aanpak. Belangrijke aanpassingen ten behoeve van de Deltamodel toepassing zaten slechts ten dele in Hydra-Zoet zelf. Voor een belangrijk deel zaten de aanpassingen in de generieke productie van invoer voor Hydra: de Hydra database fysica en de Hydra statistiek. Ook is een generieke vorm van postprocessing geïmplementeerd, waarmee een goed overzicht verkregen kan worden van de waterveiligheidsopgave, zowel lokaal als ruimtelijk geaggregeerd.

Aan de hand van schema's is aangegeven op welke wijze de diverse functionaliteiten binnen de veiligheidsbeschouwing op elkaar aansluiten en hoe de diverse gegevens verwerkt worden tot de uiteindelijk gewenste veiligheidsopgaveparameters. Al beschrijvend zijn diverse beperkingen van het instrument verklaard en zijn aandachtspunten bij het gebruik van het instrument vermeld.

Vervolgens is de praktijk voor een reeks (mogelijke) toepassingen van het Deltamodel kort beschreven en is aandacht besteed aan de inbedding van het instrument in de omgeving. Tot slot zijn sterke en zwakke punten benoemd in een discussie.

Sterke punten van de waterveiligheidsbeschouwing in Deltamodel 1.0 zijn:

- De aansluiting bij 'sterke' methodes (status, bewezen, toegepast, geaccepteerd);
- De aansluiting bij bevindingen VNK: de faalmechanismen piping en macro instabiliteit binnenwaarts worden (met behulp van een vertaalslag) meegenomen;
- De uniformeringslag op generiek niveau: de generieke dataflow;
- De uniformeringslag op componenten: FEWS, Hydra-Zoet, databeheer;
- De eenvoudige en toch veelzeggende generieke aggregatie (presentatie) van de veiligheidsopgave: inzicht zowel in tekorten als in overwaarde, reserve; en dus ook in veranderingen in beide;
- De expliciete koppelingen naar de omgeving (resultaten van aanverwante studies; mogelijkheden voor postprocessing);
- De ondersteunende tools;
- De uitbreidbaarheid;
- De modulaire opzet;
- De stand alone toepasbaarheid van diverse componenten ten behoeve van testen, screening of nadere analyse.

Beperkingen zijn:

Flexibiliteit: Vooral in de ogen van buitenstaanders rond de waterveiligheidsbeschouwing is de beschikbaarheid en toegankelijkheid van 'knoppen' aan de veiligheidsbeschouwing beperkt.

Ruimtelijke scope:	De waterveiligheidsbeschouwing beslaat bij lange na niet alle primaire keringen van heel Nederland.
Alleen preventie:	In aansluiting op de ambitie een waterstaatkundig gereedschap te zijn, ligt de focus van de waterveiligheidsbeschouwing bij het gedrag van het watersysteem: de preventie tegen overbelasting vanuit het watersysteem. Hiermee blijven maatregelen in laag 2 en 3 van de nagestreefde meerlaagsveiligheid echter buiten beeld.
Rekentijd:	De volledige analyse van een 'Case' (zichtjaar-scenario-maatregel combinatie) kan zeer veel rekentijd vergen.
Landelijk rekenen:	Een geautomatiseerde landelijke veiligheidsanalyse is niet mogelijk: de afstemming tussen watersystemen is niet geautomatiseerd en vergt derhalve handwerk.
Referentiesituatie:	De beschrijving van de referentiesituatie is nog niet eenduidig ingevuld. Diverse (nog te maken) keuzes daarin kunnen van grote invloed zijn op de veiligheidsbeschouwingen.
Morfologie:	De (natuurlijke) morfologie wordt niet binnen een waterveiligheidsbeschouwing uitgerekend. Een door morfologie gewijzigde bodemligging kan wel aan het Deltamodel worden aangeboden als invoer. Ook het effect van ontgrondingskuilen op (de kans op) macrostabiliteit buitenwaarts kan niet met het Deltamodel uitgerekend worden. (Voor dit mechanisme is het waterstandsverloop bepalend, en het Deltamodel kijkt alleen naar topwaterstanden).

13.2 Aanbevelingen

Aanbevelingen voor vervolg acties bij versie 1.0

De belangrijkste aanbevelingen voor de korte termijn zijn:

- Doe praktijkervaring op met het gebruik van het instrument. Dit kan zowel in de vorm van nadere testen, als in de vorm van serieuze berekeningen zoals beschreven in paragraaf 10.1.1.
- Verzamel informatie over voorlanden en neem deze informatie mee in de Hydra berekeningen met betrekking tot het golfoverslagniveau en in (her-)bepaling van de referentieprofielen en de HBN referentiewaarden.
- Organiseer de (ongetwijfeld gewenste) gebruikersondersteuning.
- Werk (de organisatie van) het beheer en onderhoud van het instrument en de data nader uit.

Aanbevelingen voor eventuele vervolg versies, korte termijn

De wensen ten aanzien van de aanpassingen aan het instrumentarium zouden primair moeten komen vanuit de gebruikersgroep en dus vanuit de (eerste) praktijkervaringen met het instrument, zoals hierboven beschreven.

Daarnaast zijn nu reeds verbetermogelijkheden geïdentificeerd, die wellicht ook door gebruikers aangedragen of ondersteund zullen worden:

- Regel verdergaande ondersteuning bij het schematiseren en het beheren van schematisaties.
- Regel verdergaande ondersteuning van de vervolganalyses met betrekking tot waterveiligheid in het Delta-instrumentarium.

- Zorg voor een betere inbedding van de visuele analyse van de veiligheidsopgave in de Rekenfaciliteit.
- Reduceer de rekentijd: vervang voor de berekening van de waterstanden in het watersysteem Vecht- IJsseldelta, en eventueel ook in de Maas, het Waqua model door een Sobek model.
- Werk een methode uit voor het (slimmer) combineren van informatie over meerdere faalmechanismen tot één veiligheidsopgave.
- Verken de mogelijkheden voor een verdergaande koppeling tussen Hydra en DAM.
- Breid de ruimtelijke scope uit met (een selectie van) categorie c keringen, denk aan de Hollandsche IJssel en de Veluwe Randmeren.

Punt van zorg bij het aanbrengen van wijzigingen in het instrument is dat een eventuele herhaling van reeds uitgevoerde - en goedgekeurde - berekeningen met het aangepaste instrument niet mag leiden tot een (significante) wijziging in de resultaten. Dit vormt een belangrijk onderwerp bij de organisatie van het beheer en onderhoud van het instrument.

Aanbevelingen voor eventuele vervolg versies, langere termijn

Voor de wat langere termijn worden de volgende aanbevelingen gegeven:

- Breid de Deltamodel waterveiligheidsanalyses uit tot landsbrede analyses, dus inclusief de Kust, de Wadden en de Scheldes.
- Neem inzichten en deelresultaten (instrumenten) over uit het programma SBW/WTI2017.

14 Referenties

- Bruggeman, W., Haasnoot, M., Hommes, S., Linde, A. te, Brugge, R. van der, Rijken, B., Dammers, E., Born, G van den, 2011. Deltascenario's. Omgevingsscenario's voor probleemanalyse en strategieverkenning in het Deltaprogramma 2011-2012. Deltares en PBL, 2011.
- Chbab, E.H., 2012a. Achtergrondrapport WTI-2011 voor de Vechtdelta. Concept hydraulische randvoorwaarden HR2011 voor de Vechtdelta. Deltares rapport 1204143-003, juli 2012.
- Chbab, E.H., 2012b. Achtergrondrapport WTI-2011 voor de Benedenrivieren. Concept hydraulische randvoorwaarden HR2011 voor de Benedenrivieren. Deltares rapport 1204143-003, augustus 2012.
- Chbab, E.H., Kieftenburg, A.T.M.M., 2012. Achtergrondrapport WTI-2011 voor IJsselmeer. Concept hydraulische randvoorwaarden HR2011 voor het IJsselmeer, Ketelmeer en Vossemeer. Deltares rapport 1204143-003, juli 2012.
- Duits, M.T., Kuijper, B., 2012a. Hydra-Zoet. Gebruikershandleiding. Versie 1.6. HKV Lijn in Water rapport PR1564, juli 2012.
- Duits, M.T., Kuijper, B., 2012b. Hydra-Zoet. Handleiding geavanceerde gebruikers. Versie 1.6. HKV Lijn in Water rapport PR1564, juli 2012.
- Duits, M.T., Kuijper, B., 2012c. Hydra-Zoet. Systeemdokumentatie. Versie 1.6. HKV Lijn in Water rapport PR1564, juli 2012.
- Förster, U, Ham, G.A. van den, Calle, E.O.F., Kruse, G.A.M., 2011. Technisch rapport zandmeevoerende wellen - Herziene versie. Deltares rapport 202123-003-GEO-0002, 15 augustus 2011.
- Geerse, C.P.M., 2010. Overzichtsdocument probabilistische modellen zoete wateren. Hydra-VIJ, Hydra-B en Hydra-Zoet. HKV Lijn in Water rapport PR1391.10, juli 2010.
- Geerse, C.P.M., Duits, M.T., 2012. Sommensets Deltamodel. Bepalen van de ideale sets van sommen per watersysteem. Concept. HKV PR2327
- Geerse, C.P.M., Zethof, M., 2011. Invloed op waterstanden en kruinhoogten van correlatie tussen afvoer, wind en zeewaterstand. Gevoeligheidsonderzoek met Hydra-Zoet. HKV Lijn in Water rapport PR2253, oktober 2011.
- Grave, P. de, Baarse G., 2011, Kosten van maatregelen, informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21e eeuw. Deltares rapport 1202129-004, maart 2011.
- Hoonhout, B., 2012. Handleiding Meerpeilstatistiek. Handleiding voor de vertaling van een Deltascenario naar peilstatistiek voor meren. Deltares rapport 1204151-009, 2012.

