

Overstromingsscenario's Kampereilanden

Colofon

Uitgevoerd van

14 april 2015 t/m 10 Juli 2015

Auteur

M.P.M. Ruijters (s0170569)

Student Civiele Techniek & Management

Universiteit Twente

06 36 31 61 22

m.p.m.ruijters@student.utwente.nl

In opdracht van

Waterschap Groot Salland

Afdeling Planvorming, specialisten

G. (Gerben) Tromp

Dokter van Thienenweg 1

Postbus 60

8000 AB Zwolle

038 455 67 21

www.wgs.nl

gtromp@wgs.nl

Onder begeleiding van

Universiteit Twente

Faculty of Engineering Technology

Water Engineering and Management

Dr. P.W. (Winnie) Gerbens-Leenes

Drienerlolaan 5

Postbus 217

7500 AE Enschede

053 489 20 80

p.w.leenes@utwente.nl

Lijst van figuren

Figuur 1: Oplossingsrichtingen waterveiligheid Kampereilanden (Waterschap Groot Salland, 2015)	2
Figuur 2: Gebiedsoverzicht Kampereilanden (Waterschap Groot Salland, 2015)	4
Figuur 3: Dijkverbeteringen aan Zwarte Meer (Waterschap Groot Salland, 2015)	5
Figuur 4: De verschillende factoren die invloed hebben op de waterstanden rondom de Kampereilanden.....	6
Figuur 5: Gesloten Ramspolkering bij storm op IJsselmeer (Waterschap Groot Salland, 2015)	7
Figuur 6: Waterstandverlaging op het Zwarte Meer door de sluiting van de Ramspolkering.....	8
Figuur 7: Verschillende bezwijkmechanisme (Waterschap Aa en Maas, 2013)	10
Figuur 8: Bresgroei (3Di waterbeheer, 2015).....	11
Figuur 9: 2D grid van het model met hoogtekaart.....	12
Figuur 10: Dijkverhoging op de Kampereilanden in het model.....	13
Figuur 11: Stappenplan overstromingsberekeningen	18
Figuur 12: Waterstandsverloop op het Ketelmeer over de tijd	20
Figuur 13: Beginsituatie gevoeligheidsanalyse	22
Figuur 14: Gevoeligheid van moment van de doorbraak.....	23
Figuur 15: Gevoeligheid van de Vechtafvoer	24
Figuur 16: Gevoeligheid van Ramspolsluiting	25
Figuur 17: Gevoeligheidsanalyse Verheij versus Van der Knaap	26
Figuur 18: Breslocaties op het Kampereiland	29
Figuur 19: Breslocaties op de Mandjeswaard, Polder de Pieper en de Zuiderzeepolder.....	29
Figuur 20: Verschillende bezwijkmechanisme	35
Figuur 21: Schematisatie van een bresgroei.....	37
Figuur 22: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario KE1	39
Figuur 23: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario KE2	40
Figuur 24: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario KE3	41
Figuur 25: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario KE4	42
Figuur 26: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario MW1.....	43
Figuur 27: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario MW2.....	44
Figuur 28: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario MW3.....	45
Figuur 29: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario PP1	46
Figuur 30: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario PP2	47
Figuur 31: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario ZP1.....	48
Figuur 32: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario ZP2.....	49
Figuur 33: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario ZP3.....	50

Lijst van tabellen

Tabel 1: Vastgestelde maatgevende hoogwaterstanden Kampereiland (Besluit Gedeputeerde Staten van Overijssel, dd 9 maart 2010; kenmerk 2010/0034456) (Goor, 2011)	19
Tabel 2: Kritieke stroomsnelheid per grondsoort	38

Voorwoord

Voor u ligt het onderzoeksrapport dat tot stand gekomen is in het kader van mijn bachelor eindopdracht voor de studie Civiele Techniek & Management aan de Universiteit Twente. In de periode van 14 april tot en met 10 juli heb ik bij het waterschap Groot Salland op de afdeling planvorming mij bezig gehouden met het onderzoek naar de overstromingsscenario's van de Kampereilanden.

Ik heb de afgelopen maanden met veel plezier aan dit onderzoek gewerkt. Op een leuke manier heb ik kennis mogen maken met hoe het is om bij een organisatie als het waterschap Groot Salland te werken. Het was erg fijn dat ik op een kamer zat met medewerkers van verschillende functies, waardoor ik meerdere kanten heb gezien van het waterschap.

Ik ben het waterschap Groot Salland dan ook erg dankbaar voor het bieden van deze mooie stageplek voor de invulling van mijn bachelor eindopdracht. Ten eerste wil ik graag mijn begeleiders bedanken, G. Tromp vanuit het waterschap Groot Salland en P.W. Gerbens-Leenes vanuit de Universiteit Twente. Samen hebben ze me voorzien van een goede begeleiding door het hele traject van mijn bachelor eindopdracht heen. Als laatste wil ik alle mensen bedanken die mij geholpen hebben met het verkrijgen van al de nodige informatie die ik nodig had om deze opdracht af te ronden.

Mark Ruijters,

Enschede, juli 2015

Samenvatting

Het Kampereiland, de Mandjeswaard, Polder de Pieper en de Zuiderzeepolder worden gezamenlijk ook wel 'de Kampereilanden' genoemd. Dit gebied, dat ten noorden van de stad Kampen gelegen is, kent een waterrijke historie. Voor de aanleg van de Afsluitdijk overstroomde dit gebied regelmatig en ook al behoort dit al meer dan 80 jaar tot de verleden tijd is een overstroming in dit gebied onder bepaalde extreme omstandigheden nog altijd mogelijk. Sinds het hoogwater van 2012 is de waterveiligheid van dit gebied opnieuw onder de loep genomen door het Waterschap Groot Salland.

Naar aanleiding van dit hoogwater is in 2012 het project 'Waterveiligheid Kampereilanden' gestart toen uit een eerste globale toetsing van het Waterschap Groot Salland bleek dat een deel van de keringen niet voldeed aan de gestelde norm van 1/500. De overheden Provincie Overijssel, Waterschap Groot Salland, de gemeente Kampen en de gemeente Zwartewaterland hebben gezamenlijk voor een brede aanpak met vier oplossingsrichtingen gekozen. Dit onderzoek richt zich vooral op de volgende twee oplossingsrichtingen: het vergroten van het bewustzijn van het overstromingsrisico en het opstellen van een calamiteitenplan. Dit wordt gedaan door het in beeld te brengen van de potentiële overstromingsrisico's van de Kampereilanden bij dijkdoorbraken.

Voordat deze potentiële overstromingsrisico's in beeld gebracht kunnen worden moet eerst begrepen worden hoe het watersysteem rondom de Kampereilanden in elkaar zit. In principe zijn er twee watersystemen rondom de Kampereilanden te onderscheiden, ten westen van de Ramspolkering en ten oosten. Het watersysteem aan de oostkant wordt bepaald door de afvoer van de Vecht dat het Zwarte Meer instroomt en de waterstand op het Ketelmeer (dat bij +0,5m NAP en een oostelijke stroomrichting ervoor zorgt dat de Ramspolkering gesloten is). De situatie aan de westkant van de Ramspolkering wordt bepaald door de afvoer van de IJssel en de waterstand op het Ketelmeer. De situatie aan de oostkant van de Ramspolkering kan als maatgevend beschouwd worden, omdat het hier om regionale keringen gaat die aan een lagere norm moeten voldoen ten opzichte van de primaire keringen aan de westkant (1/500 versus 1/2000) en dus eerder zullen overstromen.

Om de overstromingen zo nauwkeurig mogelijk na te bootsen is het computerprogramma SOBEK1D2D gebruikt. Voor dit onderzoek is zowel de 1D als de 2D component gebruikt, namelijk een 2D grid (een hoogte kaart) en 1D elementen (Ramspolkering en de bres) die samen een zo realistisch mogelijke schematisatie geven van het watersysteem bij de Kampereilanden.

Om berekeningen uit te voeren met SOBEK1D2D moet een overstromingsscenario opgesteld worden. Hiervoor moeten hydraulische randvoorwaarden en de breslocaties bepaald worden. De hydraulische randvoorwaarden bestaan uit de afvoer van de Vecht, de duur van de Ramspolsluiting, het moment van de doorbraak en de bresgroei. De randvoorwaarden moeten samen precies aan de 1/500 normering voldoen. Deze vier randvoorwaarden zijn getest in een gevoeligheidsanalyse waarna de volgende randvoorwaarden gekozen zijn voor het overstromingsscenario waarmee de overstromingsberekeningen uitgevoerd worden:

- Een trapezium stormverloop van 48 uur met een golf van 3 meter op het Ketelmeer
- De sluiting van de Ramspolkering is ongeveer 30,5 uur
- Een afvoer op de Vecht van $255\text{m}^3/\text{s}$
- De bresberekening wordt gedaan met de formule van Verheij-Van der Knaap
- De doorbraak vindt plaats op $t = h_{\text{max}}$

Voor het uitvoeren van de overstromingsberekeningen moeten alleen nog de meest representatieve breslocaties bepaald worden. Deze locaties zijn bepaald met hoogtekarten van de Algemene Hoogtekaart Nederland (AHN). Door goed te kijken naar de laagste punten op iedere polder, de locatie van mogelijke slaperdijken en (verhoogde) wegen die door de polder lopen worden de breslocaties gekozen, zodat alle gebieden bedekt worden.

Als de resultaten van de overstromingsberekeningen bekeken worden dan kan geconcludeerd worden dat:

- Het op sommige plaatsen aanwezige voorland (KE1, KE2, KE3 en MW1) een bepalende factor is voor de grootte van een overstroming op de Kampereilanden. Door het relatief snelle dalen van de waterstand na de storm zijn de overstromingen op plaatsen met voorland significant kleiner.
- Het tijdstip waarop de dijk doorbreekt erg bepalend is voor de grootte van de overstroming. Zeker bij deze overstromingsscenario's (doorbraak op $t = h_{\max}$), omdat het hoogwater op het Zwarte Meer weer vrij snel daalt. Daardoor is de periode waarop er water naar het achterliggende land kan stromen relatief kort en zijn de gevolgen beperkt.
- Het is lastig om de bresgroei precies te voorspellen. Het komt niet vaak voor dus er is weinig informatie over. Het gaat in dit geval om een relatief korte periode dat er water het achterliggende land in stroomt, waardoor aannemelijk is dat de bres klein blijft. En de formule van Verheij een logische uitkomst geeft.
- De kleinere polders snel onder water lopen ten opzichte van de grotere polders en er treden hogere waterstanden op. Dit staat ook wel bekend als het zogenaamde 'Badkuipeffect'.
- Het achterland bij Polder de Pieper en de Zuiderzeepolder een stuk lager ligt, waardoor water voor een langere tijd naar binnen blijft stromen. Deze twee polders zijn daarom veel afhankelijker van het waterpeil van het IJsselmeer na de storm. In de berekeningen is er namelijk voor gekozen om het waterpeil na de storm weer te laten zakken naar het winterpeil (-0,4m NAP), maar dit kan natuurlijk ook een stuk hoger blijven.
- Bij overstromingsscenario MW3 de enige toegangsweg tot de Mandjeswaard wordt afgesloten door het water, dit is belangrijk om te weten voor de risicocommunicatie en crisisbeheersing.
- De duur van de sluiting van de Ramspolkering en de afvoer op de Vecht zijn samen sterk bepalend zijn voor de waterhoogte die bereikt wordt op het Zwarte Meer.

Inhoudsopgave

Colofon	i
Lijst van figuren.....	ii
Lijst van tabellen	ii
Voorwoord	iii
Samenvatting.....	iv
1 Inleiding	1
2 Waterveiligheid Kampereilanden	2
3 Doelstelling onderzoek	3
4 Gebiedsbeschrijving	4
4.1 Kampereilanden	4
4.2 Beschrijving watersysteem	5
4.2.1 Context	5
4.2.2 IJssel	6
4.2.3 Vecht	7
4.2.4 De Ramspolkering	7
4.2.5 Watersystemen rondom de Kampereilanden	8
5 Theoretisch kader	10
5.1 Dijkdoorbraakscenario's.....	10
5.1.1 Bezwijkmechanisme	10
5.1.2 Moment van de doorbraak	10
5.1.3 Bresgroei	11
5.2 Modellerings	11
5.2.1 SOBEK 1D2D	11
5.2.2 Bestaand model	12
5.2.3 Aanpassingen.....	12
6 Opstellen overstromingssscenario's.....	15
6.1 Stappenplan.....	15
6.2 Hydraulische randvoorwaarden	18
6.2.1 Maatgevende hoogwaterstand op het Zwarte Meer	19
6.2.2 Waterstand op het Ketelmeer	20
6.2.3 Sluitingstijd van de Ramspolkering.....	20
6.2.4 Afvoer van de Vecht	21
6.2.5 Afvoer van de IJssel	21

6.2.6	Slaperdijken en wegen.....	21
6.3	Gevoeligheidsanalyse.....	22
6.3.1	Moment van de doorbraak	23
6.3.2	Vechtafvoer	24
6.3.3	Duur van de storm	25
6.3.4	Van der Knaap versus Verheij	26
6.4	Randvoorwaarden voor overstromingsscenario's.....	27
6.5	Bepaling breslocaties	27
6.5.1	Kampereiland	27
6.5.2	Mandjeswaard	28
6.5.3	Polder de Pieper.....	28
6.5.4	Zuiderzeepolder.....	28
7	Resultaten.....	30
7.1	Resultaten per overstromingsscenario	30
7.1.1	Kampereiland	30
7.1.2	Mandjeswaard	30
7.1.3	Polder de Pieper.....	31
7.1.4	Zuiderzeepolder.....	31
8	Conclusies	32
8.1	Aanbevelingen	32
8.2	Discussie	33
Bijlage 1	Bezwijkmechanisme.....	35
Bijlage 2	Bresgroeiformules.....	37
Bijlage 3	Overstromingsberekeningen.....	39
Bibliografie		51
Lijst van afkortingen		52

1 Inleiding

Het Kampereiland, de Mandjeswaard, Polder de Pieper en de Zuiderzeepolder worden gezamenlijk ook wel 'de Kampereilanden' genoemd. Dit gebied, dat ten noorden van de stad Kampen gelegen is, kent een waterrijke historie. Voor de aanleg van de Afsluitdijk overstroomde dit gebied regelmatig en ook al behoort dit al meer dan 80 jaar tot de verleden tijd is een overstroming in dit gebied onder bepaalde extreme omstandigheden nog altijd mogelijk. Sinds het hoogwater van 2012 is de waterveiligheid van dit gebied opnieuw onder de loep genomen door het Waterschap Groot Salland.

Naar aanleiding van dit hoogwater zijn veel vragen ontstaan over het beschermingsniveau van de keringen. Op dit moment is bekend dat een aantal van deze keringen op de Kampereilanden niet voldoen aan de gestelde norm van 1/500 jaar. Deze norm houdt in dat de keringen een waterstand die één keer in de vijfhonderd jaar voor komt moeten kunnen keren. Het waterschap Groot Salland heeft van de Provincie Overijssel tot 2018 gekregen om ervoor te zorgen dat de keringen in het gebied weer op orde zijn. Er zijn al verschillende model berekeningen gedaan voor dit gebied, zo is al bekend wat er binnen het gebied zou gebeuren bij het falen van de dijken door een zogenaamde overtoppingsoverstroming (Havinga, Geerse, & Vieira da Silva, 2012). Dit houdt in dat het water tijdelijk boven de kering staat en het water dus het achterliggende gebied in stroomt. Er is echter ook vraag naar wat er gebeurt bij het falen van de dijk door een dijkdoorbraak. Dit houdt in dat er voor een langere tijd veel meer water het achterliggende gebied in zal stromen. Ook hier zijn al een aantal berekeningen mee gedaan (Goor, 2011). Deze berekeningen zijn echter volledig gericht op een dijkdoorbraak vanaf het Zwarte Meer.

Door de aanwezigheid van slaperdijken en wegen in de polders is het ook belangrijk om naar andere dijkdoorbraaklocaties te kijken, die mogelijk andere overstromingsscenario's met zich mee brengen. Het Ganzendiep is bijvoorbeeld rechtstreeks verbonden met het Zwarte Meer en zal dus met hetzelfde potentiële hoogwater te maken kunnen krijgen. Daarnaast is er vraag naar een gevoeligheidsanalyse, dus wat verandert er in de grootte van de overstroming als een randvoorwaarde anders is en hoe zwaar weegt deze hierin mee. Hierbij kan gedacht worden aan variatie in de Vechtafvoer, moment van doorbraak, duur van de storm en het gebruik van een andere bresgroeiformule.

Het doel van dit onderzoek is het in beeld brengen van de potentiële overstromingsscenario's op de Kampereilanden ten gevolge van een dijkdoorbraak. In dit rapport zullen daarom overstromingsberekeningen gedaan worden met verschillende randvoorwaarden. De berekende effecten en verkregen inzichten zijn belangrijke bouwstenen voor de maatregelen uit het meerlaagseveiligheidsplan, bestaande uit het vergroten van het bewustzijn van de overstromingsrisico's en het opstellen van een calamiteitenplan.