- Kramer, N.L., 2011. Veiligheidsmodellen voor het Deltamodel in de Oosterschelde. Deltares rapport 1203803, juni 2011.
- Kramer, N.L., Meurs, G.A.M. van, 2010. Uitwerking gevolgen peilverandering IJsselmeergebied. Een eerste indicatie. Deltares rapport 1202357-002, 2010.
- Kroon, T., Ruijgh, E., 2012. Deltamodel. Functionele specificaties, kwaliteitseisen en opbouw Deltamodel. Deltaprogramma, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijkswaterstaat Waterdienst rapport, Versienummer 1.1, 1 juli 2012.
- Lammers, I.B.M., Kok, M., 2006. Belang van windmodellering voor Hydraulische Randvoorwaarden. Achtergrondrapport. HKV Lijn in Water rapport PR1072.10, juni 2006.
- Meij, R. van der, Nugroho, D., 2012. Koppeling Deltamodel en DAM. Achtergronden DAM en pilotstudie voor de koppeling. Deltares rapport 1205954-001-ZWS-0001, *verwacht: najaar 2012*.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007. Hydraulische Randvoorwaarden Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR 2006). Ministerie van Verkeer en Waterstaat rapport, september 2007.
- Sellmeijer, J.B. (1989). On the Mechanism of Piping under Impervious Structures. PhD thesis, TU Delft, 1989.
- Slootjes, N., Karelse, M.K., Kruchten, Y.J.G. van, Louters, T., Bulthuis, J., Goederen, S. de, Slager, J.W., Slomp, R., 2010. Gevoeligheidsanalyse Waterberging Zuidwestelijke Delta. Hoofdrapport. Rijkswaterstaat, DHV, HKV Lijn in Water, rapport, 22 juni 2010.
- Slootjes, N., Waal, H. de, 2010. Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden. Uitgangspunten en randvoorwaarden berekeningen waterveiligheid – keuzenotitie. HKV Lijn in Water en Deltares memorandum PR1997.10, 22 september 2010.
- Smale, A.J., 2007. Windklimaatscenario's Hydra's. Witteveen en Bos rapport RW 1691-1, 20 november 2007.
- Velzen, E.H. van, 2011. Overstromingskansen - Informatie ten behoeve van het project Waterveiligheid 21e eeuw. Deltares rapport 1204144-002, maart 2011.
- Vos, R., 2010. Inventarisatie van modelinstrumentarium voor het berekenen van effect van klimaatverandering op de MHW's, golfbelasting en kruinhoogtes op de Oosterschelde. Memo, versienummer 3. Rijkswaterstaat, november 2010.
- Vuren, S. van, Versteeg, R., Luijn, F. van, Kroon, T., 2012. Handreiking toepassing Deltamodel. Deltaprogramma, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijkswaterstaat Waterdienst rapport, *verwacht: najaar 2012*.
- Waal, J.P. de, 2003. Windmodellering voor bepaling waterstanden en golven. Een analyse van de bouwstenen. Rijkswaterstaat RIZA, RIZA werkdocument 2003.118x, juli 2003.

Waal, J.P. de, 2007. Achtergrondrapport HR 2006 voor de Benedenrivieren. Thermometerrandvoorwaarden 2006. RWS RIZA rapport 2007.023, 2007.

Waal, J.P. de, 2008. Windgolven in HR2011 voor rivieren. Voorstudie naar noodzaak modelverbetering. Deltares rapport Q4571.21, december 2008.

Waal, J.P. de, 2011. Deltamodel 2010. 9. Rekenkern Deltamodel. Definitiestudie effectmodellen waterveiligheid. Deltares rapport 1202134-016, maart 2011.

.

A Generiek Stroomschema

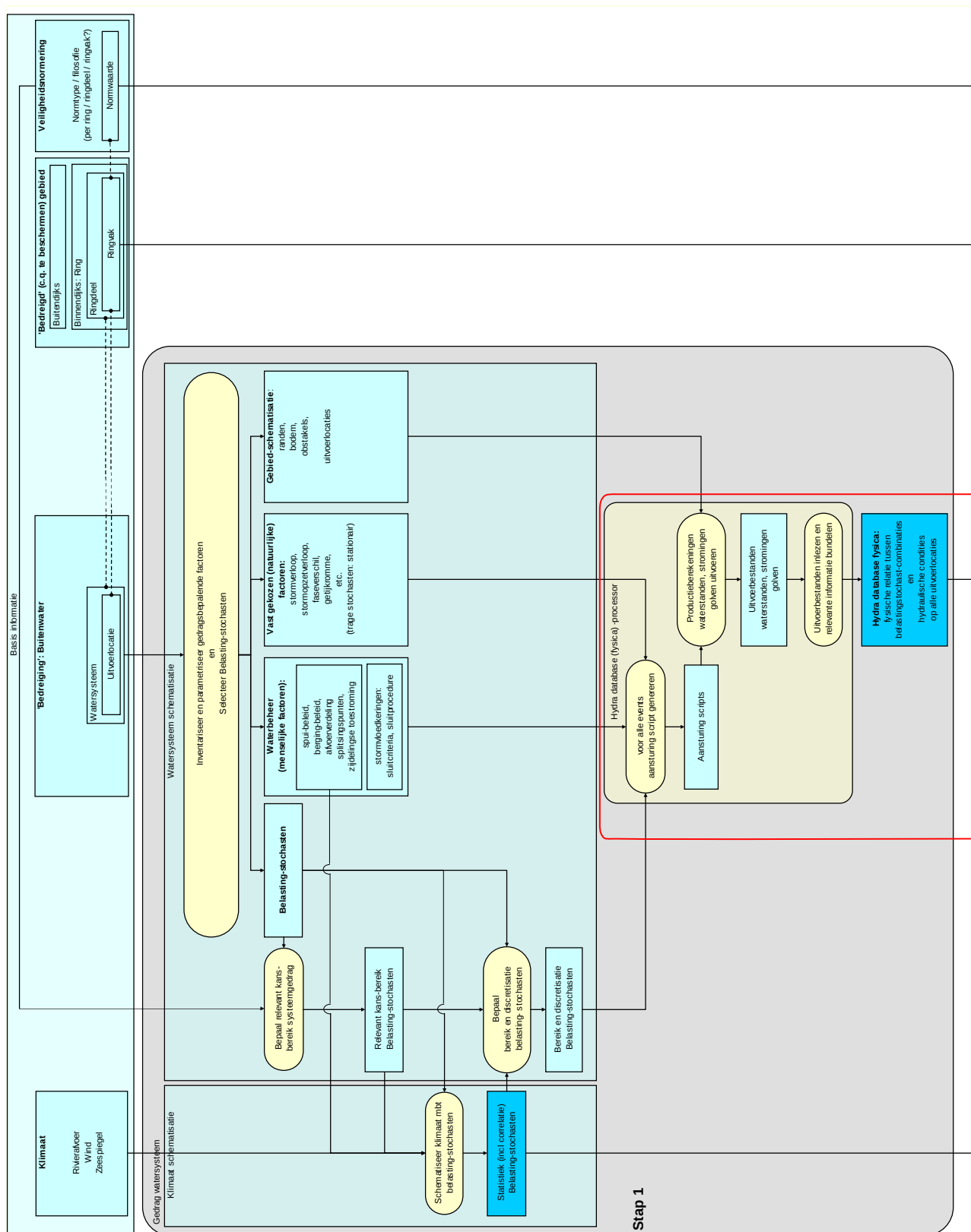
Verdeeld over de volgende twee pagina's staat een generiek stroomschema van informatie en bewerkingen in de Deltamodel 1.0 waterveiligheidsbeschouwing.

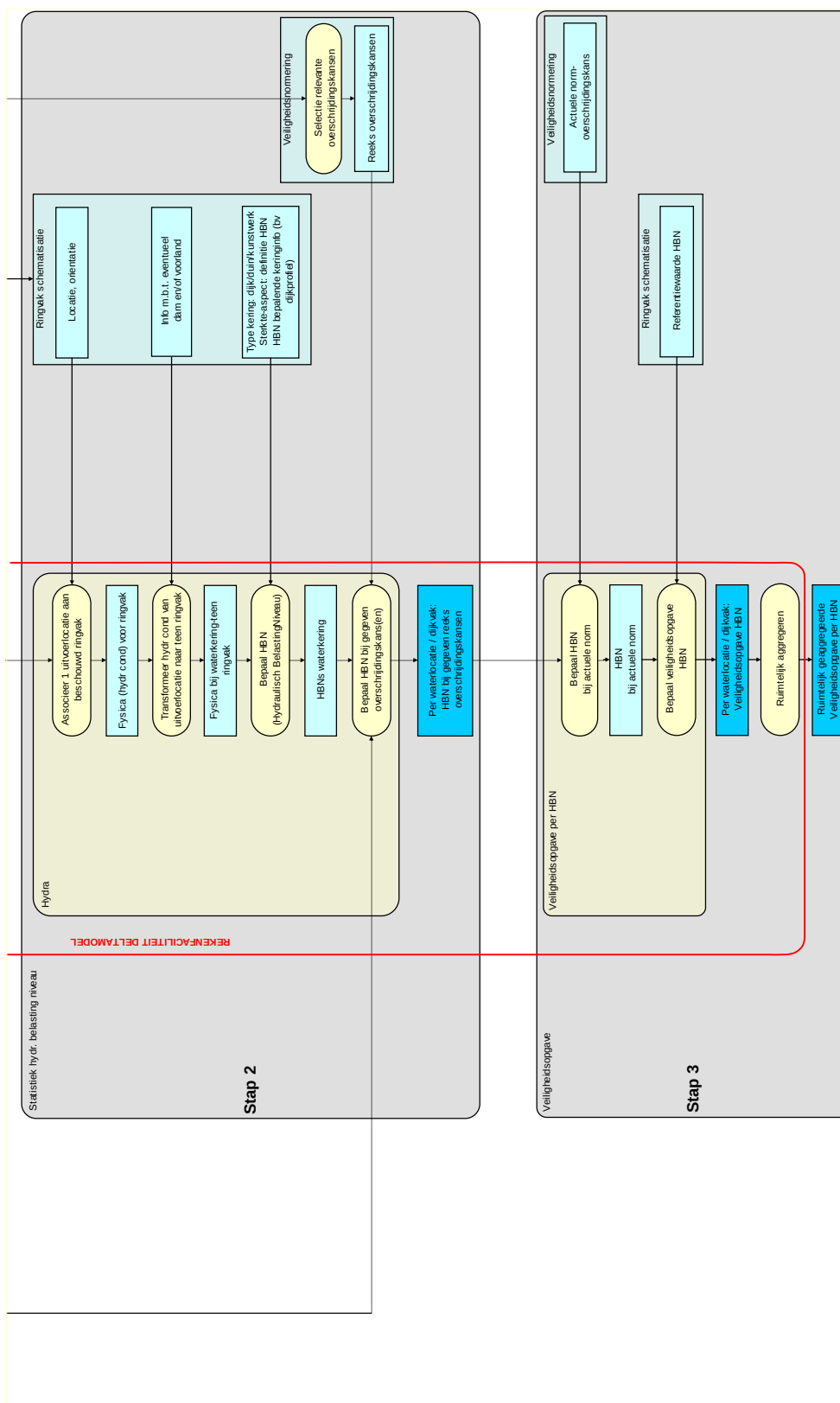
Het schema is opgebouwd uit de volgende elementen:

- Blauwe blokken met rechte randen bevatten informatie, data.
- Gele blokken met afgeronde randen bevatten bewerkingen (die al of niet geautomatiseerd zijn in de vorm van software).
- Pijlen geven de richting van de gegevensstroom weer: van of naar een bewerking.
- De drie grijze blokken geven de drie belangrijkste stappen (fasen) in het totale proces weer.

Zowel data als bewerkingen kunnen geclusterd worden tot blokken, waarvoor weer dezelfde vorm- en kleurgeving gehanteerd wordt. Speciale gevallen zijn:

- Het *roodomlijnde* blok met afgeronde randen betreft de geclusterde bewerkingen die deel uitmaken van de Rekenfaciliteit
- *Donkerblauwe* blokken met rechte randen bevatten cruciale tussenresultaten, die herbruikbaar zijn binnen de Rekenfaciliteit en exporteerbaar zijn ten behoeve van toepassing en analyse buiten de Rekenfaciliteit.





B Positionering Oosterschelde

B.1 Inleiding

Probleem- en doelbeschrijving

In de oorspronkelijke plannen met betrekking tot de waterveiligheidsbeschouwingen in het Deltamodel is steeds aangenomen dat het watersysteem Oosterschelde binnen de scope ligt van het Deltamodel. Onderzocht is of deze aanname wel correct is; het faciliteren van de veiligheidsbeschouwingen voor de Oosterschelde lijkt forse investeringen te vergen, terwijl het voor de Deltabeslissingen wellicht niet nodig is om veiligheidsbeschouwingen voor dit watersysteem uit te voeren.

Aanpak

In deze analyse wordt iets dieper ingegaan op de (vermoedelijke) behoeftes aan veiligheidsbeschouwingen voor de Oosterschelde, de vraag in hoeverre het Deltamodel daarin zou *moeten* voorzien en op welke wijze dat laatste *kan* worden ingevuld.

B.2 Probleemanalyse

B.2.1 De behoefte aan veiligheidsbeschouwingen

Veiligheidsissues Oosterschelde

De (mogelijke) behoefte aan veiligheidsbeschouwingen vloeit voort uit:

- Zeespiegelstijging
- Morfologie (afvlakking ondiepe platen, erosie vooroevers)
- (Mogelijke) Berging rivierwater (bijdrage aan veiligheid Rijnmond Drechtsteden in geval van een combinatie van hoge rivierafvoer en stormopzet op zee)

Maatregelen

Afgezien van (eventuele) dijkversterking en/of aanpassingen met betrekking tot de huidige stormvloedkering (constructie, beheer) zijn op dit moment geen maatregel-voorstellen bekend die ten doel hebben de negatieve effecten van de Deltascenario's op de waterveiligheid in de Oosterschelde te verzachten. Voor andere doelen dan de bevordering van de waterveiligheid is wel de mogelijke maatregel 'verwijdering van de stormvloedkering' geopperd. Het is onduidelijk of deze optie echt serieus genomen (en dus volledig op waterveiligheidseffecten doorerekend) moet worden.

B.2.2 De beschikbare middelen voor veiligheidsbeschouwingen

Voor volwaardige veiligheidsbeschouwingen in de Oosterschelde zijn modellen nodig voor de berekening van de waterstanden, de golven en de probabilistiek. Gezien de achtergrond van de behoefte aan veiligheidsbeschouwingen bestaat hierbij waarschijnlijk bovendien behoefte aan een model voor de berekening van de morfologie.

Een inventarisatie van de momenteel beschikbare modellen is al eerder beschreven en van commentaar voorzien in (Vos, 2010) en (Kramer, 2011). Ten behoeve van het overzicht worden hieronder per modeltype de momenteel beschikbare modellen nog even kort beschreven:

Waterstanden

IMPLIC	1D model, gebruikt voor waterstanden in de oorspronkelijke - en nu nog steeds vigerende - WTI voor de Oosterschelde, niet in gebruik noch in beheer bij Deltares. (Het originele IMPLIC model uit 1985 is niet meer beschikbaar. Er is alleen een IMPLIC model voor de sturing van de Oosterschelde kering beschikbaar).
SOBEK	1D model, de standaard voor 1D waterstandsmodellering in Deltamodel, in beheer bij Deltares. Geen nette schematisatie beschikbaar, wel twee opties als mogelijk startpunt: a) versie afleidbaar vanuit landelijk model voor analyse zoetwaterverdeling (inclusief zeerand en gedrag stormvloedkering??) b) versie beschikbaar vanuit verkenning mogelijke rol rivierwaterberging t.b.v. waterveiligheid ZWD (inclusief zeerand en gedrag stormvloedkering?)
WAQUA	2D model, de standaard voor 2D waterstandsmodellering in Deltamodel, in beheer bij Deltares. Geen schematisatie beschikbaar voor de Oosterschelde. Binnen oplevertermijn van Deltamodel ook niet realiseerbaar.

Golven

Bretschneider	Zeer eenvoudig golfmodel, feitelijk een puntmodel, standaard voor eenvoudige golfberekeningen binnen Deltamodel. Schematisatie niet beschikbaar, waarschijnlijk wel eenvoudig te realiseren. Echter niet zinvol omdat het (hier zeer relevante) effect van ruimtelijke variatie in bodemligging zeer slecht wordt verdisconteerd.
SWAN	State of the art 2D golfmodel, standaard voor degelijke golfberekeningen binnen Deltamodel, in beheer bij Deltares. Gebruikt voor vigerende WTI, dus wel oude SWAN-versie en oude Schematisatie. Waarschijnlijk eenvoudig te updaten naar Deltamodel versie van SWAN.

Probabilistiek

Hydra-K	Operationeel in vigerende WTI. Twijfels bij modelopzet voor Oosterschelde, onderwerp van SBW studie. Experts verschillen van mening over mogelijkheid (betrouwbaarheid) van verdiscontering zeespiegelstijging (experiment loopt momenteel). In beheer bij Deltares.
Hydra-Zoet	Kern van waterveiligheidsbeschouwing Deltamodel, maar niet operationeel voor Oosterschelde. Implementatie betreffende formules vergt waarschijnlijk significante investering. In beheer bij Deltares.
PC-Ring	Operationeel voor VNK2. Sterk onderzoeksmodel -profiel. Inbedding in Deltamodel gebruiksomgeving vergt investering en past eigenlijk niet goed naast de gekozen Hydra-Zoet -lijn. Niet in beheer bij Deltares.
Prestatiepeilen	In gebruik voor analyse van de stormvloedkering. Veel aandacht voor faalvarianten stormvloedkering. Eigendom van RWS-DI, niet in beheer bij Deltares.