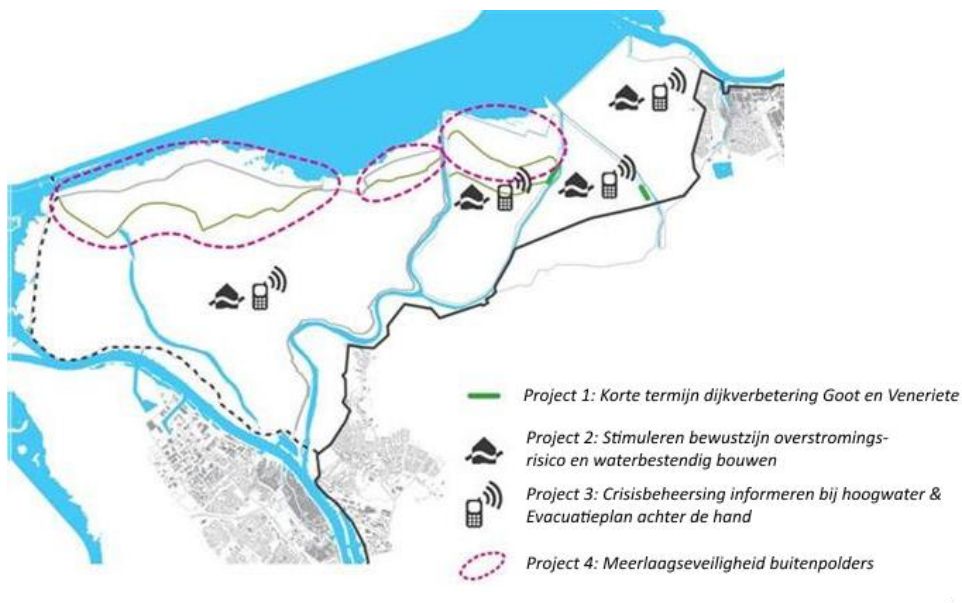
2 Waterveiligheid Kampereilanden

In 2012 is het project 'Waterveiligheid Kampereilanden' gestart toen uit een eerste globale toetsing van het Waterschap Groot Salland bleek dat een deel van de keringen niet op orde is. Het gebied ligt buitendijks en valt dus buiten de primaire dijkkring van de polder Mastenbroek. Bovendien is het gebied aangewezen als waterbergingsgebied. Er wordt voor het gebied een veiligheidsnorm van 1/500 jaar gehanteerd. Daarnaast spelen voor de lange termijn de effecten van klimaatverandering en de maatregelen die de landelijke overheid voorbereidt in het Deltaprogramma. Een van die maatregelen gaat over het peilbeheer van het IJsselmeer en dat heeft direct gevolgen voor de waterveiligheid in de Kampereilanden. (Waterschap Groot Salland, 2015)

De overheden Provincie Overijssel, Waterschap Groot Salland, de gemeente Kampen en de gemeente Zwartewaterland hebben gezamenlijk voor een brede aanpak met vier oplossingsrichtingen gekozen (figuur 1):

- 1) Lokaal verbeteren van de dijken langs de Goot en Veneriete.
- 2) Vergroten van het bewustzijn van het overstromingsrisico en voorlichting over waterbestendig bouwen.
- 3) Opstellen van een calamiteitenplan, met als onderdeel informatievoorziening bij hoogwater en evacuatie.
- 4) Verder uitwerken en afwegen van een andere, meer waterwijze oplossing voor de aanpak van de buitendijk, door gedeeltelijk de oude Zuiderzeekering in te stellen als regionale kering en door gedeeltelijk de buitendijk uit te bouwen tot een overstroombare dijk. Daarbij is er in het onderzoek speciale aandacht voor het waterveilig maken van de bedrijven in de buitenpolders.

De resultaten uit dit onderzoek zijn vooral van belang voor punt 2 en 3, het vergroten van het bewustzijn van het overstromingsrisico en het opstellen van een calamiteitenplan.



Figuur 1: Oplossingsrichtingen waterveiligheid Kampereilanden (Waterschap Groot Salland, 2015)

3 Doelstelling onderzoek

Met het uitvoeren van de overstromingsberekeningen op de Kampereilanden wordt het volgende ten doel gesteld:

Het in beeld brengen van de potentiële overstromingsrisico's van de Kampereilanden bij dijkdoorbraken.

Om deze doelstelling te bereiken zullen eerst de hydraulische randvoorwaarden bepaald moeten worden voor de overstromingsberekeningen. Dan zal met behulp van een gevoeligheidsanalyse gekeken worden hoe gevoelig de gekozen hydraulische randvoorwaarden zijn. Daarna kan gekeken worden naar de meest representatieve dijkdoorbraaklocaties per polder en als laatste hoe het verloop van de overstroming eruit zal zien bij ieder scenario. Dit zorgt voor de volgende onderzoeksvraag:

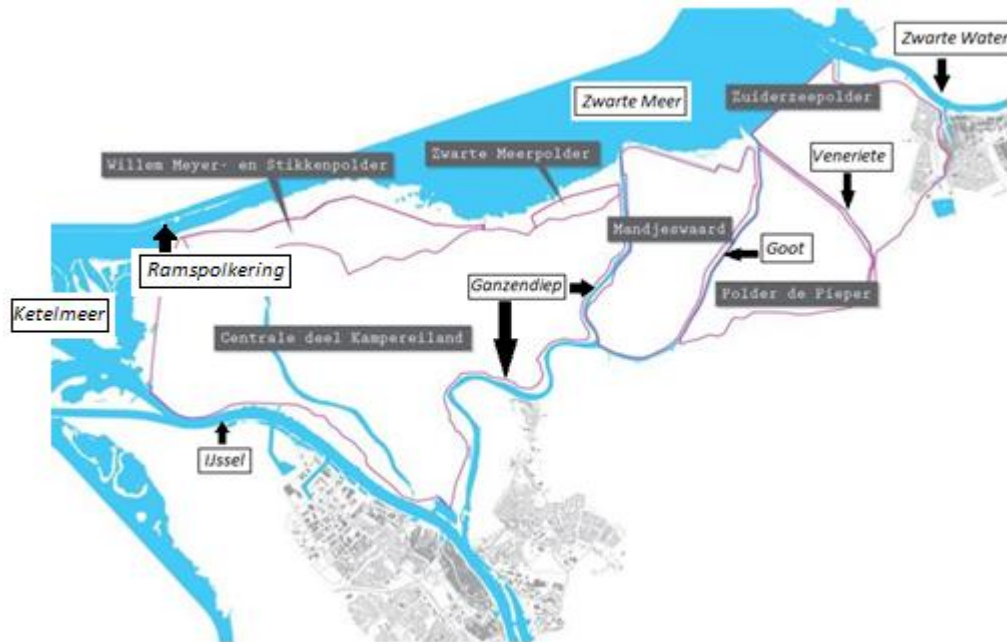
Wat zijn de overstromingsbeelden bij verschillende dijkdoorbraakscenario's op de Kampereilanden?

Om deze onderzoeksvraag te beantwoorden zijn er deelvragen geformuleerd om de doelstelling uit te kunnen voeren. De volgende deelvragen zijn hiervoor opgesteld:

- Wat zijn de hydraulische randvoorwaarden voor overstromingsberekeningen op de Kampereilanden?
- Hoe gevoelig zijn de overstromingsresultaten voor de gekozen hydraulische randvoorwaarden?
- Waar liggen de meest representatieve dijkdoorbraaklocaties per polder?
- Hoe ziet het verloop van de overstroming binnen de polder eruit voor verschillende maatgevende situaties rondom de Kampereilanden?

4 Gebiedsbeschrijving

In dit hoofdstuk zal in paragraaf 4.1 een algemene beschrijving gegeven worden van de vier polders die bij de Kampereilanden horen. Vervolgens zal in paragraaf 4.2 de watersystemen rondom de Kampereilanden, de IJssel- en de Vechtdelta, toegelicht worden zodat een geheel beeld van de omgeving rondom de Kampereilanden ontstaat.



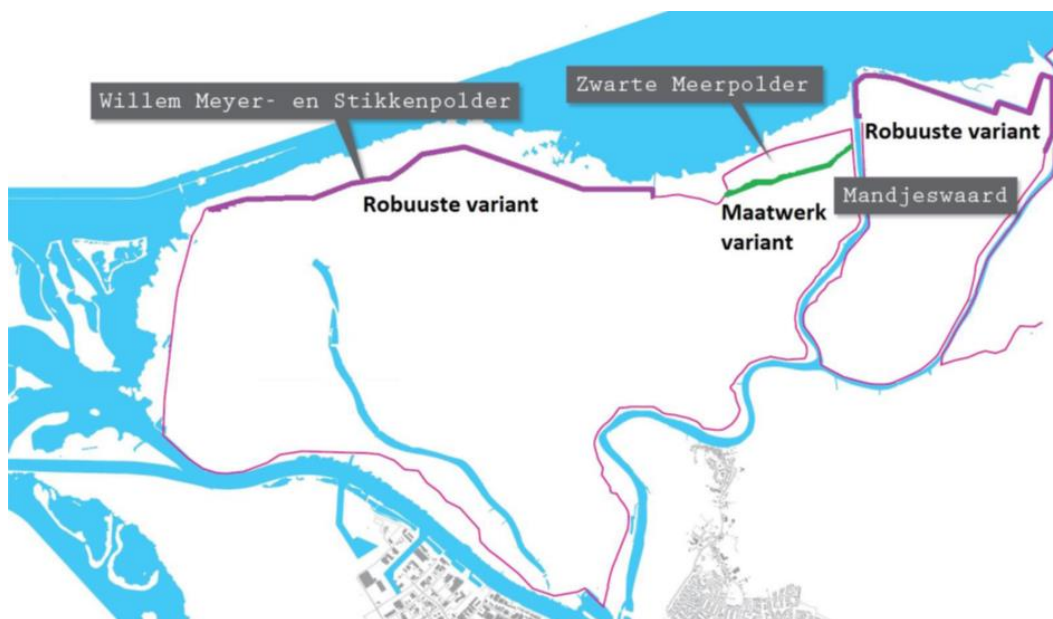
Figuur 2: Gebiedsoverzicht Kampereilanden (Waterschap Groot Salland, 2015)

4.1 Kampereilanden

De Kampereilanden bestaan uit een viertal polders, het Kampereiland, de Mandjeswaard, Polder de Pieper en de Zuiderzeepolder (zie figuur 2). De Kampereilanden liggen in de delta van de IJssel en de Vecht en het grenst aan het Zwarte Meer. Het totale oppervlak van het gebied bedraagt circa 40 km². Tot de aanleg van de Afsluitdijk in 1932 vonden er gemiddeld eens in de vijf jaar overstromingen plaats. Sinds de aanleg heeft er geen enkele overstroming meer plaats gevonden, ook al is het een aantal keer wel bijna overstroomd (in 2012 bijvoorbeeld). Typerend voor het Kampereiland en de Mandjeswaard is dat de oudere boerderijen van voor 1932 op terpen gebouwd zijn, bij de nieuwere boerderijen is dit niet meer het geval. Hierdoor staan op het Kampereiland en de Mandjeswaard ca. 40% van de boerderijen op maaiveldniveau en in de andere polders staan vrijwel alle boerderijen op maaiveldniveau.

Op de Kampereilanden wonen tegenwoordig ongeveer 800 mensen, waarvan ca. 550 in de grootste polder, het Kampereiland. Het grootste gedeelte van de grond wordt gebruikt als weide voor de melkveehouderijen. De melkveepopulatie bestaat naar schatting uit ongeveer 10.000 koeien. Achter de regionale waterkeringen bevinden zich op het Kampereiland en de Mandjeswaard nog enkele oude Zuiderzeekeringen, ook wel slaperdijken genoemd. Deze slaperdijken zijn nog volledig in takt en waren in de eerste helft van de vorige eeuw de uiterste grens van de inpolderingen. Pas in de jaren '30 tot '50 van de 20e eeuw werden noordelijk gelegen rietlanden ingepolderd, waaronder: de Willem Meyerpolder, Stikkenpolder en Zwarte Meerpolder (Kampereiland), De Cock's Polder en De Heuvel (Mandjeswaard) (Waterschap Groot Salland, 2015).

De regionale waterkeringen op de Kampereilanden liggen langs het Zwarte Meer, het Ganzendiep, de Goot, de Veneriete, het Scheepvaartgat, het Zwolsche Diep en het Zwarte Water. Deze keringen hebben een totale lengte van ca. 40 km (exclusief de keringen langs de IJssel) en hebben een norm in de vorm van een overstromingsfrequentie van 1/500 (Havinga, Geerse, & Vieira da Silva, 2012). In het kader van 'waterveiligheid Kampereilanden' worden de dijken op het Kampereiland en de Mandjeswaard aan de kant van het Zwarte Meer verhoogd (zie figuur 3). De hoogte van de Robuuste varianten worden als volgt bepaald: de huidige maatgevende hoogwaterstand (MHW) + toename MHW als *gevolg van klimaatverandering* + *robuustheidstoeslag* + *zetting en klink*. Ze zullen daarmee een hoogte van ongeveer +1,70m NAP krijgen. De maatwerk variant zal echter precies de hoogte van de MHW krijgen en dus bij een waterstand behorende bij de overschrijdingsfrequentie van 1/500 gaan overlopen (Ros & Sluiter, 2015). Op deze manier wordt bij hoog water op het Zwarte Meer het water gecontroleerd het gebied in gestuurd.



Figuur 3: Dijkverbeteringen aan Zwarte Meer (Waterschap Groot Salland, 2015)

4.2 Beschrijving watersysteem

De Kampereilanden bevinden zich op de rand van de IJssel- en Vechtdelta, wat ervoor zorgt dat het hele watersysteem rondom de Kampereilanden redelijk complex is. In deze paragraaf zal een uitgebreide beschrijving volgen over hoe dit in elkaar zit. Er zal in gegaan worden op de algemene context, de IJssel, de Vecht, de Ramspolkering en als laatste een beschrijving van de watersystemen rondom de Kampereilanden.

4.2.1 Context

Zoals hierboven al kort vermeldt is het watersysteem rondom de Kampereilanden een redelijk complex systeem. Maar waarom is het nou zo'n complex systeem? Dit heeft vooral te maken met de vele verschillende factoren die van invloed zijn op de waterstanden rondom de Kampereilanden (zie figuur 4). Allereerst de waterstand op het IJsselmeer en op de Waddenzee. Deze verhouding bepaalt namelijk hoeveel water er vanaf het IJsselmeer afgevoerd kan worden, alleen als de waterstand op het IJsselmeer hoger is dan op de Waddenzee kan er water afgevoerd worden door de twee spuisluizen bij de Afsluitdijk (paarse pijl). Hierop aansluitend is ook de wind op het IJsselmeer een belangrijke factor

voor de waterstand. Als de wind uit het noordwesten komt kan dit voor een enorme scheefstand zorgen op het IJsselmeer/Ketelmeer. Dit kan vervolgens zorgen voor een sluiting van de Ramspolkering om het Zwarte Meer en het achterliggende land van het hoogwater te ontzien. Wat wel weer als gevolg heeft dat het Zwarte Meer door de afvoer van de Vecht (rode pijl) langzaam vol stroomt. Als laatste moet ook de IJssel (groene pijl) niet vergeten worden. Deze rivier is vanaf de andere kant, het zuidwesten, ook weer belangrijk voor de waterstanden rondom de Kampereilanden. In de volgende paragrafen wordt iedere factor verder toegelicht.



Figuur 4: De verschillende factoren die invloed hebben op de waterstanden rondom de Kampereilanden

4.2.2 IJssel

De IJssel is de grootste van de twee rivieren en is een aftakking van de Rijn. Deze rivier stroomt langs de zuidwestkant van de Kampereilanden. De IJssel heeft een lengte van ongeveer 125 kilometer en loopt van Westervoort naar het Ketelmeer. De IJsseldelta begint ten noorden van Kampen en bestaat uit het Keteldiep, het Kattendiep, het Noorddiep, het Ganzendiep en de Goot. Alleen het Keteldiep en het Kattendiep hebben nog een waterafvoerende functie, het Ganzendiep en de Goot zijn afgesloten door de Ganzensluis waardoor de IJssel niet meer in rechtstreeks contact staat met het Zwarte Meer. Het Noorddiep is tegenwoordig aan beide kanten ingedamd. Er zijn vergevorderde plannen om een hoogwatergeul tussen de IJssel bij Kampen en het Drontermeer bij Noordeinde aan te leggen. Vanaf 2017 zal de hoogwatergeul, Reevediep genaamd, beperkt inzetbaar zijn. Deze zogenaamde bypass zal de hoogwaterafvoer van de IJssel moeten opvangen en het stuk tussen Kampen en Zwolle ontlasten. De tweede fase van het project zal rond 2025 afgerond zijn. Omdat het water van het Drontermeer via het Vossemeer uiteindelijk alsnog in het Ketelmeer uit komt zal de aanleg van het Reevediep hoogstwaarschijnlijk weinig invloed hebben op de Kampereilanden. Meer onderzoek zou hier uitsluitsel over kunnen geven. (Rijkswaterstaat & Provincie Overijssel, 2015)

4.2.3 Vecht

De andere rivier is de Vecht. Dit is in tegenstelling tot de IJssel niet een smeltwaterrivier maar een regenwaterrivier. De totale lengte van de Vecht bedraagt ongeveer 167 kilometer, waarvan 60 kilometer in Nederland. De Vecht ontspringt in het Münsterland (Duitsland) en mondt uit in het Zwarte Water wat weer doorloopt in het Zwarte Meer. Het Zwarte Meer staat onder normale omstandigheden in open verbinding met het Ketelmeer dat overloopt in het IJsselmeer.

4.2.4 De Ramspolkering

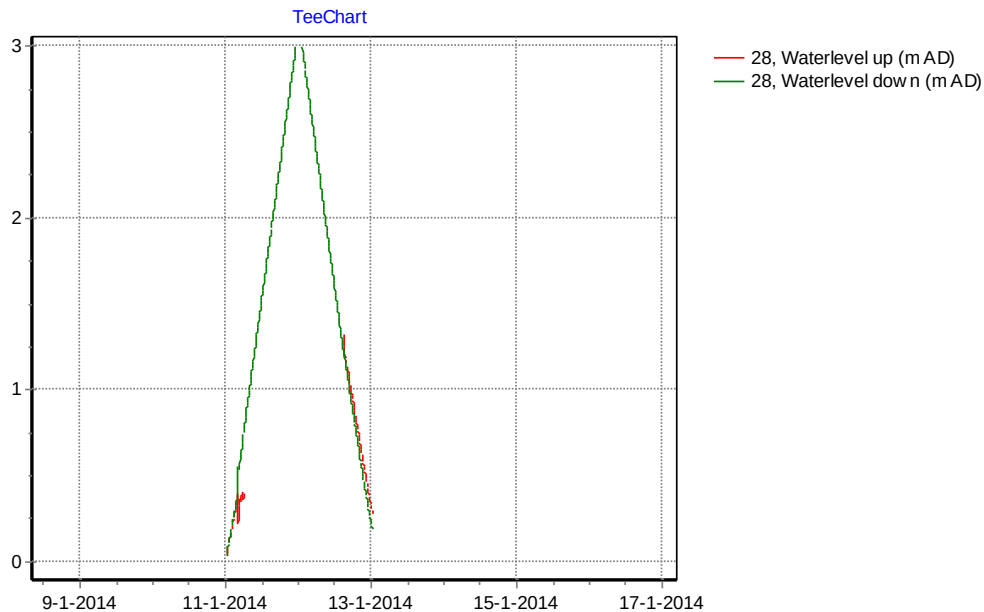
De Ramspolkering is gelegen tussen het Ketelmeer en het Zwarte Meer. Het is een opblaasbare dam, die ook wel een balgstuw genoemd wordt. Het is de grootste balgstuw van Europa en de enige die bedoeld is als stormvloedkering. De balgstuw is in 2002 in opdracht van het waterschap Groot Salland gebouwd. Wanneer het waterpeil op het Ketelmeer boven de +0,5m NAP komt en de stromingsrichting oostelijk is (van het Ketelmeer richting Zwarte Meer), wordt de balg gevuld met water en lucht zodat een stuw ontstaat met een



Figuur 5: Gesloten Ramspolkering bij storm op IJsselmeer (Waterschap Groot Salland, 2015)

kruinhoogte van +3,65m NAP. De sluitfrequentie voor de Ramspolkering is berekend op iets meer dan 1 keer per jaar. De Ramspolkering opent vervolgens weer als de waterstand aan de buitenzijde (Ketelmeer) lager wordt dan de waterstand aan de binnenzijde (Zwarte Meer). Het sluiten van de kering neemt ongeveer 1 uur in beslag, terwijl voor het openen 3 uur nodig is (Waterschap Groot Salland, 2015). De openingen in de kering zijn achtereenvolgens van noord naar zuid 61, 60 en 61 meter lang en hebben dus een totale lengte van 182 meter. Gemiddeld sluit de Ramspolkering iets meer dan 1x per jaar. (Chbab, 2012) De kans dat de Ramspolkering echter niet dicht gaat is 1/285 jaar (Leenders & Versteeg, 2014).

In figuur 6 is te zien wat de Ramspolkering nu precies doet. De groene lijn geeft de waterstand aan de Ketelmeerkant van de Ramspolkering weer. Te zien is een golf met een hoogte van 3 meter die ontstaan is door windopzet op het IJsselmeer. Zonder de Ramspolkering zal dit dus ook voor een waterstand van 3 meter zorgen op het Zwarte Meer. De rode lijn geeft de waterstand weer aan de Zwarte Meerkant bij sluiting van de Ramspolkering. Te zien is dat bij een waterstand van 0,5m het water gekeerd wordt, de reden dat de rode lijn alsnog stijgt is omdat het Zwarte Meer (dat bij een sluiting van de Ramspolkering gezien kan worden als een 'bakje') langzaam lineair vol loopt door de afvoer van de Vecht. Op een gegeven moment is de hoogwatergolf op het Ketelmeer voorbij en begint daar de waterstand te dalen. Als deze lager wordt dan de waterstand op het Zwarte Meer gaat de Ramspolkering weer open en zakt de waterstand op het Zwarte Meer weer snel.



Figuur 6: Waterstandverlaging op het Zwarte Meer door de sluiting van de Ramspolkering

4.2.5 Watersystemen rondom de Kampereilanden

In deze paragraaf zal nog iets dieper in gegaan worden op de watersystemen rondom de Kampereilanden. In principe zijn er twee watersystemen rondom de Kampereilanden te onderscheiden, ten westen van de Ramspolkering en ten oosten. Het watersysteem aan de oostkant wordt bepaald door de afvoer van de Vecht dat het Zwarte Meer instroomt en de waterstand op het Ketelmeer (is de Ramspolkering wel of niet gesloten?). Dit systeem heeft invloed op de noord-, oost- en zuidkant van de Kampereilanden. De situatie aan de westkant van de Ramspolkering wordt bepaald door de afvoer van de IJssel en de waterstand op het Ketelmeer. Dit systeem heeft invloed op de zuidwest- en westkant van de Kampereilanden. Er zijn dus twee verschillende hoogwaterdreigingen te onderscheiden voor de Kampereilanden, de situatie ten westen en de situatie ten oosten van de Ramspolkering. De situatie aan de oostkant van de Ramspolkering kan als maatgevend beschouwd worden, omdat het hier om regionale keringen gaat die aan een lagere norm moeten voldoen ten opzichte van de primaire keringen aan de westkant (1/500 versus 1/2000) en dus eerder zullen overstromen.

4.2.5.1 Oostkant Ramspolkering

De Kampereilanden worden dus omsloten aan de oostkant door de Vecht die over gaat in het Zwarte Water, dat vervolgens weer uitloopt in het Zwarte Meer. Zoals hierboven al vermeld staat het Zwarte Meer in open verbinding met het Ketelmeer, maar kan het onder bepaalde omstandigheden afgesloten worden door de Ramspolkering. In dat geval kan het Zwarte Meer als een bakje gezien worden waar alleen nog maar water in stroomt vanuit de Vecht. Door de gesloten Ramspolkering kan immers geen water meer afgevoerd worden. Dus gedurende de tijd dat de Ramspolkering gesloten is zal de waterstand in het Zwarte Meer langzaam oplopen, afhankelijk van de afvoer van de Vecht. Tegelijk met het Zwarte Meer zal door de open verbinding de waterstand in de Goot, de Veneriete en het Ganzendiep ook toenemen. Vanaf het moment dat de waterstand op het Ketelmeer lager is dan op het Zwarte Meer, zal Ramspol weer openen en zal de waterstand weer afnemen op het Zwarte Meer, de Goot, de Veneriete en het Ganzendiep.

4.2.5.2 *Westkant Ramspolkering*

Aan de zuidwestkant grenst het Kampereiland aan de IJssel en aan de westkant aan het Ketelmeer. De druk op de keringen zal hier vooral bepaald worden door de afvoer van de IJssel en door storm op het IJsselmeer. Als de wind uit het noordwesten komt zal door opstuwing vanuit het IJsselmeer de waterstand op het Ketelmeer het grootste zijn. Dit zal, in combinatie met de afvoer van de IJssel, de maatgevende hoogwaterstand bepalen. Er moet hier echter wel bij vermeld worden dat de keringen op de Kampereilanden aan de IJssel een overschrijdingskans van 1/2000 jaar hebben in plaats van de 1/500 jaar waar de rest van de keringen op de Kampereilanden aan moeten voldoen.

5 Theoretisch kader

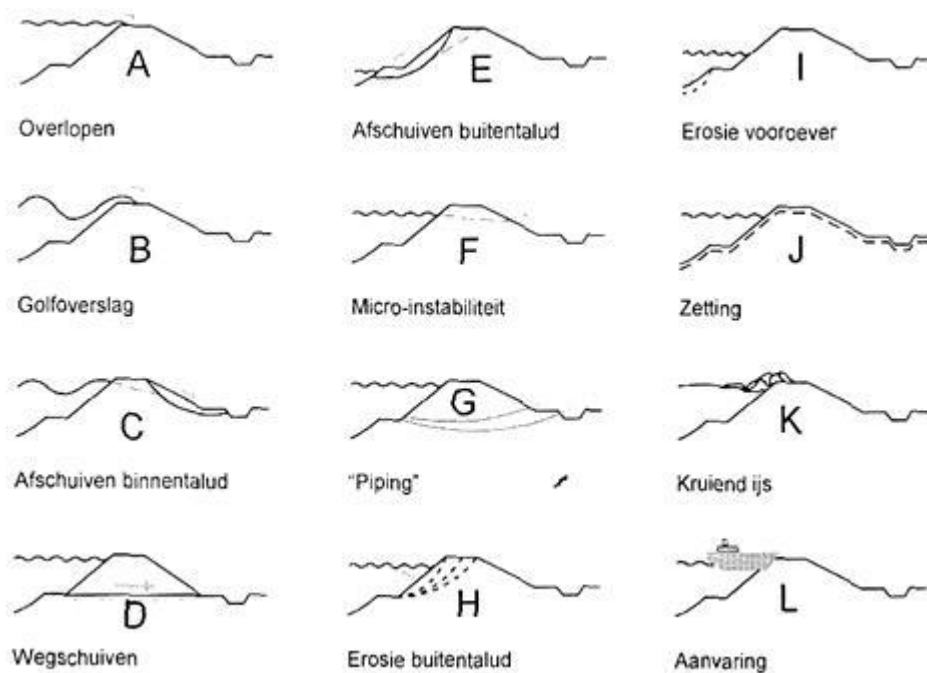
Voordat de overstromingsscenario's opgesteld kunnen worden is het belangrijk om eerst de theorie hierachter te begrijpen. Daarom zal in paragraaf 5.1 de theorie achter een dijkdoorbraak verder toegelicht worden. Waarna in paragraaf 5.2 ingegaan wordt op het gebruikte programma SOBEK1D2D, het bestaande rekenmodel en de aanpassingen die gedaan zijn om het bestaande model toepasbaar te maken op de case van de Kampereilanden.

5.1 Dijkdoorbraakscenario's

In deze paragraaf zal dieper ingegaan worden op hoe een dijkdoorbraak precies in elkaar zit. Eerst zal verteld worden op wat voor manieren een dijk allemaal kan bezwijken, waarna het moment van de doorbraak toegelicht wordt en tenslotte hoe een bres zich nu precies ontwikkelt.

5.1.1 Bezwijkmechanisme

Een dijk kan op verschillende manieren bezwijken. In de onderstaande afbeelding zijn alle mogelijke manieren van bezwijken opgesomd (Waterschap Aa en Maas, 2013). In dit onderzoek wordt van een doorbraak uitgegaan en dus niet van het overlopen van de dijk. De onderstaande bezwijkmechanismen zijn verder toegelicht in Bijlage 1.



Figuur 7: Verschillende bezwijkmechanisme (Waterschap Aa en Maas, 2013)

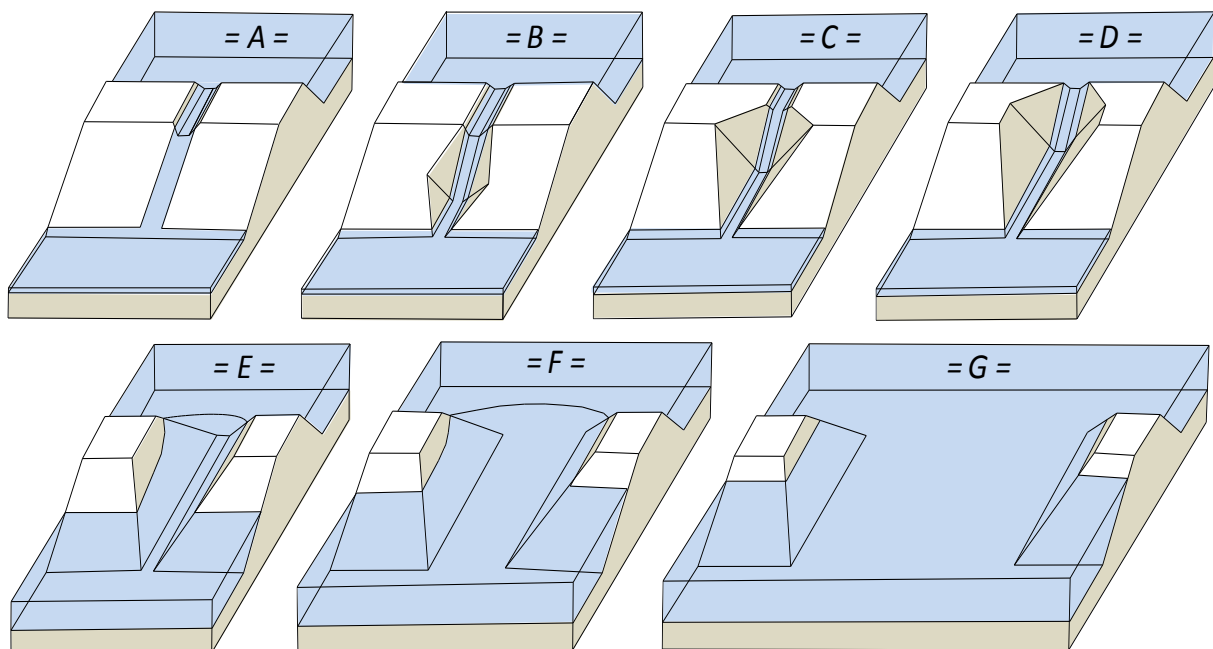
5.1.2 Moment van de doorbraak

Ook het moment van de doorbraak moet bepaald worden. Er kan namelijk een groot verschil zitten in de grootte van de overstroming bij verschillende momenten van de doorbraak. Zo zijn er drie verschillende scenario's te bedenken: (i) een doorbraak helemaal in het begin van de storm, (ii) een doorbraak op het moment dat de hoogste waterstand optreedt in het Zwarte Meer, of (iii) een doorbraak aan het einde van de storm. Als gekozen zou worden voor een doorbraak in het begin van de storm zal de overstroming het grootste zijn (er kan immers voor een langere periode water het

achterliggende gebied in stromen). Er zal dan van een worst-case scenario uitgegaan worden. Dit is echter een situatie die vrijwel nooit voorkomt doordat er dan nog geen water tegen de dijk aan staat en het dus niet heel realistisch is dat de dijk bezwijkt. Er zijn, zoals uit paragraaf 5.1.1 blijkt, veel verschillende manieren waarop een dijk kan bezwijken, met allemaal een ander moment waarop de dijk bezwijkt. Om het onderzoek in te kaderen zal een moment gekozen worden waarop de dijk doorbreekt. In de gevoeligheidsanalyse (hoofdstuk 6.3) zal gekeken worden naar de invloed van het moment van de doorbraak op de grootte van de overstroming. Aan de hand hier van zal één moment gekozen worden dat gebruikt wordt voor alle overstromingsberekeningen.

5.1.3 Bresgroei

Als een dijk bezwijkt ontstaat er een bres en begint er water door de opening te stromen. Door deze stroming zal de bres langzaam maar zeker steeds groter worden. In figuur 8 is te zien hoe dit in stappen gebeurt. Op moment =A= ontstaat de bres, die vervolgens eerst steeds dieper zal worden (=B, C en D=), totdat het diepste punt (=E=) is bereikt. Vanaf dat moment zal de bres zich ook in de breedte gaan uitbreiden (=F en G=).