Morfologie

Voor de modellering van de morfologie van de Oosterschelde zijn geen modellen bekend.

B.2.3 Criteria voor opname in Deltamodel

Binnen de scope van het Deltamodel?

Voor opname van een watersysteem binnen de scope van het Deltamodel moet sprake zijn van:

- a) het hoofdwatersysteem (waterkeringen van de categorie a en b)
- b) een rol van de problematiek en mogelijke maatregelen in het betreffende gebied bij het nemen van de samenhangende Deltabeslissingen.

Merk op dat de watersystemen Westerschelde, Kust en Wadden buiten de scope van het Deltamodel vallen vanwege het ontbreken van de onder b genoemde rol.

De cruciale vraag blijkt hier te zijn of de Oosterschelde (in een rol als berging) kan bijdragen aan de veiligheid van de regio Rijnmond Drechtsteden:

- zo ja, dan zal de veiligheid van de Oosterschelde zelf óók in het Deltamodel in kaart gebracht moeten worden. En daarbij zullen dan ook de effecten van de zeespiegelstijging, de morfologie en de mogelijke maatregelen m.b.t. de stormvloedkering meegenomen moeten worden.
- zo nee, dan valt de Oosterschelde in dezelfde categorie watersystemen als de Westerschelde, Kust en Wadden, en valt dus buiten de scope van het Deltamodel.

Binnen de doelstellingen en randvoorwaarden van het Deltamodel?

Het Deltamodel beoogt te bestaan uit een samenhangende en consistente set instrumenten. Samenhang, consistentie en uniformiteit zijn belangrijke trefwoorden. Andere belangrijke eisen aan het Deltamodel zijn dat het

- kan rekenen op draagvlak (d.w.z. aansluit op instrumenten die zichzelf al hebben bewezen en op rekenresultaten die 'gemeengoed' zijn);
 - goed toepasbaar is;
 - reproduceerbare resultaten oplevert;
- En uiteraard moet de oplevering haalbaar zijn binnen de beschikbare hoeveelheid tijd en budget.

Voor veiligheidsbeschouwingen in de Oosterschelde kan hoogstwaarschijnlijk niet in alle opzichten aan bovengenoemde doelstellingen, eisen en randvoorwaarden worden voldaan. Als de Oosterschelde binnen de scope van de veiligheidsbeschouwingen valt, dan zullen pragmatische keuzes gemaakt moeten worden.

B.2.4 Cruciale vragen

1. Is waterberging in de Oosterschelde t.b.v. veiligheid Rijnmond Drechtsteden een reële optie?

N => De veiligheidsbeschouwing Oosterschelde valt niet binnen de scope van het Deltamodel. => klaar

J => De veiligheidsbeschouwing Oosterschelde valt wel binnen de scope van het Deltamodel. Er is een probabilistisch model nodig.
=> ga naar vraag 2.

2. Zijn maatregelen m.b.t. de Oosterschelde Stormvloedkering reëel en/of nemen we morfologie mee in het Deltamodel?

N => Het fysisch gedrag van het watersysteem verandert niet noemenswaardig => er zijn geen nieuwe productieberekeningen fysica nodig, dus ook geen model voor waterstanden, golven (en morfologie).
=> klaar

J => Er zijn nieuwe productieberekeningen fysica nodig.
=> ga naar vraag 2a en 2b

2a. Zijn maatregelen m.b.t. de Oosterschelde Stormvloedkering reëel?

N => Alleen de zeespiegel verandert => de probabilistische benadering van het effect van de zeespiegelstijging op de waterstanden is acceptabel => de waterstanden hoeven niet opnieuw berekend te worden => er is geen waterstandsmodel nodig.

J => De waterstanden moeten opnieuw berekend te worden => er is een waterstandsmodel nodig.

2b. Nemen we morfologie mee in het Deltamodel?

N => De golven en morfologie hoeven niet opnieuw berekend te worden => er is geen morfologiemodel en geen golfmodel nodig.

J => De golven en morfologie moeten opnieuw berekend te worden => er is een morfologiemodel en een golfmodel nodig.

B.3 Aanpak

We kiezen de volgende aanpak:

Vooralsnog verwachten we 'nee' als antwoord op 'cruciale vraag' 1. We gaan na in hoeverre reeds uitgevoerde berekeningen en rapportage m.b.t. deze cruciale vraag 1 al tot heldere conclusies hebben geleid en of deze voldoende status hebben. Als die status onvoldoende is, dan zorgen we zelf voor de benodigde berekeningen en rapportage.

We ronden de reeds lopende verkenning naar de bruikbaarheid van Hydra-K als probabilistisch model af. Het resultaat van deze verkenning kan hoe dan ook van belang zijn voor Deelprogramma Zuidwestelijke Delta.

B.4 Uitvoering

Uit nadere studie is gebleken dat de betreffende analyses voldoende status hebben: ze zijn goed gedocumenteerd in (Slootjes et al, 2010). En inderdaad is de conclusie dat de mogelijke bijdrage van de Oosterschelde aan de veiligheid van de regio Rijnmond Drechtsteden niet significant is:

"Waterberging op de Oosterschelde heeft geen toegevoegde waarde als aanvullende maatregel bij waterberging op Volkerak-Zoommeer en Grevelingen."

Daarmee valt de Oosterschelde buiten de scope van de veiligheidsbeschouwingen van het Deltamodel.

C Positionering Bretschneider golfmodellering

C.1 Inleiding

C.1.1 Probleembeschrijving

Binnen de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing met Hydra-Zoet¹⁷ is informatie over de golfcondities nodig. Er zijn op dit moment twee manieren waarop Hydra-Zoet aan de benodigde golfinformatie komt:

1. De Hydra database fysica bevat de golfinformatie zelf.
Hydra-Zoet hoeft deze informatie slechts in te lezen.
2. De Hydra database fysica bevat gebiedschematisatie informatie voor Bretschneider.
Hydra-Zoet detecteert dat hij deze informatie moet gebruiken, leest de informatie in en verwerkt die met behulp van de (in Hydra-Zoet opgenomen) golfgroeiformules van Bretschneider tot de benodigde golfinformatie.

Tot op heden worden in de meeste watersystemen de golfcondities bepaald volgens de tweede manier, dus met behulp van (de golfgroeiformules van) Bretschneider, binnen Hydra-Zoet.

Methodisch gezien bestaat echter een voorkeur voor de eerste manier. Het bepalen van de golfcondities hoort veel meer thuis in de procedure 'productiesommen fysica' die resulteert in een Hydra database fysica waarin de golfcondities zelf zijn opgenomen. Deze manier is standaard van toepassing als géén gebruik wordt gemaakt van Bretschneider, maar van bijvoorbeeld SWAN.

Bij het inrichten van de productieketen voor de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing bestaat voorkeur voor de 'methodisch nette' werkwijze. Dat zou inhouden dat de golfcondities voor alle watersystemen buiten Hydra worden bepaald en in de Hydra database fysica worden geplaatst. Deze voorkeur heeft uiteraard implicaties voor de inrichting van de productieketen, met name de stappen tussen de waterstandsberekeningen en het aanmaken van de Hydra database fysica.

C.2 Achtergrond informatie golfmodellering voor Hydra

C.2.1 Bretschneider

C.2.1.1 Inleiding

Het golfmodel Bretschneider is zeer eenvoudig. Het bestaat in feite uit twee formules: een voor de golfhoogte en een voor de golfperiode.

De gebiedschematisatie informatie voor Bretschneider bestaat uit het representatieve bodemniveau B en de effectieve strijklengte F, voor iedere water-uitvoerlocatie X en voor iedere windrichting R, kortweg geformuleerd als $\{X,R\} \Rightarrow \{B,F\}$.

¹⁷ In deze memo wordt ook vaak kortweg "Hydra" geschreven. In alle gevallen is echter "Hydra-Zoet" bedoeld.

De rekenmethode voor de golfbepaling met Bretschneider bevat twee hoofdcomponenten:

- 1 bepaling strijklengte en bodemniveau
- 2 bepaling golfcondities

C.2.1.2 Positionering componenten in productieketen

Op dit moment is component 1 niet als applicatie operationeel: in WTI kader worden informele tools hiervoor door HKV en Alkyon ingezet, in het (1x per 6 jaar) genereren van strijklengtes en bodemniveaus.

Component 1 zou beschouwd kunnen worden als onderdeel van de schematisatietools. Daarmee valt het (net als Baseline) buiten de scope van het Deltamodel. Maar de functionaliteit is enerzijds cruciaal en anderzijds (i.t.t. tot Baseline) niet beschikbaar voor Deltamodel gebruikers. Operationaliseren binnen het project Deltamodel is gewenst, in eerste gericht op toepassing buiten de Rekenfaciliteit. Bij die operationalisering zou kunnen worden aangesloten bij Baseline, maar moet sowieso moet sprake zijn van een modulaire opzet en flexibele inzetbaarheid (koppeling met andere applicaties).