Figuur 8: Bresgroei (3Di waterbeheer, 2015)

5.2 Modelling

In deze paragraaf zal het gebruikte programma SOBEK1D2D, het bestaande model en de aanpassingen gedaan in het model worden uitgelegd. Aangezien er al een gekalibreerd model aanwezig is zal er globaal beschreven worden hoe dit model is opgebouwd. Vervolgens zullen de veranderingen die zijn gedaan in het model om een zo realistisch mogelijk beeld te krijgen van de situatie rondom de Kampereilanden tijdens een dijkdoorbraak verder toegelicht worden.

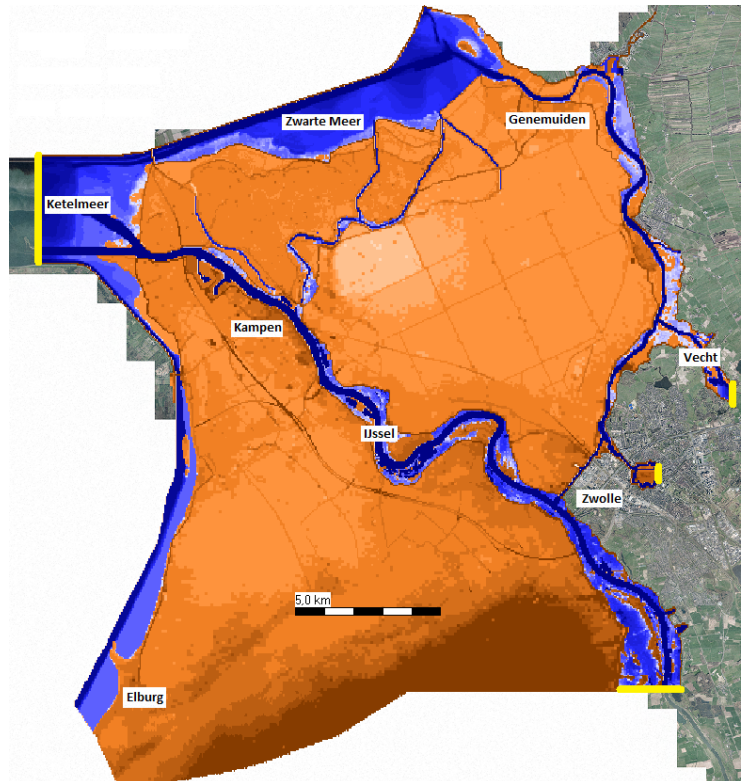
5.2.1 SOBEK 1D2D

SOBEK1D2D is een programma dat ontwikkeld is door Deltares. Het programma kan voor veel verschillende doeleinden gebruikt worden zoals overstromingsmodellering, overstromingsvoorspellingen, optimalisatie van drainage systemen, controleren van irrigatie

systemen, riool overloop ontwerpen, rivier morfologie, zout indringing en oppervlakte water kwaliteit. Het is hierdoor mogelijk om complexe waterstromen en systemen te simuleren. Er kan hierbij gebruikt gemaakt worden van 1D netwerk systemen en 2D horizontale grids (Delft Software Australia, 2015). Voor dit onderzoek is een combinatie van deze twee gebruikt, namelijk een 2D grid (een hoogte kaart) en 1D elementen (Ramspolkering en de bres) die samen een zo realistisch mogelijke schematisatie geven van het watersysteem bij de Kampereilanden.

5.2.2 Bestaand model

Voor de IJssel- Vechtdelta is al een bestaand en gekalibreerd model aanwezig. Dit model is geleverd door het adviesbureau 'HKV lijn in water'. Het model heeft een gridgrootte van 50x50m (iedere grid heeft een hoogte meegekregen ten opzichte van NAP) en in totaal 481 gridpunten in de x-richting en 575 in de y-richting. Het gebied heeft dus in totaal een grootte van 24 km x 29 km $\approx$ 691 km². In het model is een hoogtebestand van AHN1 ingeladen, dat HKV op aanvraag van het Waterschap Groot Salland heeft aangepast met de actuele hoogtes van de keringen (Leenders & Silva, 2014). In figuur 9 is het 2D grid van het model te zien, met de ingeladen hoogtekaart en de belangrijke plaatsen en wateren. Verder zijn er 4 gele lijnen zichtbaar, dit zijn de punten waar water het model in kan stromen. Van boven naar beneden zijn dit het Ketelmeer, de Vecht, de Sallandse Wetering en de IJssel. Voor dit onderzoek is echter alleen het bovenste gedeelte van het model van toepassing, de Kampereilanden, gelegen tussen het Ketelmeer, Kampen, het Zwarte Meer en Genemuiden.



Figuur 9: 2D grid van het model met hoogtekaart

5.2.3 Aanpassingen

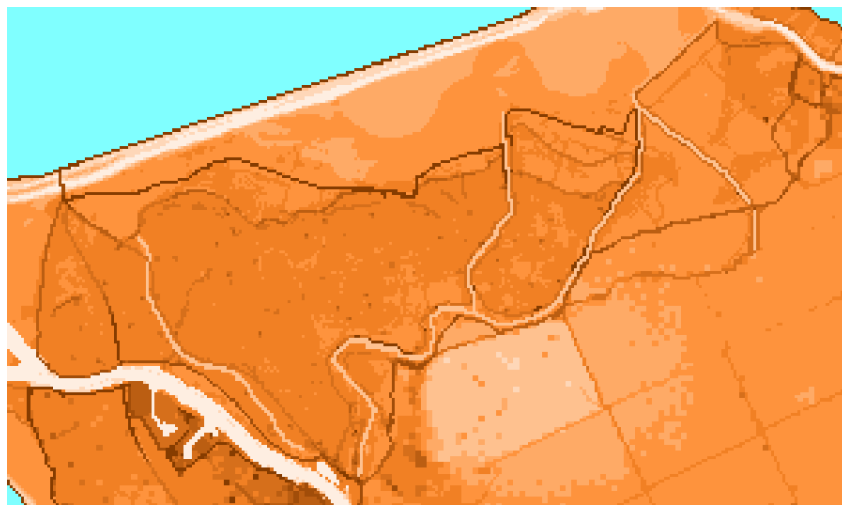
Het bestaande model zoals hierboven beschreven was nog niet helemaal klaar voor het runnen van de overstromingsberekeningen voor de Kampereilanden. Er waren nog een aantal aanpassingen die eerst gedaan moesten worden, zoals het modelleren van de Ramspolkering die nog niet goed in het model verwerkt was maar natuurlijk wel een cruciale rol speelt in de overstromingsberekeningen. Daarnaast was het nodig om dijkophogingen toe te passen in de hoogtegridkaart en als laatste natuurlijk het modelleren van een bres. Deze drie aanpassingen zijn in de sub paragrafen hieronder verder toegelicht. Met deze aanpassingen kan, door het variëren van de hydraulische randvoorwaarden, een dijkdoorbraak zo realistisch mogelijk gesimuleerd worden en dus de grootte van een overstroming bij een uitgangssituatie van 1/500 jaar bepaald worden.

5.2.3.1 Ramspolkering

De Ramspolkering stond in het bestaande model als vaste kering gemodelleerd. Met punten op de hoogtekaart die de hoogte van een gesloten Ramspolkering hebben. Dit klopt natuurlijk niet aangezien de kering in principe altijd open staat, behalve bij een Ketelmeerpeil van +0,5m NAP en een stroming in oostelijke richting. Omdat de Ramspolkering een belangrijke rol speelt in de overstromingsscenario's rondom de Kampereilanden is er voor gekozen om deze kering zo realistisch mogelijk in het model te zetten. Dit is gedaan door de Ramspolkering als 1D element erin te zetten. Hierin wordt aangegeven wat de breedte van de kering is, de hoogte in gesloten en geopende toestand, de richting waarin het water door de kering kan stromen en de tijd waarin de kering geopend dan wel gesloten is. In het volgende hoofdstuk zal verder ingegaan worden op de invulling van de Ramspolkering in het model.

5.2.3.2 Dijkophoging

Zoals in paragraaf 4.1 beschreven, wordt een deel van de keringen van de Kampereilanden aan het Zwarte Meer verhoogd. Dit was nog niet verwerkt in de hoogtekaart in het bestaande model. Daarom zijn deze keringen handmatig verhoogd zodat er geen overtoppingsoverstromingen kunnen plaatsvinden. Omdat tijdens het maken van dit model deze hoogtes nog niet bekend waren zijn deze op +25m NAP gezet. Dit lijkt extreem maar zal geen verschil uit maken voor de berekeningen. Zo kan namelijk zeker uitgesloten worden dat er een overtoppingsoverstroming plaats vindt. In de onderstaande figuur zijn de donkerdere lijnen waar de keringen verhoogd zijn duidelijk zichtbaar.



Figuur 10: Dijkverhoging op de Kampereilanden in het model

5.2.3.3 Bresgroei

Ook bij het modelleren van een bres wordt een 1D element toegevoegd. SOBEK1D2D biedt twee manieren om dit te doen, met een dambreaknode en een dambreakbranch. Met een dambreaknode kan een grid op de hoogtekaart op een bepaald moment verlaagd worden, zodat een dijkdoorbraak gesimuleerd kan worden. De tweede optie is met een dambreakbranch. Hierbij wordt een doorstroomprofiel gemodelleerd dat over de tijd de stappen van figuur 9 kan doorlopen. Bij het modelleren is van de tweede optie uitgegaan omdat deze een stuk realistischer is. Het verloop van een bres is met formules uit te rekenen, die ook zijn meegenomen in deze bresmodellering. Hierbij is de mogelijkheid om in het rekenmodel te kiezen tussen de formules van Van der Knaap (2000) en die van Verheij-Van der Knaap (2002) (zie bijlage 2). Over de keuze van een van deze twee formules volgt in het volgende hoofdstuk bij de gevoeligheidsanalyse meer.

6 Opstellen overstromingsscenario's

Voordat begonnen kan worden met de overstromingsberekeningen moet eerst een algemeen overstromingsscenario opgesteld worden. Maar wat is nu precies een overstromingsscenario? Om een overstromingsscenario op te stellen moeten een aantal stappen ondernomen en keuzes gemaakt worden. In paragraaf 6.1 zal met behulp van een stappenplan verder toegelicht worden welke stappen er genomen en welke keuzes er gemaakt worden om tot de eindresultaten te komen. In paragraaf 6.2 (hydraulische randvoorwaarden), 6.3 (gevoeligheidsanalyse), 6.4 (randvoorwaarden voor overstromingsscenario's) en 6.5 (bepalen breslocaties) zullen deze stappen verder uitgelegd worden. Er zal hierbij verwezen worden naar de bijbehorende stappen uit figuur 11.

6.1 Stappenplan

In deze paragraaf zal het stappenplan in figuur 11 verder toegelicht worden. Er zal per stap toegelicht worden wat deze stap inhoudt en wat de input voor die stap is.

Stap 1 Bepalen maatgevende hoogwaterstand (MHW)

Bij een normering van 1/500 jaar hoort een bepaalde waterhoogte op het Zwarte Meer. Door deze MHW vast te stellen wordt de eerste stap gezet in het bepalen van de hydraulische randvoorwaarden voor de Kampereilanden. Zie paragraaf 6.2.1.

Input: De maatgevende hoogwaterstanden uit het modelleerprogramma Hydra-VII.

Stap 2 Bepalen waterstand Ketelmeer

De waterstand op het Ketelmeer bepaald de sluitingstijd van de Ramspolkering. In paragraaf 6.2.2 zal het waterstandsverloop van het Ketelmeer verder toegelicht worden.

Input: Zomer- en winterpeil Ketelmeer, gemiddelde stormduur en maatgevende waterstand Ketelmeer.

Stap 3 Bepalen sluitingstijd Ramspolkering

Met behulp van de in stap 1 bepaalde MHW voor het Zwarte Meer en de in stap 2 bepaalde waterstand op het Ketelmeer kan nu de sluitingstijd van de Ramspolkering bepaald worden. Zie paragraaf 6.2.3.

Input: Randvoorwaarde voor een Ramspolsluiting, waterstandsverloop Ketelmeer en MHW Zwarte Meer.

Stap 4 Bepalen afvoer Vecht

Nu bekend is hoe lang de Ramspolkering dicht zit en wat de MHW op het Zwarte Meer is kan de laatste stap ingevuld worden, de Vechtafvoer. De Vechtafvoer moet namelijk zo zijn dat precies de MHW op het Zwarte Meer bereikt wordt in de tijd dat de Ramspolkering dicht zit. Dit wordt verder uitgewerkt in paragraaf 6.2.4.

Input: Duur van de Ramspolsluiting en MHW Zwarte Meer.

Stap 5 Opstellen hydraulische randvoorwaarden

Stap 1 tot en met 4 vormen samen de hydraulische randvoorwaarden die van toepassing zijn op de Kampereilanden. Een aantal hiervan zullen in de stappen 7 tot en met 10 getest worden op hun gevoeligheid op de grootte van de overstroming.

Input: MHW Zwarte Meer, waterstand Ketelmeer, sluitingstijd Ramspolkering en afvoer Vecht.

Stap 6 Opstellen beginsituatie

Om een gevoeligheidsanalyse uit te kunnen voeren moet er ergens mee vergeleken kunnen worden. Hiervoor wordt een vaste breslocatie gekozen met vastgestelde hydraulische randvoorwaarden, zodat de randvoorwaarde daarna één voor één verandert kunnen worden. En er daarna gekeken kan worden naar de invloeden van iedere individuele randvoorwaarde. Zie paragraaf 6.3.

Input: Breslocatie zuidkant Kampereiland bij het Ganzendiep, afvoer Vecht 255 m³/s, doorbraak op $t = 0$ (het moment dat de storm begint), de bresgroeiformule van Verheij en een Ramspolsluiting van 30,5 uur.

Stap 7 Testen bres op $t = h_{\max}$

De eerste hydraulische randvoorwaarde die getest wordt is het moment van de doorbraak. In paragraaf 6.3.1 wordt verder toegelicht wat het verschil is in de grootte van de overstroming bij een doorbraak op $t = h_{\max}$ ten opzichte van $t = 0$.

Input: Breslocatie zuidkant Kampereiland bij het Ganzendiep, afvoer Vecht 255 m³/s, doorbraak op $t = h_{\max}$ (het moment dat de maximale waterstand bereikt wordt), de bresgroeiformule van Verheij en een Ramspolsluiting van 30,5 uur.

Stap 8 Testen Vechtafvoer

De volgende stap die ondernomen moet worden is het testen van de Vechtafvoer. Wat gebeurt er met de grootte van de overstroming als de Vechtafvoer hoger is? Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 6.3.2.

Input: Breslocatie zuidkant Kampereiland bij het Ganzendiep, afvoer Vecht 300 m³/s, doorbraak op $t = 0$ (het moment dat de storm begint), de bresgroeiformule van Verheij en een Ramspolsluiting van 30,5 uur.

Stap 9 Testen langere storm

Verder wordt ook de duur van de storm getest, oftewel de tijd dat de Ramspolkering dicht zit. Zie paragraaf 6.3.3.

Input: Breslocatie zuidkant Kampereiland bij het Ganzendiep, afvoer Vecht 255 m³/s, doorbraak op $t = 0$ (het moment dat de storm begint), de bresgroeiformule van Verheij en een Ramspolsluiting van 32,5 uur.

Stap 10 Testen Verheij versus Van der Knaap

De laatste stap van de gevoeligheidsanalyse is het testen van verschillende bresgroeiformules. Wat is het verschil tussen de twee formules en wat voor invloed hebben ze op de grootte van de overstroming? Zie paragraaf 6.3.4.

Input: Breslocatie zuidkant Kampereiland bij het Ganzendiep, afvoer Vecht 255 m³/s, doorbraak op t = 0 (het moment dat de storm begint), de bresgroeiformule van Van der Knaap en een Ramspolsluiting van 30,5 uur.

Stap 11 Gevoeligheidsanalyse

De resultaten uit stap 6 tot en met 10 vormen samen de bouwstenen voor de gevoeligheidsanalyse. Zie heel paragraaf 6.3.

Input: Stap 6 tot en met 10.

Stap 12 Randvoorwaarden overstromingsscenario's

Nu de hydraulische randvoorwaarden bekend zijn en deze getest zijn in een gevoeligheidsanalyse, is de volgende stap die gezet moet worden het samenvoegen van deze resultaten. Op basis van deze resultaten moeten een aantal keuzes gemaakt worden, zodat een overstromingsscenario opgezet kan worden waarmee de overstromingsberekeningen gedaan kunnen worden. Zie paragraaf 6.4.

Input: Hydraulische randvoorwaarden en resultaten uit de gevoeligheidsanalyse.

Stap 13 Bepalen breslocaties

Nu de randvoorwaarden voor het overstromingsscenario bekend zijn is de laatste stap die nog gedaan moet worden, voordat begonnen kan worden met de overstromingsberekeningen, het bepalen van de breslocaties. Om een volledig beeld te krijgen van de mogelijke gevolgen van een overstroming is het belangrijk om de breslocaties zo goed mogelijk te bepalen. Zie paragraaf 6.5.

Input: Algemene Hoogtekaart Nederland (AHN), sterkte van de keringen, locaties van wegen en slaperdijken.

Stap 14 Overstromingsberekeningen

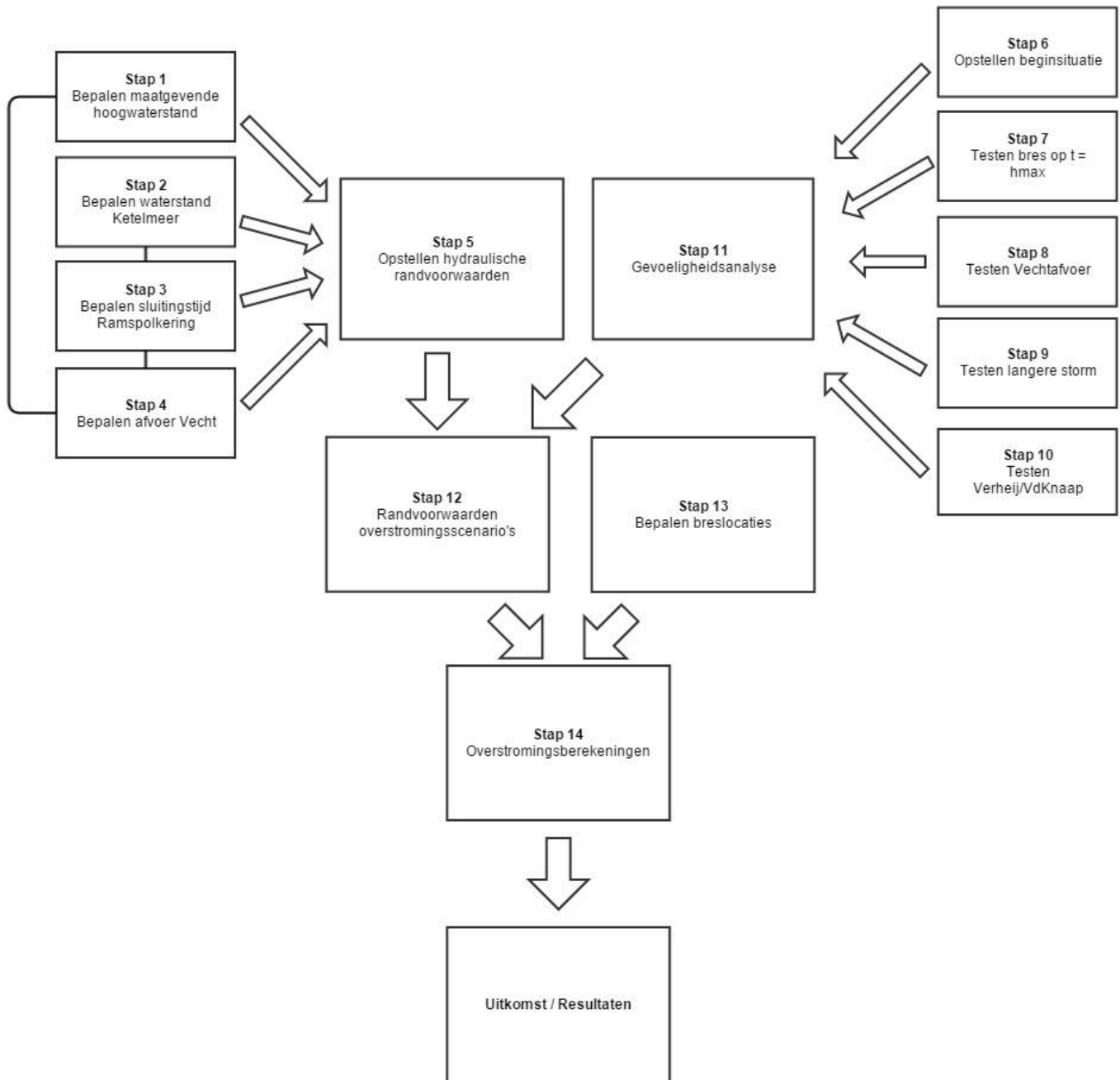
Met behulp van stap 12 en 13 kunnen nu de overstromingsberekeningen gedaan worden. Iedere bij stap 13 bepaalde breslocatie zal met de randvoorwaarden uit stap 12 doorgerekend worden, zodat een volledig overzicht gekregen wordt van de mogelijke overstromingen op de Kampereilanden.

Input: Randvoorwaarden overstromingsscenario's en de bepaalde breslocaties

Uitkomst / Resultaten

In hoofdstuk 7 zullen de resultaten die uit de overstromingsberekeningen volgen besproken worden.

Input: Overstromingsberekeningen en gevoeligheidsanalyse.



Figuur 11: Stappenplan overstromingsberekeningen

6.2 Hydraulische randvoorwaarden

Er zal alleen gerekend worden met de situatie ten oosten van de Ramspolkering zoals beschreven in paragraaf 4.2.5.1. De situatie ten westen van de Ramspolkering zal vanaf nu buiten beschouwing gelaten worden. Er zal zo goed mogelijk een 1/500 scenario voor de Kampereilanden benadert worden. De maatgevende hoogwaterstanden voor de Kampereilanden zijn al bekend (Nieuwenhuijzen, 2009), maar het verloop van de waterstanden niet. Er zijn vele verschillende 1/500 scenario's te maken (met verschillende verlopen). Daarom zullen er in deze paragraaf keuzes gemaakt worden om tot één maatgevend scenario te komen. De hydraulische randvoorwaarden zullen in

meerdere sub paragrafen onderverdeeld worden: maatgevende hoogwaterstand op het Zwarte Meer, waterstand op het Ketelmeer, sluitingstijd van de Ramspolkering, afvoer van de Vecht en de afvoer van de IJssel.

6.2.1 Maatgevende hoogwaterstand op het Zwarte Meer

Stap 1: Met behulp van het modelleerprogramma Hydra-VII zijn de maatgevende hoogwaterstanden (MHW) voor de Kampereilanden behorende bij de 1/500 normering uitgerekend (zie tabel 1). Deze zijn bepaald door rekening te houden met de combinaties van kansen van voorkomen van hoge windsnelheden, hoogwater op de Vecht, IJssel en het IJsselmeer, alsmede de sluiting van de kering Ramspol (Nieuwenhuijzen, 2009). In de onderstaande tabel zijn de MHW's die bij deze normering horen weergegeven (Goor, 2011). Hierbij moet opgemerkt worden dat de scheefstand op het Zwarte Meer duidelijk zichtbaar is door de windopstuwing, hoe verder weg van de Ramspolkering hoe hoger het water staat. Uitvoerlocatie 54 bevindt zich bij de Ramspolkering en uitvoerlocatie 46 bevindt zich ter hoogte van de Mandjeswaard. Het is echter niet mogelijk windopstuwing te modelleren in SOBEK1D2D, daarom wordt gekozen om een gemiddelde waterstand van +1,40m NAP te benaderen in het model. Zoals al vermeld zijn er verschillende manieren om de +1,40m NAP te bereiken. Uit de analyse van Geerse (2006) blijkt dat wind de grootste kansbijdrage heeft in de MHW langs de Kampereilanden. Er zal daarom aangenomen worden dat wind als de maatgevende factor gezien wordt, met dus een relatief lange Ramspolsluiting tot gevolg en een relatief lage Vechtafvoer.

Tabel 1: Vastgestelde maatgevende hoogwaterstanden Kampereiland (Besluit Gedeputeerde Staten van Overijssel, dd 9 maart 2010; kenmerk 2010/0034456) (Goor, 2011)

Locatie	MHW (m+NAP)
Kampereiland	
Ganzendiep 1 (Ganzendiep-aansluiting Goot; dp 16,6-13,4)	1,40
Ganzendiep 2 (aansluiting Goot-monding Ganzendiep in Zwarte Meer; 13,4-8,2)	1,40
Zwarte Meer 4 (uitvoerlocatie 47-48 Hydra-VII; dp 8,2-6,7)	1,40
Zwarte Meer 3 (uitvoerlocatie 49-50 Hydra-VII; dp 6,7-4,3)	1,35
Zwarte Meer 2 (uitvoerlocatie 51-53 Hydra-VII; dp 4,3-3,0)	1,30
Zwarte Meer 1 (uitvoerlocatie 54-Ramspol Hydra-VII; dp 3,0-0)	1,25
Mandjeswaard	
Ganzendiep 2 (aansluiting Goot-monding Ganzendiep in Zwarte Meer; dp 5,2-8,8)	1,40
Goot (dp 0,0-5,2)	1,45
Zwarte Meer 5 (uitvoerlocatie 46-47; dp 8,8-11,6)	1,45
De Pieper	
Goot (dp 0,0-2,9)	1,45
Venerietkanaal (dp 2,9-5,4)	1,50
Zuiderzeepolder	
Venerietkanaal (0,0-2,8)	1,50
Zwarte Meer 5 (uitvoerlocatie 46-47; dp 2,8-4,75)	1,45
Zwarte Water (dp 4,75-6,7)	1,50

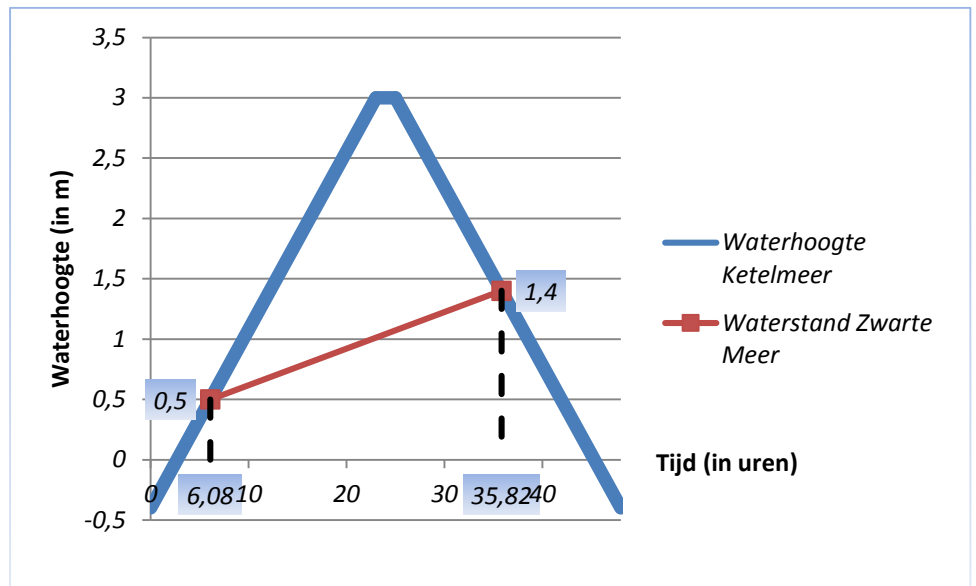
6.2.2 Waterstand op het Ketelmeer

Stap 2: De waterstand op het Ketelmeer is een vrij bepalende factor voor de situatie aan de oostkant van de Ramspolkering. Als de waterstand namelijk boven de +0,5m NAP staat zal de kering gesloten zijn. Aangezien bij het gemiddelde zomer- en winterpeil, respectievelijk -0,2m en -0,4m NAP, de Ramspolkering niet zal sluiten zal er gekozen worden voor een storm op het IJsselmeer. Een storm met een noordwester wind zal voor de hoogste schuinstand zorgen op het Ketelmeer. Volgens Geerse duurt een gemiddelde storm 48 uur, met een windsnelheidsverloop in de vorm van een trapezium (zie figuur 12) (Geerse, 2006). Er wordt hierbij aangenomen dat de waterstand op het Ketelmeer dezelfde trapeziumvorm doorloopt als het windverloop. In 23 uur loopt de waterstand lineair op van -0,4m NAP (winterpeil) naar de

maximale waarde. Deze maximale waarde treedt vervolgens twee uur op. Daarna neemt de waterstand opnieuw in 23 uur lineair af tot -0,4m NAP (Geerse, 2006). De maatgevende waterstand op het Ketelmeer met een frequentie van 1/2000 jaar is vastgesteld op +3m NAP (Leenders & Silva, 2014). Deze waterstand is een overschatting van de 1/500 normering voor de

Kampereilanden. Er wordt

hier echter toch voor gekozen omdat de Ramspolkering ook een normering van 1/2000 heeft en wind als maatgevend gezien wordt. In het model is de golf echter gemodelleerd op een vaste waterstand van +0,5m NAP op het Ketelmeer, omdat anders het Kampereiland overstroomt aan de westkant door een golf van 3 meter. Dit zou de resultaten beïnvloeden, terwijl eigenlijk alleen de duur van de sluiting van de Ramspolkering die volgt uit de hoogte van de golf van belang is voor de overstromingsberekening. Vanaf het moment dat de Ramspolkering weer open gaat zakt de waterstand op het Ketelmeer in het model weer tot -0,4m NAP. Naast dat dit normaal ook zal gebeuren zal zo ook voorkomen worden dat het achterliggende land bij een bres blijft volstromen omdat het vaak lager gelegen is dan +0,5m NAP.



Figuur 12: Waterstandsverloop op het Ketelmeer over de tijd

6.2.3 Sluitingstijd van de Ramspolkering

Stap 3: Als gekeken wordt naar figuur 12 kan hieruit bepaald worden hoe lang de Ramspolkering ongeveer dicht zal zitten. De Ramspolkering gaat dus dicht op het moment dat de waterstand op het Ketelmeer +0,5m NAP bereikt (linker knooppunt blauwe en rode lijn). De kering zal vervolgens weer openen op het moment dat de waterstand op het Zwarte Meer hoger is als op het Ketelmeer, dit is te bepalen omdat de MHW voor het Zwarte Meer op +1,40m NAP gesteld is (rechter knooppunt). Met deze uitgangswaarden zit Ramspol een kleine 30 uur dicht.

6.2.4 Afvoer van de Vecht

Stap 4: Nu bekend is hoelang de Ramspolkering gesloten is en wat de waterstand op het Zwarte Meer is behorende bij een 1/500 normering, kan de afvoer van de Vecht bepaald worden. Deze afvoer moet namelijk ervoor zorgen dat in tijd dat de Ramspolkering gesloten is de waterstand op het Zwarte Meer op loopt tot +1,40m NAP. Allereerst is met behulp van een vereenvoudigd 1D-model een schatting gemaakt wat deze afvoer ongeveer zou moeten zijn. De uitkomst hiervan was 300m³/s. Nadat dit ingevoerd was in het 2D-model bleek dat de waterstand te hoog was en is met behulp van een iteratief proces uiteindelijk tot de juiste afvoer van 255m³/s op de Vecht gekomen. Met deze afvoer wordt precies een waterstand van +1,40m NAP bereikt op het moment dat de Ramspolkering weer open gaat. In het model is de afvoer van de Vecht gedefinieerd als het water dat het Zwarte Meer in stroomt. In het model is dit een optelsom van 245m³/s voor de Vecht en 10m³/s voor de Sallandse wetering, die samen op het Zwarte Meer in stromen.

6.2.5 Afvoer van de IJssel

Voor de gekozen situatie aan de oostkant van Ramspol is de afvoer van de IJssel niet van belang. Om toch een doorstromend model te blijven houden wordt de gemiddelde afvoer op de IJssel genomen, 900 m³/s (Geerse, 2006).

6.2.6 Slaperdijken en wegen

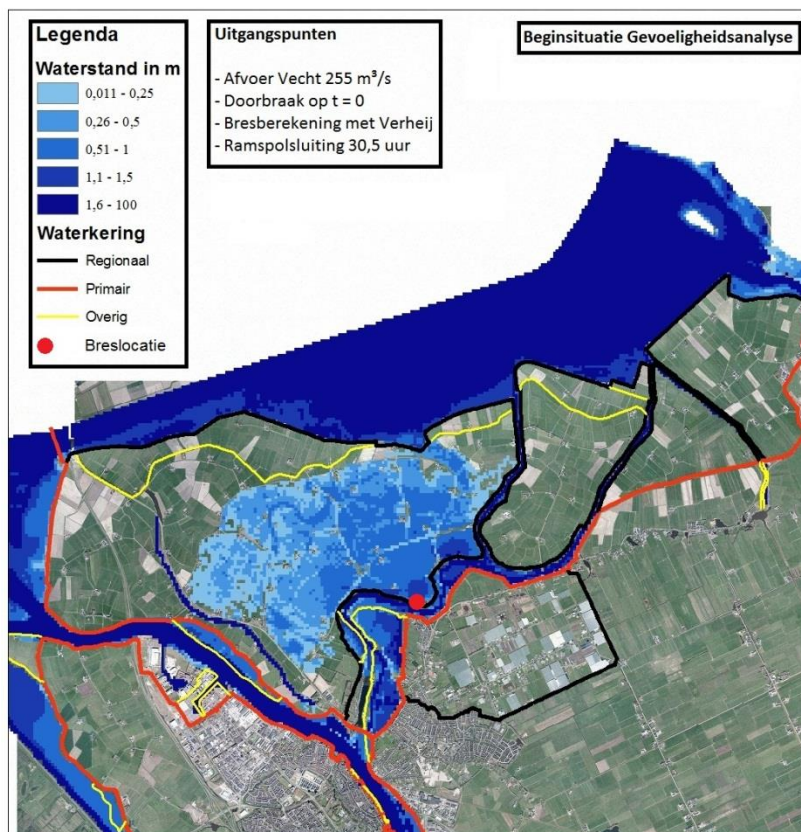
Voor de slaperdijken en wegen in de polders van de Kampereilanden zal aangenomen worden dat deze standzeker (niet bezwijken en het water keren) zijn.