Component 2 zit momenteel in Hydra-Zoet, zou ook daar buiten geplaatst moeten kunnen worden. Directe aansturing vanuit de Rekenfaciliteit (d.w.z. samen met de aansturing van de waterstandsommen) is echter niet zinvol. Om de golfberekening met zinnige invoer aan te sturen, moeten de resultaten van de set waterstandsommen namelijk eerst 'opgeblazen' worden tot de volwaardige Hydra-Zoet database omvang.

In de basisopzet van de productieketen (vanuit WTI) zitten component 1 en component 2 momenteel extreem ver van elkaar verwijderd. Terwijl er juist veel voor te zeggen valt om beide componenten heel dicht bij elkaar te brengen, liefst zelfs samen te brengen in één nieuwe applicatie. Deze applicatie zou dan als een golfmodel beschouwd kunnen worden. Dit biedt dan de mogelijkheid om (t.z.t.) enkele zwakke plekken in dit golfmodel aan te pakken (op nog steeds pragmatische wijze), zonder dat de in- en uitvoer hoeft te veranderen. Denk hierbij aan:

- hooggelegen uitvoerlocaties
Dit is een veel voorkomend en vervelend probleem: het potentieel zeer sterke effect van een hoge bodemligging in de directe omgeving van de uitvoerlocatie op de golfcondities (i.v.m. droogval danwel golfreductie door hoog voorland). Hiervoor is relatief eenvoudige, pragmatische oplossing mogelijk: bepaal twee representatieve bodemniveaus: 1 overall waarde en 1 lokale waarde; begrensd de golfhoogte op maximaal 60% van de lokale waterdiepte.
- waterstandsafhankelijkheid strijklengtes en bodemniveaus
Dit vormt een andere zwakke plek maar is minder zwaarwegend. Bovendien is het vinden van een pragmatische aanpak hiervoor lastiger: het behoud van een monotone toename van de golfcondities met toename van de waterstand is moeilijk te realiseren.

C.3 Opties voor inrichting productieproces

C.3.1 Inleiding

De inrichting van de productieketen is watersysteemafhankelijk. Voor de positionering van de golfmodellering is het daarbij noodzakelijk om expliciet onderscheid te maken tussen

'generiek' en 'bovenrivieren (prob)'¹⁸. In de bovenrivieren is het namelijk momenteel uitsluitend mogelijk om te rekenen met Bretschneider-in-Hydra¹⁹, oftewel 'manier 2' in paragraaf C.1.1. De database fysica (en de bijbehorende Hydra inleesroutine) is voor dit watersysteem daarop ingericht. Voor de andere watersystemen bestaat al flexibiliteit: er kan zowel volgens manier 1 als manier 2 uit paragraaf C.1.1 gewerkt worden.

Kortom, 'de' productieketen heeft in de praktijk diverse verschillende uitwerkingen. De volgende paragrafen geven een beeld van de mogelijkheden voor de positionering van Bretschneider.

De hierna volgende schema's bevatten diverse symbolen. Deze worden hieronder toegelicht:

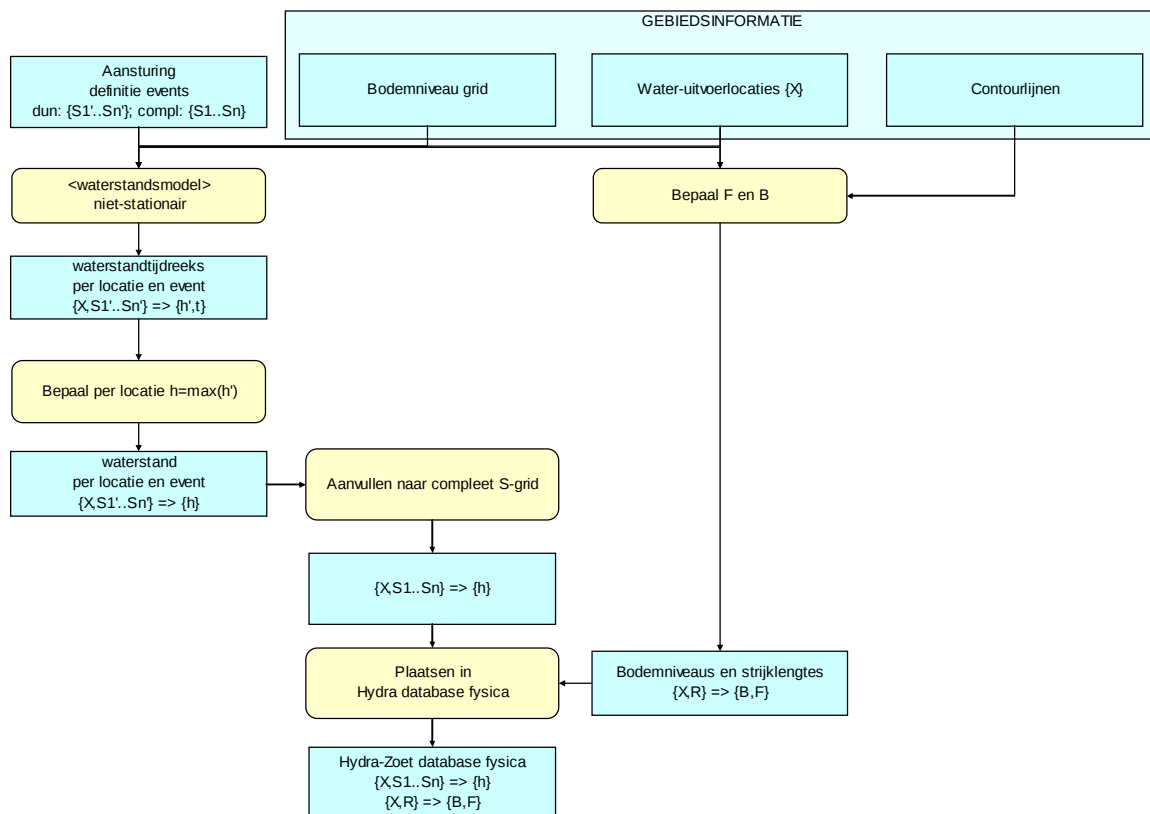
X	: reeks uitvoerlocaties in het watersysteem, nabij de waterkering
{S1..Sn}	: generieke notatiewijze voor het <u>Stochastwaardengrid</u> , zoals dat bij een watersysteem hoort volgens de opzet van Hydra-Zoet, bijvoorbeeld voor het IJsselmeer: {S1..Sn} = {R,U,M} met R={22.5:22.5:360}, U = (etc)
{S1'..Sn'}	: uitgedunde versie van het <u>Stochastwaardengrid</u> , op basis van het 'sommen' rapport van HKV. Er zijn bijvoorbeeld windrichtingen weggelaten.
h	: (lokale) waterstand
H,T,θ	: (lokale) golfcondities: hoogte, periode, richting
U	: Stochastwaardereeks voor de windsnelheid
R	: Stochastwaardereeks voor de windrichting
B,F	: Representatief bodemniveau en effectieve strijklengte
{ } => { }	: Relatie (tabel) tussen sleutel-waarden (links) en variabele-waarden (rechts), bijvoorbeeld {X,R} => {B,F} betekent hetzelfde als B(X1..Xn,R1..Rm), F(X1..Xn,R1..Rm)

¹⁸ Het watersysteem 'bovenrivieren (det)' is voor het Deltamodel niet relevant.

¹⁹ In de praktijk bestaat er nog geen behoefte aan de mogelijkheid in dit watersysteem de golven met SWAN te berekenen.

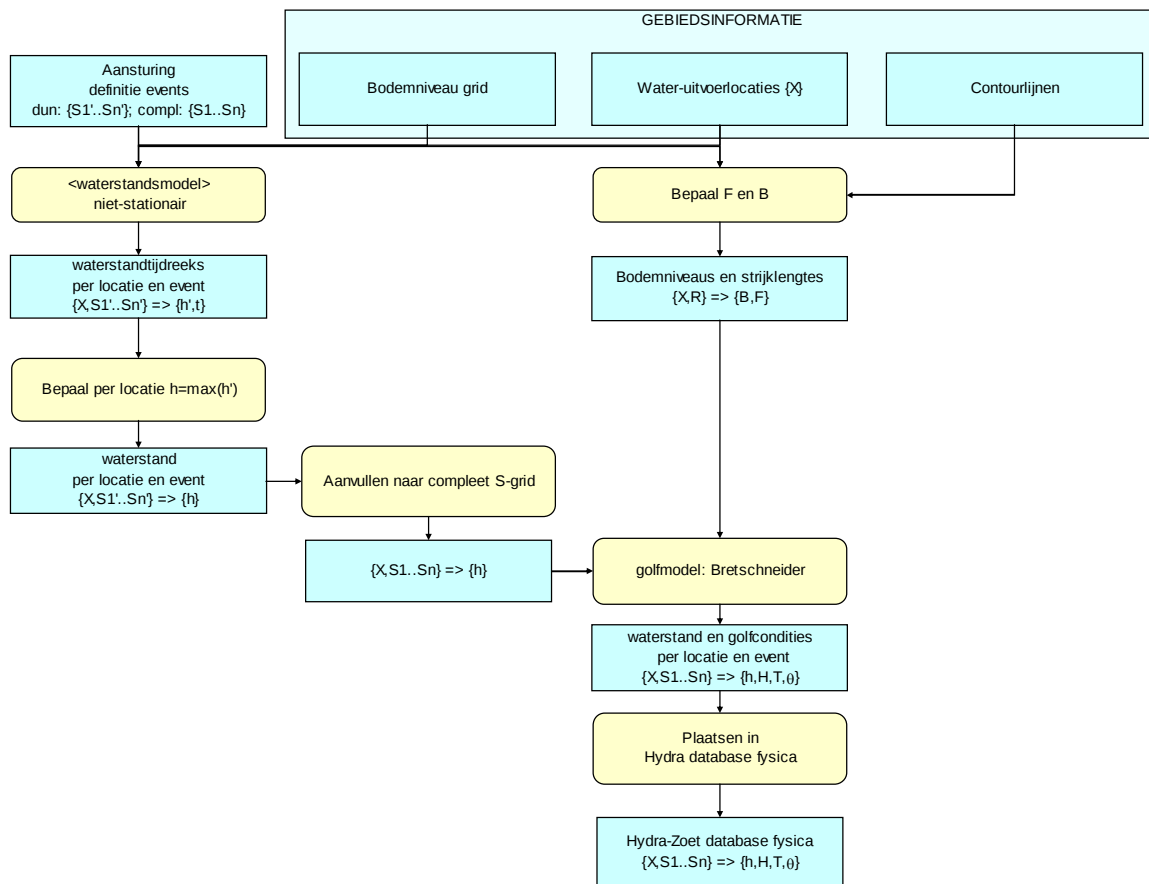
C.3.2 Productieketen met Bretschneider, generiek