6.3 Gevoeligheidsanalyse

In deze paragraaf zal de gevoeligheidsanalyse gedaan worden. De resultaten uit de gevoeligheidsanalyse zullen twee doeleinden hebben. Ten eerste zullen dit de bouwstenen zijn voor het opstellen van het 'nulscenario' dat gebruikt zal worden voor de overstromingsberekeningen. En ten tweede biedt het inzicht in de gevoeligheid van de randvoorwaarden. Zijn er hydraulische randvoorwaarden die als ze hoger uitvallen voor dermate grotere overstromingen zorgen dat ze nauwlettend in de gaten gehouden moeten worden tijdens hoogwatersituaties?

Er zullen vier hydraulische randvoorwaarden getoetst worden. Om de gevoeligheid van de overstroming bij deze hydraulische randvoorwaarden te bepalen zal een breslocatie gekozen worden die vijf keer doorgerekend wordt, waarin iedere keer 1 randvoorwaarde verandert wordt ten opzichte van de gekozen beginsituatie (stap 6). De gekozen breslocatie is op het Kampereiland aan de zuidkant bij het Ganzendiep. De beginsituatie (figuur 13) wordt doorberekend met een afvoer van 255 m³/s op de Vecht, een doorbraak op $t = 0$ ($t = 0$ is moment dat de storm begint), de bresgroeiformule van Verheij en een Ramspolsluiting van 30,5 uur. Hieronder staan de vijf berekeningen verder toegelicht, de aanpassing ten opzichte van de beginsituatie is dikgedrukt weergegeven. Tussen haakjes staan de gebruikte hydraulische randvoorwaarden. Achtereenvolgens; Vechtafvoer, moment van de doorbraak, sluitingstijd Ramspolkering en gebruikte bresformule.

- | | |
|---|---|
| 1) Beginsituatie | (255 m ³ /s, $t = 0$, Verheij, 30,5 uur) |
| 2) Situatie met bres op maximale waterstand | (255 m ³ /s, $t = h_{\max}$, Verheij, 30,5 uur) |
| 3) Situatie met hogere Vechtafvoer | (300 m³/s, $t = 0$, Verheij, 30,5 uur) |
| 4) Situatie met 2 uur langere storm | (255 m ³ /s, $t = 0$, Verheij, 32,5 uur) |
| 5) Situatie met Van der Knaap | (255 m ³ /s, $t = 0$, Van der Knaap , 30,5 uur) |

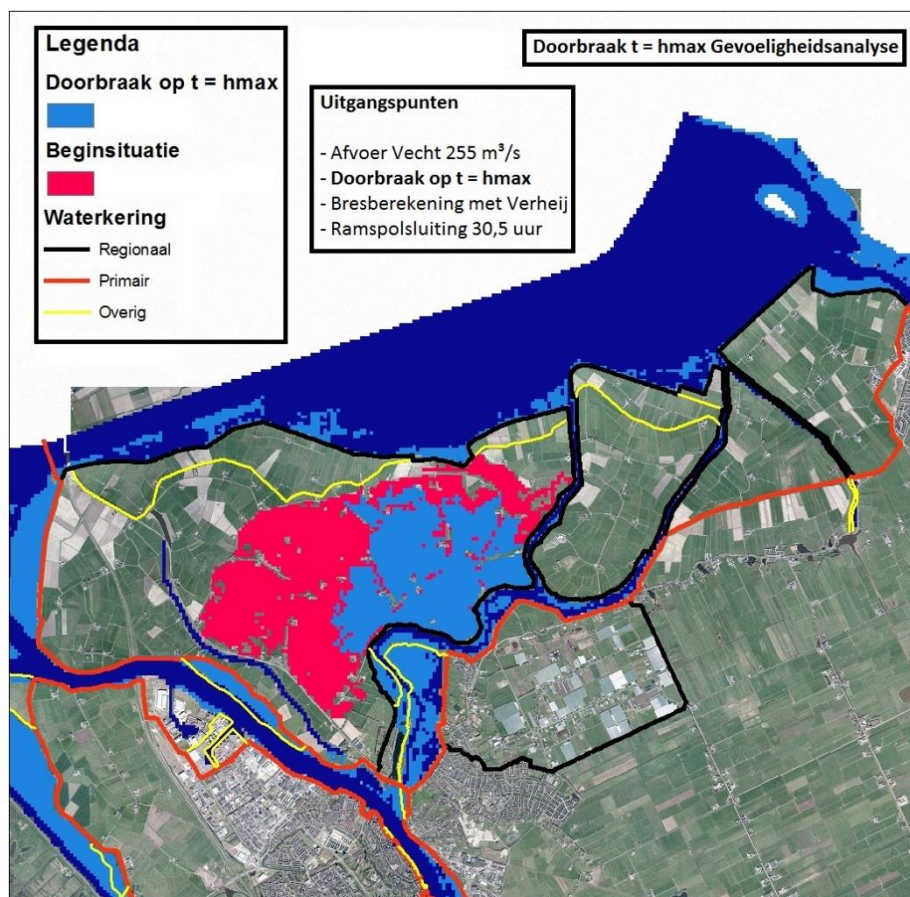


Figuur 13: Beginsituatie gevoeligheidsanalyse

Er wordt in de gevoeligheidsanalyse alleen gekeken naar de grootte van een overstroming, niet naar de dieptes. Zodat makkelijker het verschil gezien kan worden tussen de invloeden van de verschillende randvoorwaarden. Vandaar dat vanaf nu bij zowel de beginsituatie als bij de vergeleken overstroming de gehele overstroming dezelfde kleur heeft. De kleinste van de twee overstromingen heeft de kleur blauw en de grootste de kleur rood. Kijk dus goed in de legenda om te zien welke bij welke hoort!

6.3.1 Moment van de doorbraak

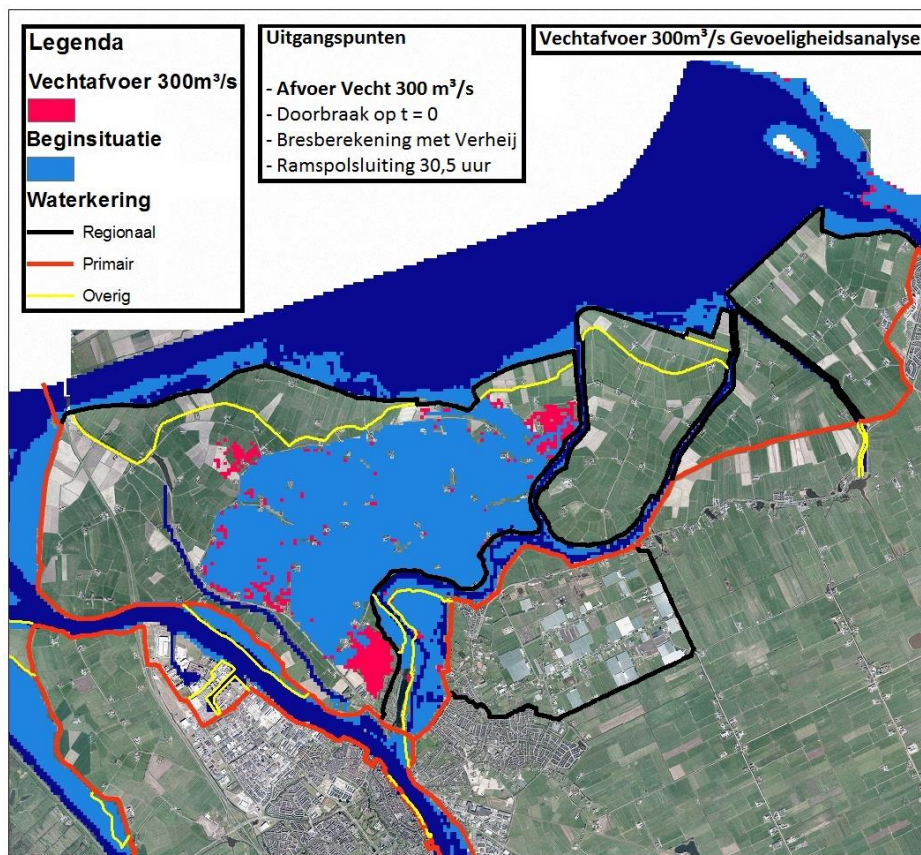
Stap 7: De eerste hydraulische randvoorwaarde waarvan gekeken wordt wat voor invloeden deze op de grootte van de overstroming heeft is het moment van de doorbraak. In figuur 14 is een duidelijk verschil te zien in de grootte van de overstroming tussen een doorbraak op $t = 0$ (doorbraak begin van de storm) en $t = h_{\max}$ (doorbraak op het punt dat de maximale waterstand van +1,40m NAP bereikt wordt). Dit verschil is goed te verklaren, op het moment dat de storm begint moet al het hoogwater nog komen en kan er voor een veel langere tijd water het achterliggende gebied in stromen. Voor de overstromingsberekeningen is het belangrijk dat een zo realistisch mogelijk moment gekozen wordt waarop de bres ontstaat. Wel belangrijk om in de gaten te houden dat als de bres eerder ontstaat de overstroming aanzienlijk groter zal zijn.



Figuur 14: Gevoeligheid van moment van de doorbraak

6.3.2 Vechtafvoer

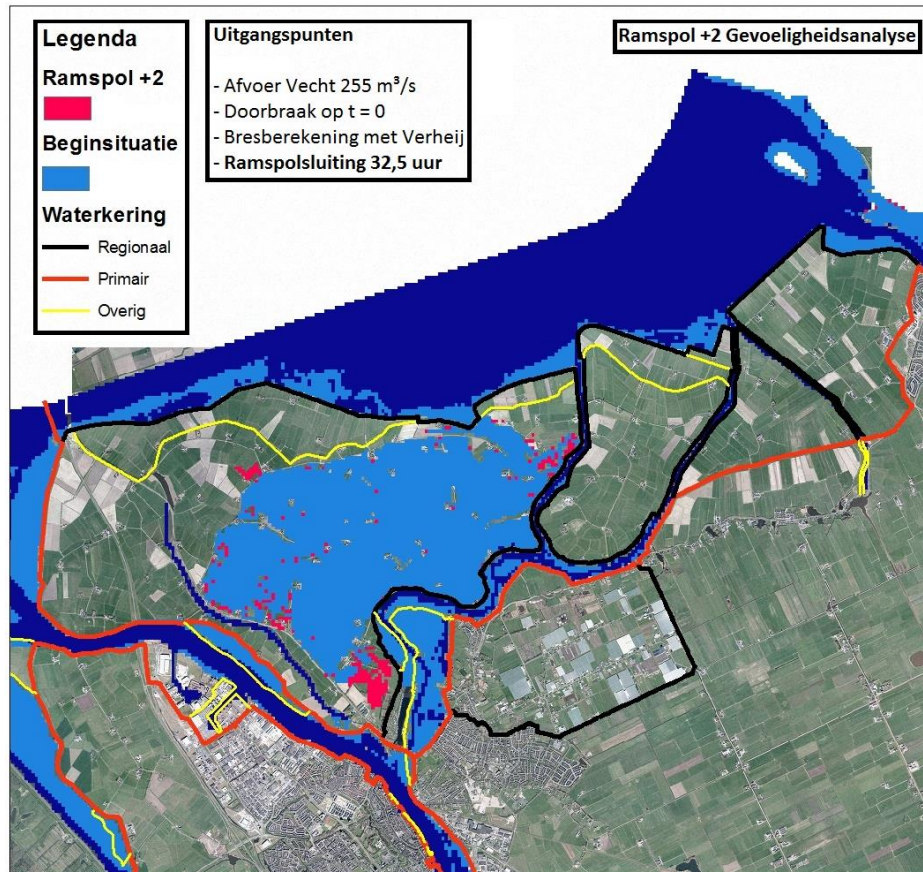
Stap 8: Als tweede wordt gekeken naar de invloed van de Vechtafvoer. Het is interessant om te weten wat een hogere Vechtafvoer voor gevolgen kan hebben bij een overstroming. Er moet hierbij wel vermeld worden dat nu dus naar een situatie gekeken wordt die een kleinere kans van voorkomen heeft dan 1/500 jaar. Stel dat zou blijken dat bij een iets grotere afvoer van de Vecht de overstroming een factor 2 groter zou zijn, is dit in het belang van risicocommunicatie goed om te weten. Uit figuur 15 blijkt echter dat een Vechtafvoer van 300 m³/s ten opzichte van 255 m³/s een minimaal verschil geeft. Het is wel aan te raden om verder onderzoek te doen naar grotere Vechtafvoeren bij deze randvoorwaarden, om te zien of er een bepaald punt komt waarop de overstromingen dermate groot worden dat het voor grote problemen zorgt op de Kampereilanden.



Figuur 15: Gevoeligheid van de Vechtafvoer

6.3.3 Duur van de storm

Stap 9: De duur van de storm oftewel de tijd dat de Ramspolkering dicht zit is de volgende hydraulische randvoorwaarde die bekeken wordt. Voor deze geldt hetzelfde als voor een verhoogde Vechtafvoer, er zal in dit geval ook naar een situatie gekeken worden die een kleinere kans van voorkomen heeft dan 1/500 jaar. Er is wederom te zien dat de invloed hiervan minimaal is, de overstrooming wordt slechts een klein beetje groter. Ook hier is aan te raden om verder onderzoek te doen, naar bijvoorbeeld een nog langere sluiting.



Figuur 16: Gevoeligheid van Ramspolsluiting

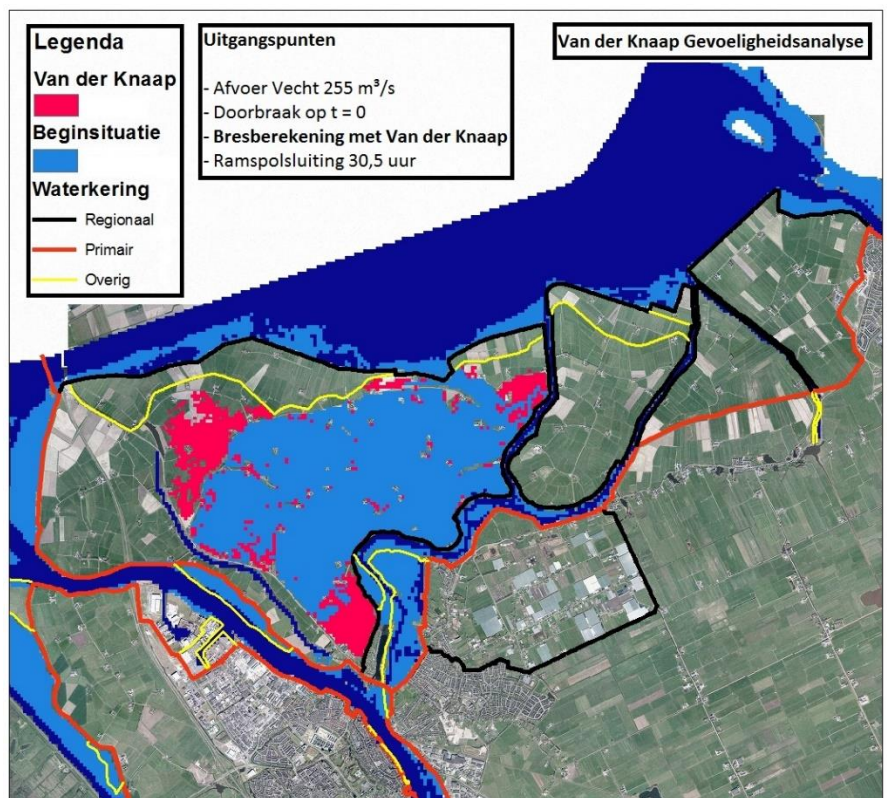
6.3.4 Van der Knaap versus Verheij

Stap 10: In het model is de mogelijkheid om te kiezen tussen de bresformule van Van der Knaap en die van Verheij-Van der Knaap. Voor de formules en de invulling van deze formules wordt naar bijlage 2 verwezen. Het grootste verschil tussen beide formules is dat bij Van der Knaap (2000) een maximale bresbreedte moet worden opgegeven terwijl deze in de formule van Verheij-Van der Knaap (2002) vrijgelaten wordt (afhankelijk van o.a. de kritieke stroomsnelheid). De formule van Verheij-Van der Knaap heeft dus het voordeel dat rekening kan worden gehouden met een bepaalde periode dat de bresbreedte gelijk blijft, omdat de waterstand lager is dan $z_{\min}$ (laagste niveau in de bres). In die periode groeit de bresbreedte immers niet. Met de vergelijking van Van der Knaap zou een plotselinge sprong ontstaan in de bresbreedte.