C.3.2.1 De nul-optie: Bretschneider-in-Hydra



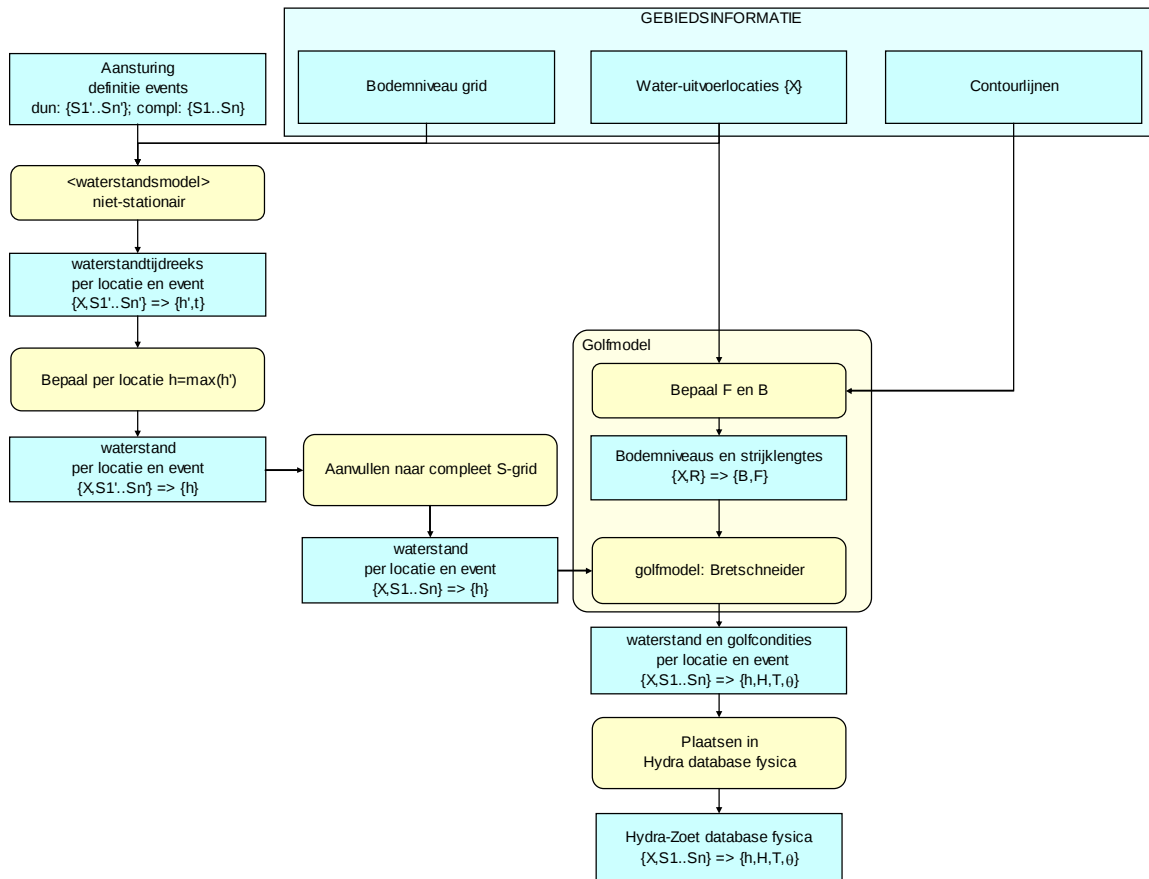
Figuur C.1. Productieketen met Bretschneider generiek, nul-optie

C.3.2.2 Variant 1



Figuur C.2. Productieketen met Bretschneider generiek, variant 1

C.3.2.3 Variant 2



Figuur C.3. Productieketen met Bretschneider generiek, variant 2.

Merk op dat variant 1 en 2 wat betreft modellenketen niet wezenlijk verschillen: de twee hoofdcomponenten van de golfmodellering zijn slechts ingebed in een 'golfmodel'. Voor de operationalisering in FEWS (inrichting Rekenfaciliteit) is dit echter wel een cruciaal verschil: bij variant 1 kan de bepaling van F en B nog beschouwd worden als onderdeel van de gebiedschematisatie, die - net als Baseline - buiten de Rekenfaciliteit is geplaatst. Bij variant 2 valt deze functionaliteit (de bepaling van F en B) onder het golfmodel en hoort daarmee automatisch wel binnen de Rekenfaciliteit.

C.3.3 Productieketen met Bretschneider, Bovenrivieren (prob)

Merk op:

- De stochasten zijn hier gespecificeerd i.p.v. generiek genoteerd
- In de basis bevat de database geen windstochastwaarden (U,R), maar alleen afvoer (Q).
- Het resultaat van deze keten (de Hydra database fysica) bevat inderdaad geen golfgegevens maar strijklengtes en bodemniveaus.

aanwezig: $\{X, Q\} \Rightarrow \{h\}$

gewenst: $\{X, Q, U, R\} \Rightarrow \{h, H, T, \theta\}$

Bij uitbreiding van de tabel ontstaat de *mogelijkheid* dat h niet meer 1-op-1 gekoppeld is aan Q. Er zijn twee manieren om hier tegen aan te kijken.

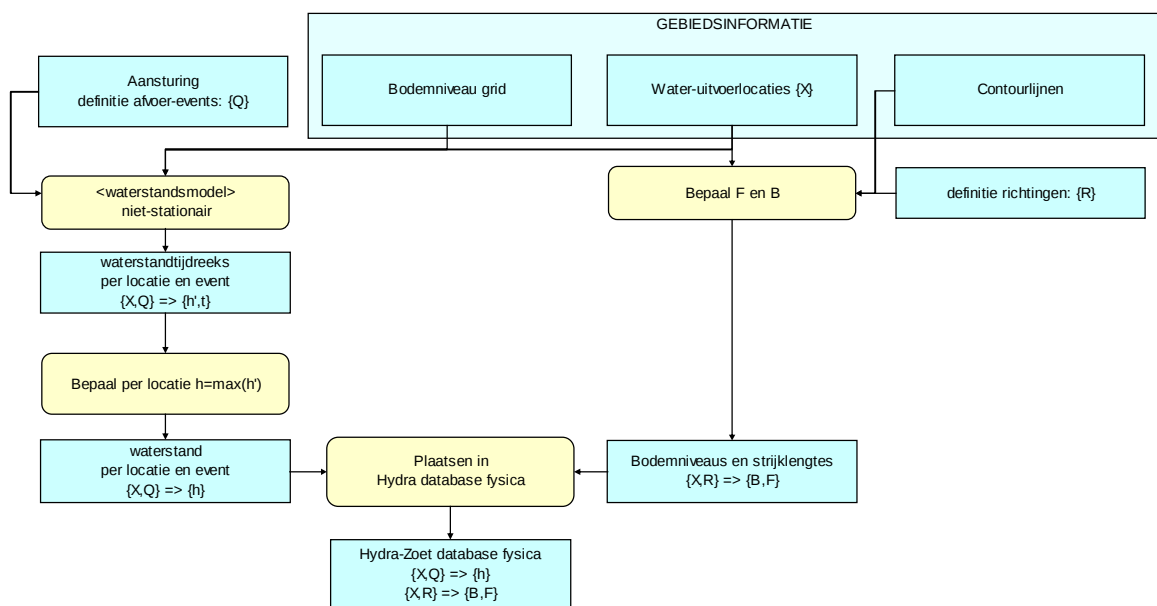
1. We willen vasthouden aan het speciale geval: "h is onafhankelijk van {U,R}"
=> Hierop moet gecontroleerd worden.