In het model bereikt de bres met de formule van Verheij een maximale breedte van 20m. Voor de formule van Van der Knaap is een maximale breedte van 100m mee gegeven, dit is gekozen op basis van de berekeningen die voor de Sallandse weteringen gedaan zijn (Leenders & Versteeg, 2014). Bij deze berekeningen zat ook een verschil van een factor 5 in de bresbreedte en hieruit kwam naar voren dat er weinig verschil te zien was in het overstroomde oppervlak tussen beide berekeningen.

Zoals in figuur 17 te zien is, is het verschil bij onze berekeningen redelijk groot tussen de twee formules. Dit komt doordat de tijd dat het water het gebied in blijft stromen redelijk kort is. Het water doet er ongeveer 12 uur over om van de maximale waterstand (+1,40m NAP) af te zakken tot het winterpeil (-0,4m NAP). In deze periode kan bij een bres van 100m veel meer water naar binnen stromen dan bij een bres van 20m.

Voor de overstromingsberekeningen is het belangrijk dat een zo realistisch mogelijke benadering van de bresbreedte gekozen wordt voor deze situatie. Het is bij deze keuze wel belangrijk om in de gaten te houden dat als de waterstand voor een langere tijd hoger is de bres ook breder zal zijn. En daarmee dus de overstroming groter.



Figuur 17: Gevoeligheidsanalyse Verheij versus Van der Knaap

6.4 Randvoorwaarden voor overstromingsscenario's

Stap 12: In deze paragraaf zal op basis van de gegevens die volgen uit de voorgaande paragrafen een overstromingsscenario opgesteld worden waarmee de overstromingsberekeningen in het volgende hoofdstuk gedaan zullen worden.

De volgende randvoorwaarden zijn gekozen voor het overstromingsscenario:

- Een trapezium stormverloop van 48 uur met een golf van 3 meter
- De sluiting van de Ramspolkering is ongeveer 30,5 uur
- Een afvoer op de Vecht van $255\text{m}^3/\text{s}$
- De bresberekening wordt gedaan met de formule van Verheij-Van der Knaap
- De doorbraak vindt plaats op $t = h_{\max}$

De keuzes voor het stormverloop, de Ramspolsluiting en de afvoer van de Vecht volgen uit de hydraulische randvoorwaarden en resulteren samen in een waterstand van +1,40m NAP op het Zwarte Meer. Verder is er gekozen om de bresberekeningen met de formule van Verheij-Van der Knaap te doen. Er is hiervoor gekozen omdat het realistischer is om de bresbreedte te laten groeien over de tijd (afhankelijk van o.a. de kritieke stroomsnelheid, zie bijlage 2) en niet in een keer een sprong te laten maken naar de maximale bresbreedte. Daarnaast is het logisch dat als de tijd dat het water door de bres kan stromen relatief kort is de bres ook niet al te groot zal worden. Op basis hiervan is gekozen om de berekeningen met de formule van Verheij-Van der Knaap te doen. Als laatste is gekozen om de doorbraak op $t = h_{\max}$ te laten plaatsvinden. De belangrijkste reden hiervoor is dat de kans op een doorbraak het grootste is als het water hoog staat.

6.5 Bepaling breslocaties

Stap 13: Om een volledig beeld te krijgen van de mogelijke gevolgen van een overstroming is het belangrijk om de breslocaties zo goed mogelijk te bepalen. Deze locaties zullen vooral bepaald worden met hoogtekarten van de Algemene Hoogtekaart Nederland (AHN) die ingeladen worden in het programma Arc GIS. Door goed te kijken naar de laagste punten op iedere polder, de locatie van mogelijke slaperdijken en (verhoogde) wegen die door de polder lopen worden de breslocaties gekozen, zodat alle gebieden bedekt worden. Er moet opgemerkt worden dat er bij de gekozen locaties rekening is gehouden met mogelijke zwakkere plekken in de dijk. Na overleg met de keringsdeskundige binnen het waterschap zijn we tot de conclusie gekomen dat er geen significant merkbare zwakkere plekken in de keringen rondom de Kampereilanden zijn. Wel is aan de kant van het Zwarte Meer, waar van toepassing, rekening gehouden met golfopslag en zijn dus de kwetsbaardere locaties gekozen (met het minste voorland). De locaties worden dus zo gekozen dat een zo representatief mogelijk beeld van de mogelijke overstromingen op de Kampereilanden gegeven kan worden. In de onderstaande sub paragrafen worden de gekozen locaties per polder verder toegelicht. In figuur 18 en 19 zijn de precieze breslocaties weergegeven, met een code per breslocatie waar vanaf nu zo naar verwezen zal worden.

6.5.1 Kampereiland

Deze polder is verreweg het grootste en levert door de aanwezigheid van oude slaperdijken, de N50 en de N265 ook interessante situaties op. Er worden daardoor aan de noordkant bij het Zwarte Meer drie breslocaties gekozen; één bij de Willem Meyer polder (KE1), één bij de Zwarte Meer polder (KE3) en een daartussenin die rechtstreeks verbonden is met het Kampereiland (KE2). Verder een aan de

zuidkant op het laagste punt van de polder aan het Ganzendiep (KE4). En nog drie breslocaties (KE5, KE6 en KE7) aan de IJssel aan beide kanten van de N50 en N265. Deze worden echter niet doorberekend omdat deze breslocaties alleen van invloed zijn voor het scenario aan de westkant van de Ramspolkering. Voor de precieze locaties wordt verwezen naar figuur 18.

6.5.2 Mandjeswaard

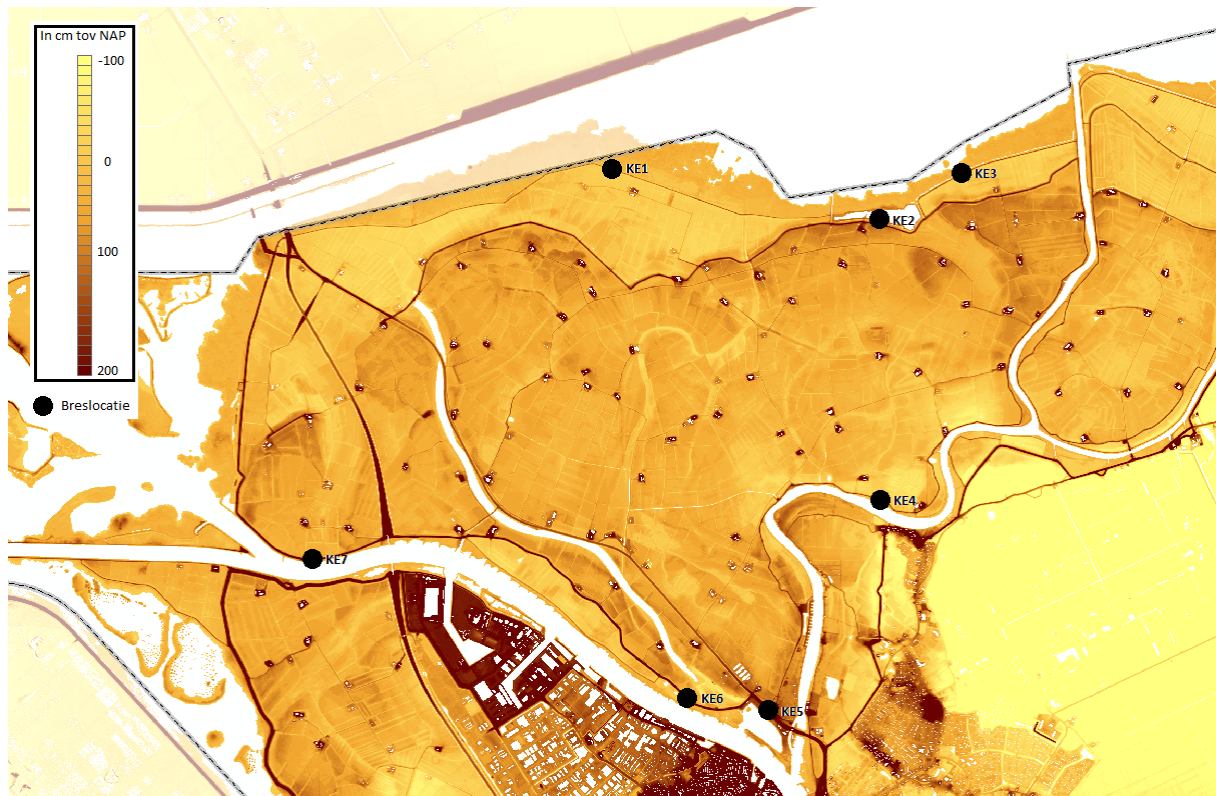
Er lopen twee slaperdijken over de gehele breedte van deze polder. Er zal daarom een breslocatie gekozen worden aan de noordkant bij het Zwarte Meer (MW1), aan de westkant tussen de slaperdijken in (MW2) en in het zuiden bij de kruising van het Ganzendiep en de Goot (MW3). De breslocatie aan de noordkant wordt gekozen op het punt waar het minste voorland is omdat de kans door golfslag op een doorbraak daar het grootste is. Voor de precieze locaties wordt verwezen naar figuur 19.

6.5.3 Polder de Pieper

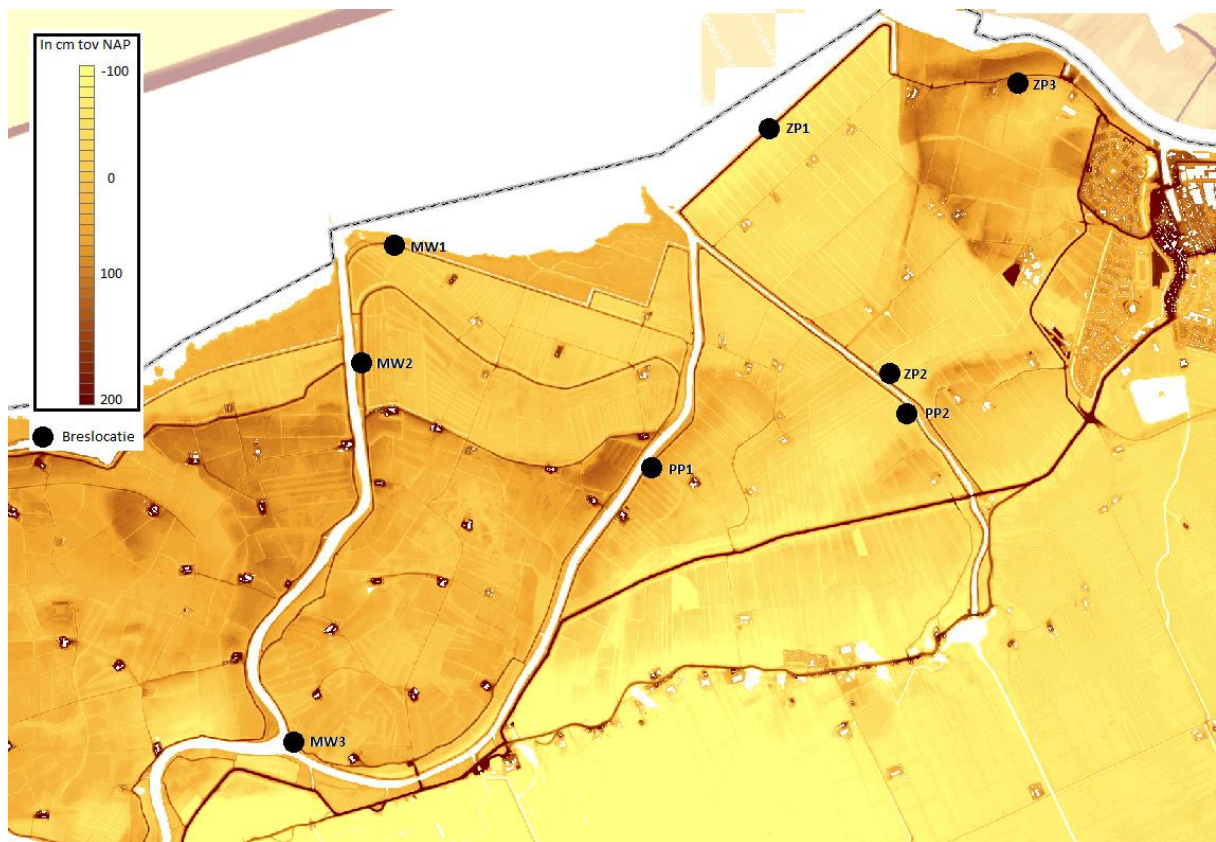
Er loopt een iets hoger gelegen weg door het midden van de polder, die mogelijk water tijdelijk tegen zou kunnen houden of het tijdelijk een andere richting in stuurt. Daarom wordt een bres aan de oostkant in de Veneriete (PP2) gemaakt en een aan de westkant in de Goot (PP1).

6.5.4 Zuiderzeepolder

Het Oostelijke gedeelte van de polder is hoger gelegen (0,90 cm NAP) ten opzichte van het westelijke gedeelte (-0,40 cm NAP). Het is belangrijk om te kijken naar een overstroming vanuit verschillende kanten. Vanaf het Zwarte Water (ZP3), het Zwarte Meer (ZP1) en de Veneriete (ZP2).



Figuur 18: Breslocaties op het Kampereiland



Figuur 19: Breslocaties op de Mandjeswaard, Polder de Pieper en de Zuiderzeepolder

7 Resultaten

Stap 14: In dit hoofdstuk zullen de resultaten besproken worden. De breslocaties die bepaald zijn in paragraaf 6.5 zijn ieder doorgerekend met het overstromingsscenario dat bepaald is in paragraaf 6.4. In paragraaf 7.1 zal per breslocatie toegelicht worden wat de opvallende resultaten zijn uit de berekening.

7.1 Resultaten per overstromingsscenario

Voor de kaarten met de overstromingsscenario's wordt verwezen naar bijlage 3 (figuur 22 tot 33). Op deze kaarten zijn de maximale waterdieptes in meter aangegeven. De codes zoals KE1 verwijzen naar de breslocaties in figuur 18 en 19.

7.1.1 Kampereiland

KE1: In figuur 22 is te zien dat het water in de Willem Meyer- en Stikkenpolder blijft staan en dat de slaperdijk het water tegen houdt zodat het niet het achterliggende land in stroomt. De maximale waterdieptes schommelen tussen de 0 en 1 meter. Daarnaast zorgt het voorland (gelegen op ≈ 0 m NAP) er voor dat op het moment dat het waterpeil op het Zwarte Meer daalt (naar $-0,4$ m NAP) er geen water meer de polder in stroomt. Maar er ook geen water meer de polder uit stroomt. Waardoor de waterstanden achter de dijk hetzelfde blijven als de maximale waterdieptes.

KE2: Hoewel het water hier wel rechtstreeks het centrale deel van het Kampereiland binnen stroomt, is de omvang van het areaal (verspreidingsgebied) van de overstroming vrij beperkt (zie figuur 23). Dit heeft vooral te maken met het voorland, dat ervoor zorgt dat de tijd (kleine 18 uur) dat er water het achterliggende gebied in stroomt vrij kort is. Wederom liggen de maximale waterdieptes tussen de 0 en 1m.

KE3: In figuur 24 is te zien dat het water in de Zwarte Meerpolder blijft staan en niet over de slaperdijken heen stroomt. Doordat het hier om een kleine polder gaat stroomt de polder erg snel vol en zijn de maximale waterdieptes tussen de 1 en 1,5 meter. Verder zie je hier wel dat het water weer snel weg zakt (tegelijk met de waterstand op het Zwarte Meer) en dat er uiteindelijk niet veel water blijft staan in de polder (maximaal 0,20 meter).

KE4: In figuur 25 zijn de maximale waterdieptes te zien. Aangezien het hier ook om een overstroming op het centrale deel van het Kampereiland gaat is het interessant om deze te vergelijken met KE2. Het is duidelijk te zien dat deze overstroming een stuk groter is en je dus duidelijk het verschil tussen een breslocatie met en een breslocatie zonder voorland ziet. Door de aanwezigheid van iets hoger gelegen wegen in de polder zie je dat het water er vaak achter blijft staan, maar als het erover stroomt het vervolgens ook niet meer weg zakt als de waterstand op het Ganzendiep (Zwarte Meer) weer daalt.

7.1.2 Mandjeswaard

MW1: Het gaat hier om een kleine polder die ingesloten wordt door een slaperdijk (zie figuur 26). Je ziet dat bij een overstroming het water achter de slaperdijk blijft staan. Dit zorgt ervoor dat de polder snel vol stroomt en er waterstanden tussen de 1 en 1,5 meter bereikt worden. Doordat de polder relatief hoog gelegen is (rond NAP) stroomt het water ook weer redelijk snel weg en blijft er uiteindelijk in de lagere punten verder van de bres ongeveer 0,30 meter water staan.

MW2: In figuur 27 is te zien dat het water tussen de twee slaperdijken blijft staan. Verder geldt hetzelfde als voor MW1.