2. We willen "h is alleen afhankelijk van Q en dus onafhankelijk van {U,R}" slechts beschouwen als een speciaal geval van de te ondersteunen generieke rekenmethode waarin $h = f(Q, U, R)$

=> De generieke methode vertoont dan sterke overeenkomsten met de (gewenste) methode voor het watersysteemtype 'Meer': Q,U,R lijkt veel op M,U,R.

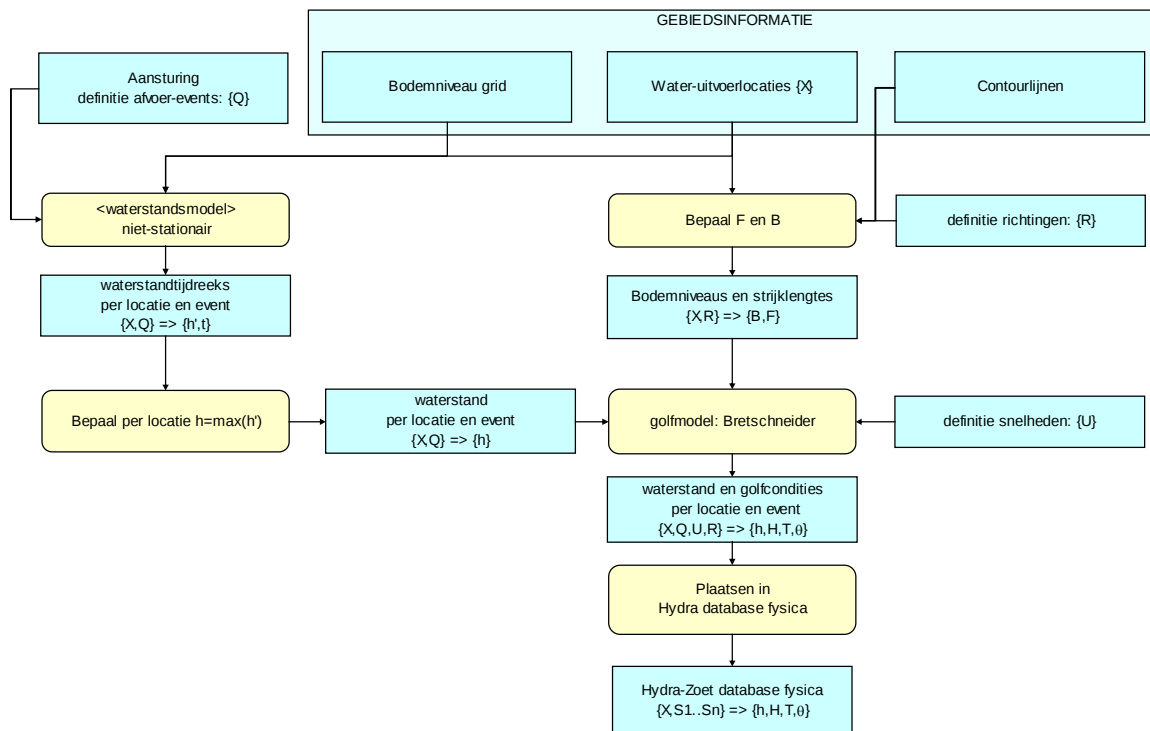
Vooralsnog wordt gekozen voor zienswijze 1.

C.3.3.1 De nul-optie: Bretschneider-in-Hydra



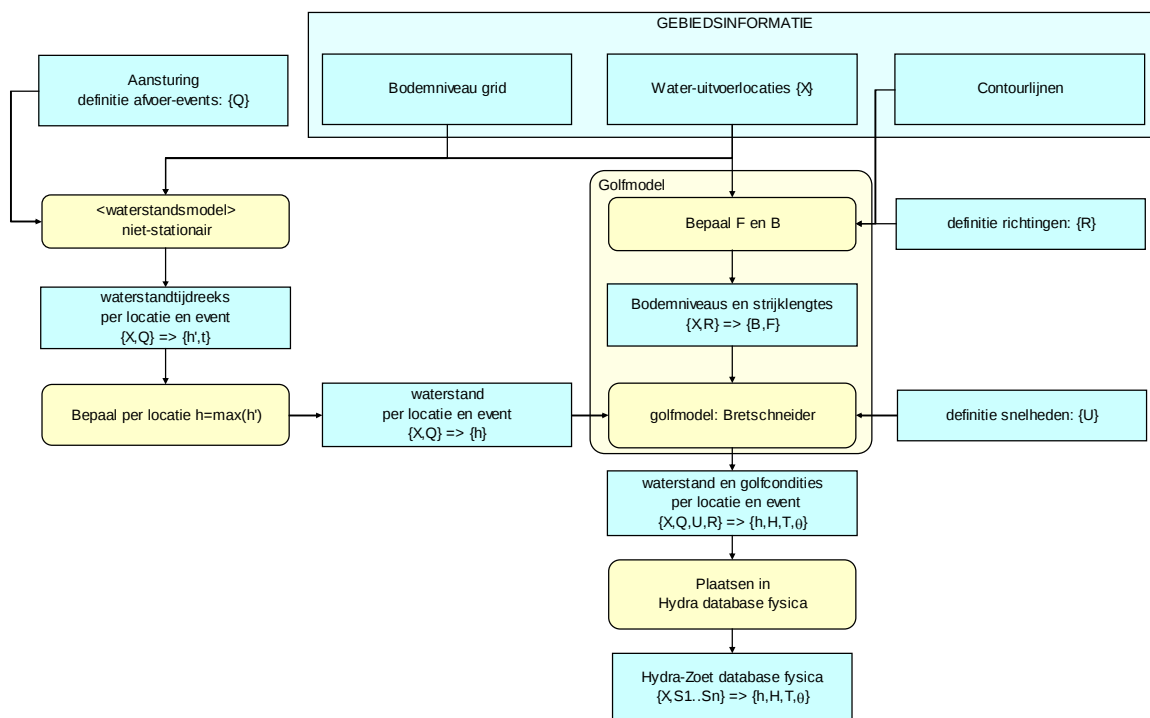
Figuur C.4. Productieketen met Bretschneider bovenrivieren (prob), nul-optie

C.3.3.2 Variant 1



Figuur C.5. Productieketen met Bretschneider bovenrivieren (prob), variant 1

C.3.3.3 Variant 2



Figuur C.6. Productieketen met Bretschneider bovenrivieren (prob), variant 2

Merk op dat variant 1 en 2 wat betreft modellenketen niet wezenlijk verschillen: de twee hoofdcomponenten van de golfmodellering zijn slechts ingebed in een 'golfmodel'. Voor de operationalisering in FEWS (inrichting Rekenfaciliteit) is dit echter wel een cruciaal verschil: bij variant 1 kan de bepaling van F en B nog beschouwd worden als onderdeel van de gebiedschematisatie, die - net als Baseline - buiten de Rekenfaciliteit is geplaatst. Bij variant 2 valt deze functionaliteit (de bepaling van F en B) onder het golfmodel en hoort daarmee automatisch wel binnen de Rekenfaciliteit.

C.4 Overwegingen en voorkeur

Het faciliteren van de nul-optie voor de Bretschneider golfmodellering (de toepassing van Bretschneider binnen Hydra-Zoet) is binnen de operationalisering van de waterveiligheidsbeschouwing als geheel een klein en eenvoudig onderdeel, zonder noemenswaardige risico's.

De toepassing van Bretschneider buiten Hydra is *methodisch* gezien netter. Het vergt wel een aanpassing aan Hydra-Zoet, i.c. de rekenmethode voor bovenrivieren, maar die aanpassing is relatief klein en risicoloos²⁰. De aansturing van Bretschneider berekeningen buiten Hydra moet ook nog ingericht worden; ook dat is naar verwachting relatief eenvoudig en risicoloos.

Wat betreft *rekenresultaten* kan deze herschikking overigens pas meerwaarde opleveren als de bepaling van bodemhoogte, strijklengte en golfcondities in één applicatie (= nieuw 'golfmodel') worden samengevoegd. Dat is een aantrekkelijk (toekomst-)perspectief. Toch wordt niet meteen op dit einddoel ingezet, om de volgende redenen:

- De implementatie van deze applicatie is niet zonder risico's, omdat de invoergegevens in de praktijk niet vanzelfsprekend onderling consistent zijn.
- De positionering van dit golfmodel in FEWS is niet vanzelfsprekend, omdat de Hydra-gerelateerde 'opblaas'-actie van het stochastwaardengrid nodig is vóór de aanroep van dit golfmodel.
- Andere investeringswensen voor het Deltamodel verdienen wellicht hogere prioriteit dan realisatie van dit golfmodel.

Wel bestaat de behoefte t.b.v. Deltamodel 1.0 al grote stap in de richting van dit golfmodel te zetten door een robuuste module te (laten) maken van de bepaling van strijklengte en bodemniveau. Zo'n module is essentieel voor Deltamodel gebruikers: zonder zo'n module is sleutelen aan de positie van Bretschneider zinloos. Bovendien kan de tool toch low-profile ingestoken worden omdat deze (in eerste instantie) deel gaat uitmaken van de schematisatietools (zoals Baseline), die buiten de Rekenfaciliteit gepositioneerd worden.

C.5 Samenvatting

Binnen de Deltamodel waterveiligheidsbeschouwing met Hydra-Zoet is informatie over de golfcondities nodig. Tot op heden worden in de meeste watersystemen de golfcondities bepaald met Bretschneider-in-Hydra. Methodisch gezien bestaat echter een voorkeur voor het bepalen van de golfcondities buiten Hydra, in de procedure 'productiesommen fysica'.

²⁰ NB: We moeten de optie Bretschneider sowieso nog niet geheel uit Hydra-Zoet verwijderen, slechts niet-gebruiken. Dit hangt samen met niet-Deltamodel belangen: de vigerende HR en de mogelijke implicaties voor de bepaling van golfcondities voor bekledingen.

Deze procedure resulteert dan in een Hydra database fysica waarin de golfcondities zelf zijn opgenomen. Verschillende opties voor de inrichting van de productieketen zijn onderzocht, waarbij de vraag 'Bretschneider binnen of buiten Hydra?' centraal staat. De conclusies en aanbevelingen luiden:

Het buiten Hydra plaatsen van Bretschneider is weliswaar methodisch netter, maar lost in feite geen probleem op, noch voorkomt dit een probleem. Daarom bestaat de voorkeur vooralsnog te blijven werken met Bretschneider-in-Hydra.

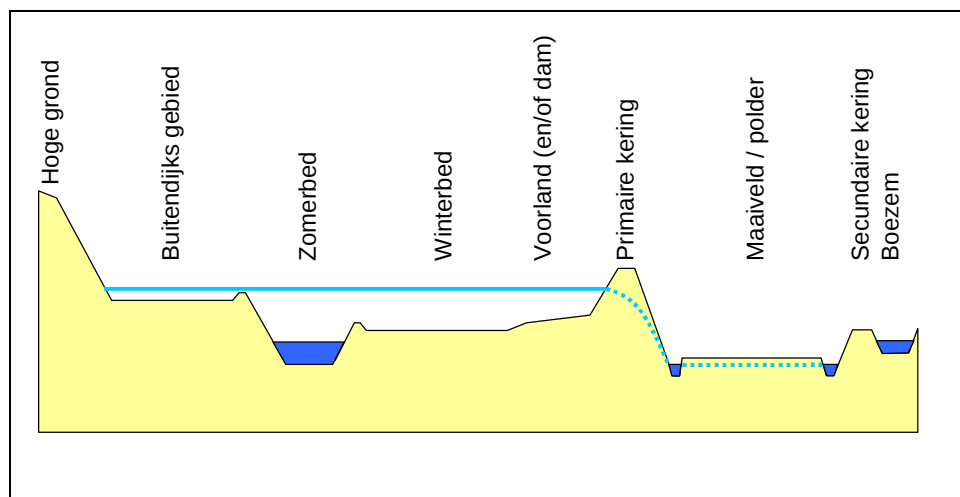
Daarnaast wordt voorgesteld nu de methode voor de bepaling van de strijklengte en het bodemniveau te operationaliseren (= 'must have'). Als (latere) vervolgstap kan die functionaliteit gekoppeld worden aan de formules van Bretschneider. In gekoppelde vorm heeft het buiten Hydra plaatsen wel toegevoegde waarde; dat is wellicht pas het geschikte moment voor het herinrichten ('netter maken') van de productieketen in de Rekenfaciliteit.

D Positionering bodemniveau verandering in waterveiligheid

D.1 Inleiding: probleembeschrijving

Het niveau van de bodem in Nederland vormt een belangrijk onderdeel van de gebiedschematisatie binnen het Deltamodel.

Volgens de Deltascenario's zal het niveau van de bodem in Nederland veranderen (vooral: dalen) in de periode die in het Deltamodel wordt beschouwd: 2015 - 2050 - 2100. Volgens de Deltascenario's is de mate van bodemdaling zodanig dat de *impact*²¹ groot is: er moet dus rekening mee gehouden worden. Maar omdat de *onzekerheid* rond de mate van bodemdaling relatief klein is, wordt wat betreft bodemdaling geen onderscheid gemaakt tussen de vier Deltascenario's. De mate van bodemdaling verschilt dus alleen tussen de zichtjaren.



Figuur D.1 Fictieve dwarsdoorsnede met enkele hoofdonderdelen van de schematisatie van het bodemniveau in het Deltamodel.

In Figuur D.1 is een fictieve dwarsdoorsnede getoond met verschillende types gebieden die in het Deltamodel onderscheiden (kunnen) worden als het gaat om het bodemniveau zelf enerzijds en de processen die bijdragen aan eventuele veranderingen in het bodemniveau anderzijds. Merk hierbij op dat het dijkprofiel in dit verband óók even als een stukje (ruimtelijke variatie in) bodemniveau wordt beschouwd.

Omdat 'het Deltamodel' niet één model is, maar uit een conglomeraat van modellen bestaat, is er in de praktijk niet sprake van één bodemniveauschematisatie voor het Deltamodel, maar van een lappendeken van schematisaties.

De verandering van het bodemniveau in Nederland is het gevolg van één of meer verschillende processen, denk aan:

²¹ op veiligheid en zoetwatervoorziening

- tektoniek, isostatie, compactie, rijping, etc
- delfstofwinning, grondwateronttrekking / polderpeilverandering
- zetting en klink (vnl dijken)
- morfologie (vnl zomerbed)
- onderhoud: baggerwerk (zomerbed), suppletie (voorland)

Deze processen zijn duidelijk niet allemaal overal in Nederland aan de orde, laat staan allemaal overal in dezelfde mate. Het resulterende totale effect op het bodemniveau varieert dan ook ruimtelijk, deels afhankelijk van het type deelgebied binnen de bodemniveau schematisatie in het Deltamodel, zoals weergegeven in Figuur D.1.

Deze *ruimtelijke variatie* in de bodemniveau verandering, in combinatie met de *lappendeken* aan schematisaties, maakt een eenvoudige (globale) verwerking in het Deltamodel lastig.

D.2 Opties voor aanpak

Grofweg bestaan 3 opties bij de vraag of, en zo ja hoe, wij met deze bodemniveau verandering in het Deltamodel willen omgaan²²:

1. Niet meenemen
2. Wel meenemen, in alle (bodem) schematisaties
3. Wel meenemen, geparametriseerd

Optie 1: Niet meenemen

Bodemdaling is expliciet beschreven in de Deltascenario's en wordt duidelijk relevant geacht voor het Deltaprogramma c.q. de Deltabeslissingen. Bodemdaling is regionaal van dezelfde orde van grootte als zeespiegelstijging en dat is een van de aanleidingen voor het Deltaprogramma.

Vermoedelijk is het wel of niet meenemen van bodemniveau verandering vooral van belang voor de *probleemanalyse* en daarmee van invloed op:

- van invloed op de omvang van het probleem: de 'opgave'
- van invloed op de vraag of een maatregel(enpakket) wel toereikend is voor de opgave;

Vermoedelijk is bodemdaling minder belang voor de uitkomst van een *vergelijking tussen maatregelen onderling*.

Het voordeel van deze optie is dat de methode erg overzichtelijk en praktisch in gebruik is. Het nadeel is dat deze aanpak niet past bij de verwachte 'hoge impact' volgens de Deltascenario's.

Optie 2: In alle bodemschematisaties (laten) verwerken

Het voordeel van deze aanpak is dat het - in principe - correct is. Het nadeel is dat deze aanpak een forse inspanning van de Deelprogramma's vergt bij het genereren van de bodemschematisaties voor alle zichtjaren, scenario's en modellen. Ook zal de totale rekentijd toenemen; het zal immers minder vaak voorkomen dat de resultaten van reeds uitgevoerde

²² De precieze kwantificering van de ruimtelijk variabele bodemniveauperandering in relatie tot de Deltascenario's voor de verschillende zichtjaren valt buiten de scope van het project Deltamodel.

berekeningen kunnen worden hergebruikt. En ook het beheer van alle invoergegevens wordt complexer. De kans op fouten en inconsistenties is relatief groot.

Optie 3: Vereenvoudigd (geparametriseerd) meenemen

Deze optie is een tussenvorm tussen optie 1 en 2. Hierbij wordt gekozen voor een beperkte, gerichte, pragmatische verwerking van bodemniveau verandering. Een voor de hand liggende invulling bestaat uit de verwerking van de het totale effect totale bodemdaling (inclusief zetting, klink) op alleen het dijkprofiel. En dan ook nog op een vereenvoudigde wijze, namelijk niet in het profiel zelf (niveaus van knikpunten en bermen), maar in de referentiewaarden van het profiel als geheel (kruinhoogte, kritieke waterstand voor piping en kritieke waterstand voor macrostabiliteit binnenwaarts).

De voordelen van deze optie zijn de overzichtelijkheid van de aanpak en de eenvoud van implementatie en toepassing. Nadeel is dat de methode hooguit benaderend is, dus niet zuiver en ook niet geheel consistent.

D.3 Voorkeur

Aan alle drie de geschetste opties kleven aanzienlijke nadelen. De voorkeur gaat echter uit naar optie 3, omdat het recht doet aan zowel het belang van het fenomeen bodemniveau verandering als aan de aard van het toepassingskader (de beleidsanalyse) en omdat het bovendien relatief eenvoudig is qua implementatie en toepassing.