MW3: Het grootste gedeelte van de Mandjeswaard stroomt onder, tot aan de slaperdijken in het noorden van de polder (zie figuur 28). Doordat de enige ingang naar de Mandjeswaardpolder aan de zuidkant ligt (waar de bres nu ook ontstaat), zitten de mensen die verder naar het noorden wonen in de polder opgesloten bij dit overstromingsscenario. Er worden waterstanden tussen de 0 en 1 meter bereikt. De weg, die door het midden van de polder loopt, bepaalt het verloop van de overstroming. Nadat het waterpeil op het Zwarte Meer weer daalt, zie je dat het water blijft staan achter de wegen.

7.1.3 Polder de Pieper

PP1: In figuur 29 is te zien dat de gehele polder onderstroomt. De weg die door het midden van de polder loopt zorgt ervoor dat het water zich hier omheen verspreid (eerst naar het noorden en daarna bereikt het ook de oostkant van de polder). Er worden waterdieptes bereikt tussen de 0 en 1,5 meter. Omdat deze polder redelijk laag gelegen is (-0,4m NAP), blijft het water staan met dieptes van 0,5 meter.

PP2: In figuur 30 is te zien dat dit scenario gespiegeld is aan PP1. Alleen de maximale bereikte waterdieptes zijn hoger aan de kant van de bres.

7.1.4 Zuiderzeepolder

ZP1: Alleen het in het oosten gelegen hogere gedeelte van de polder stroomt niet onder, verder vrijwel overal een maximale waterstand van tussen de 0,5 en 1m (zie figuur 31). Doordat het een laag gelegen polder is blijft het water lang staan met een waterdiepte van 0,5 meter. Een overstroming in deze polder zal erg gevoelig zijn voor het waterpeil op het IJsselmeer na de storm, als deze hoger blijft dan het winterpeil (-0,40m NAP) zal de waterstand in de polder ook hoger blijven.

ZP2: Voor dit scenario geldt hetzelfde als voor ZP1 (zie figuur 32).

ZP3: De bres ontstaat nu aan de hoger gelegen oostkant van de polder (zie figuur 33), het meeste water stroomt wel naar het lager gelegen land in het westen van de polder. Door de aanwezigheid van voorland aan deze kant zijn de maximale waterdieptes wel een stuk lager. Dit scenario zorgt er echter wel voor dat het water niet weg kan stromen.

8 Conclusies

Door middel van dit onderzoek zijn veel nieuwe inzichten gekregen over hoe het complexe watersysteem rondom de Kampereilanden precies in elkaar zit. De Ramspolkering zorgt voor een duidelijke scheiding van watersystemen tussen de oostkant en de westkant van de Ramspolkering. Doordat alleen op het scenario aan de oostkant gefocussed is, zijn de volgende conclusies alleen van toepassing op dit scenario. Uit de resultaten blijkt dat:

- Het op sommige plaatsen aanwezige voorland (KE1, KE2, KE3 en MW1) een bepalende factor is voor de grootte van een overstroming op de Kampereilanden. Door het relatief snelle dalen van de waterstand na de storm zijn de overstromingen op plaatsen met voorland significant kleiner.
- Het tijdstip waarop de dijk doorbreekt erg bepalend is voor de grootte van de overstroming. Zeker bij deze overstromingsscenario's (doorbraak op $t = h_{\max}$), omdat het hoogwater op het Zwarte Meer weer vrij snel daalt. Daardoor is de periode waarop er water naar het achterliggende land kan stromen relatief kort en zijn de gevolgen beperkt.
- Het is lastig om de bresgroei precies te voorspellen. Het komt niet vaak voor dus er is weinig informatie over. Het gaat in dit geval om een relatief korte periode dat er water het achterliggende land in stroomt, waardoor aannemelijk is dat de bres klein blijft. En de formule van Verheij een logische uitkomst geeft.
- De kleinere polders snel onder water lopen ten opzichte van de grotere polders en er treden hogere waterstanden op. Dit staat ook wel bekend als het zogenaamde 'Badkuipeffect'.
- Het achterland bij Polder de Pieper en de Zuiderzeepolder een stuk lager ligt, waardoor water voor een langere tijd naar binnen blijft stromen. Deze twee polders zijn daarom veel afhankelijker van het waterpeil van het IJsselmeer na de storm. In de berekeningen is er namelijk voor gekozen om het waterpeil na de storm weer te laten zakken naar het winterpeil (-0,4m NAP), maar dit kan natuurlijk ook een stuk hoger blijven.
- Bij overstromingsscenario MW3 de enige toegangsweg tot de Mandjeswaard wordt afgesloten door het water, dit is belangrijk om te weten voor de risicocommunicatie en crisisbeheersing.
- De duur van de sluiting van de Ramspolkering en de afvoer op de Vecht zijn samen sterk bepalend zijn voor de waterhoogte die bereikt wordt op het Zwarte Meer.

8.1 Aanbevelingen

Omdat er maar een beperkte tijd was voor het uitvoeren van dit onderzoek zijn er nog een aantal dingen die beter onderzocht kunnen worden om een vollediger beeld te krijgen. Daarom wil ik nog een aantal aanbevelingen doen die gebruikt zouden kunnen worden voor een vervolgonderzoek:

- Zorg dat de Vechtafvoer naar het Zwarte Meer goed in de gaten wordt gehouden bij een Ramspolsluiting, dit kan namelijk voor grote verschillen in de waterstand op het Zwarte Meer zorgen.
- De resultaten uit dit onderzoek zouden een goede input kunnen geven voor de risicocommunicatie naar de bewoners.
- Nu de dijken verhoogd worden is de kans op een overstroming kleiner. Maar wat ontlasten de Kampereilanden nu eigenlijk bij een eventuele overstroming. Met andere woorden, heeft het minder snel onder lopen van de Kampereilanden gevolgen voor bovenstroomse gebieden?

- Het is goed om na te denken over hoe je het gebied na een overstroming leeg kan maken. Het is daarbij belangrijk om te weten hoe lang het water blijft staan.
- Er zou meer onderzoek naar het waterpeil van het IJsselmeer gedaan moeten worden, wat zijn de gevolgen na een dijkdoorbraak als het waterpeil van het IJsselmeer na de storm hoger blijft staan?
- Er zou meer onderzoek gedaan moeten worden naar andere waterstandsverlopen bij de 1/500 situatie voor de Kampereilanden. Bijvoorbeeld met een hogere Vechtafvoer en een kortere Ramspolsluiting.
- Er zou meer onderzoek gedaan moeten worden naar hoe een bres ontstaat bij verschillende omstandigheden. Hierbij kan gedacht worden aan verschillende stroomsnelheden, duur van instromen enz.

8.2 Discussie

Ten slotte zullen hier nog enkele punten behandeld worden die onzekerheden geven in de resultaten.

- **Algemeen**
Het is een complex watersysteem, waardoor er veel aannames gedaan moeten worden door de vele verschillende stochasten die van invloed zijn op het systeem. Daarnaast is er geen eenduidig waterstandverloop voor de 1/500 situatie die van toepassing is op de Kampereilanden. Wel een maatgevende waterstand (+1,40 NAP), maar geen waterstandsverloop. Het hangt ervan af welke hydraulische randvoorwaarden als maatgevend beschouwd worden.
- **Bresbreedte**
De breedte van de bres schommelt bij alle scenario's rond de 20 meter. Door de complexe situatie rondom de Kampereilanden, waarin het waterpeil op het Zwarte Meer na de bres weer snel zakt, is het in deze situatie moeilijk om in te schatten hoe groot de bres daadwerkelijk zal worden. Zeker bij bijvoorbeeld de polders met lager gelegen achterland zal het water langer het gebied in stromen en hoogstwaarschijnlijk ook voor een grotere bres zorgen.
- **Tijdstip doorbraak**
Voor alle overstromingsscenario's is aangenomen dat de kering bezwijkt op het moment dat de maatgevende hoogwaterstand (van +1,40m NAP) optreedt op het Zwarte Meer. Dit is dus het moment waarop de druk op de kering het grootste is. Zoals uit paragraaf 6.1.1 blijkt zijn er veel verschillende manieren en momenten waarop een dijk kan bezwijken. Waardoor de grootte van de overstroming ook flink kan variëren.
- **IJsselmeerpeil**
Voor de overstromingsscenario's is aangenomen dat het IJsselmeerpeil (en daarmee dus ook het peil van het Ketel- en Zwarte Meer) na afloop van de storm daalt tot het winterpeil van -0,40m NAP. Er zijn echter ook scenario's te bedenken waar dit IJsselmeerpeil hoger blijft. Dit zal zeker voor de polders met lager gelegen achterland (Polder de Pieper en de Zuiderzeepolder) van groot belang zijn. Als het water immers hoger blijft staan dan het achterliggende land zal het water het gebied in blijven stromen.
- **Andere invulling van de 1/500 situatie**
Voor dit onderzoek moest een invulling gegeven worden aan de 1/500 situatie. Hier hoort wel een duidelijke waterstand bij (+1,40m NAP als windopzet niet meegerekend wordt) maar niet

een duidelijk waterstandsverloop. Deze waterstand is door de complexiteit van het gebied namelijk op verschillende manieren te benaderen. In dit onderzoek is uitgegaan van een lange Ramspolsluiting met een relatief lage Vechtafvoer. Er is ook een situatie voor te stellen waarin dit omgedraaid is, dus een kortere Ramspolsluiting met een hogere Vechtafvoer. Deze situatie zou mogelijk compleet andere resultaten kunnen opleveren.

- **Binnendijs hoger gelegen elementen**

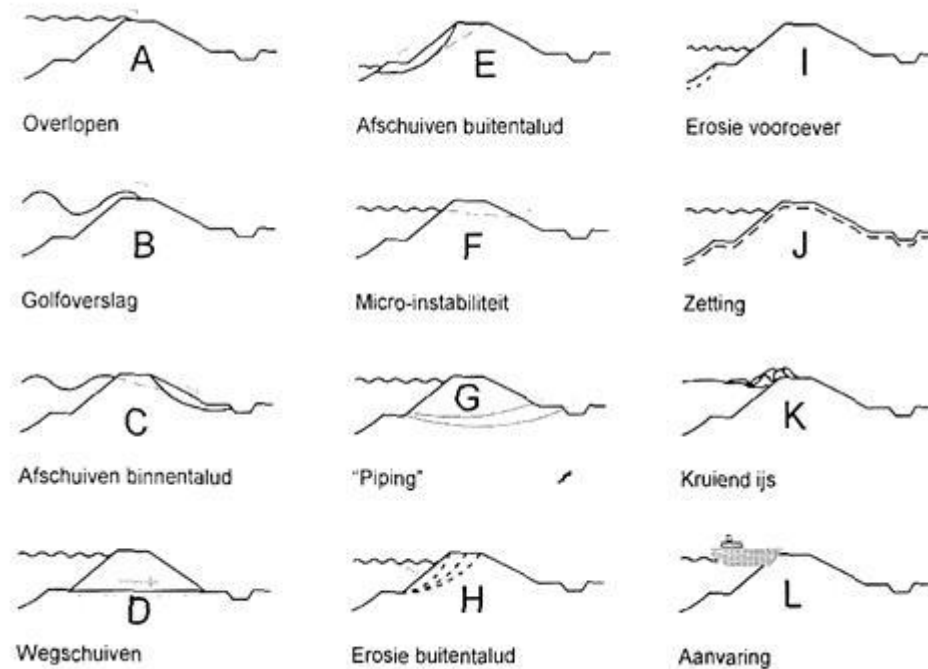
Op de Kampereilanden liggen slaperdijken en wegen die hoger gelegen zijn en in veel van de overstromingsscenario's zorgen deze ervoor dat het water gekeerd wordt. In de overstromingsscenario's is ervan uitgegaan dat deze hoger gelegen elementen ten alle tijden waterkerend zijn en dus niet bezwijken. Zeker in het geval van de wegen (die meestal niet als waterkering aangelegd zijn) is het mogelijk dat deze bezwijken en dan voor een grotere overstroming zullen zorgen.

- **Gevoeligheidsanalyse**

Om de gevoeligheid van de overstromingen bij verschillende hydraulische randvoorwaarden nog beter te testen zouden er meer berekeningen per verschillende randvoorwaarde gedaan moeten worden. Bijvoorbeeld meer variatie in de Vechtafvoer, hoe groot zijn de overstromingen bij 400 m³/s en 500 m³/s?

Bijlage 1 Bezwijkmechanisme

(Waterschap Aa en Maas, 2013)



Figuur 20: Verschillende bezwijkmechanisme

A: Overloop: het verschijnsel dat water over de kruin van de dijk het achterland in loopt omdat de te keren waterstand hoger is dan de kruin.

B: Golfoverslag: het verschijnsel dat water over de kruin van de dijk het achterland in loopt omdat de golven hoger zijn dan de kruin. Bij een overslagdebiet groter dan 0,1 l/m/s dient, bij bouwwerken en bomen en struiken op de kruin en binnendijks van de waterkering, de erosiebestendigheid van kruin en binnentalud gewaarborgd te zijn.

C: Afschuiven binnentalud (macro-instabiliteit binnenwaarts): het verschijnsel dat de weerstand tegen het optreden van een glijvlak in het binnentalud en de ondergrond binnendijks afneemt. Dit proces wordt onder andere beïnvloed door het gewicht van bouwwerken en de bomen en struiken en eventuele windbelasting. Indien de bouwwerken op palen gefundeerd is kan worden aangenomen dat de invloed op macrostabiliteit nihil is. De belasting wordt dan via de palen afdragen naar het diepe zand. Met betrekking tot bomen en struiken dient zowel de situatie in beschouwing genomen te worden waarbij de bomen en struiken blijven staan, als de situatie in het geval van het ontwortelen van de bomen en struiken.

D: Wegschuiven: het verschijnsel dat de weerstand tegen horizontale verplaatsing in, onder of naast de dijk vermindert. Dit proces wordt onder andere beïnvloed door de bodemopbouw en het voorkomen van dikke, slappe klei- en veenpakketten. Speelt een minder belangrijke rol in het gebied van waterschap Aa en Maas, omdat deze lagen niet voorkomen.

E: Afschuiven buitentalud (macro-instabiliteit buitenwaarts): het verschijnsel dat de weerstand tegen het optreden van een glijvlak in het buitentalud en de ondergrond buitendijks afneemt. Dit proces

wordt onder andere beïnvloed door het gewicht van bouwwerken en de bomen en struiken en eventuele windbelasting. Indien bouwwerken op palen gefundeerd zijn kan worden aangenomen dat de invloed op macrostabiliteit nihil is. De belasting wordt dan via de palen afdragen naar het diepe zand. Met betrekking tot bomen en struiken dient zowel de situatie in beschouwing genomen te worden waarbij de bomen en struiken blijven staan, als de situatie in het geval van het ontwortelen van de bomen en struiken.

F: Micro-instabiliteit: het verschijnsel dat de weerstand van het binnentalud tegen erosie ten gevolge van uittredend water vermindert. Dit proces wordt onder andere beïnvloed door de aanwezigheid van bouwwerken op het dijklichaam en bomen en struiken op het binnentalud. Dit kan leiden tot geconcentreerde in- of uittreding van grondwater, wat een ongunstige invloed heeft op de microstabiliteit van de waterkering. Daarnaast kan, door de aanwezigheid van bouwwerken en bomen en struiken in het voorland, de intreelengte verkleind worden. De waterdichtheid van de waterkering kan hierdoor worden aangetast en er kan lekkage ontstaan. Als de kern van de dijk uit klei bestaat wordt de microstabiliteit als goed beoordeeld.

G: Piping: het verschijnsel dat onder een waterkering een holle pijpvormige ruimte ontstaat doordat het erosieproces van een zandmeevoerende wel niet stopt. Dit proces wordt onder andere beïnvloed door de aanwezigheid van bouwwerken en bomen en struiken. Nieuwe bouwwerken en wortels van bomen en struiken kunnen door de afdekkende (klei)lagen heen insnijden in een (tussen) zandlaag, waardoor het in- en uittredepunt voor piping dicht bij de waterkering komt te liggen. Ook het omwaaien van bomen en struiken kan piping veroorzaken. De pipinglengte kan zo ontoelaatbaar worden verkort.

H: Erosie buitentalud: het verschijnsel dat de doorsnede van de dijk kern door erosie vermindert. Dit hangt nauw samen met beschadiging van de bekleding van het buitentalud, vaak veroorzaakt door langsstromend water of golfaanval. Bouwwerken beïnvloeden dit proces doordat ter plaatse van bouwwerken hogere stroomsnelheden en meer turbulenties voor komen waardoor sneller erosie optreedt. Daarnaast is de erosiebestendigheid van de terreinen naast de bouwwerken niet ideaal door het gebruik als tuin, door de aanwezigheid van op- en afritten etc. Daarnaast wordt het proces beïnvloed door bomen en struiken. Bomen en struiken zorgen er voor dat de grasmat zich minder kan ontwikkelen en tevens kunnen ter plaatse van bomen en struiken hogere stroomsnelheden en meer turbulentie voor komen waardoor sneller erosie optreedt.

I: Erosie vooroever: het verschijnsel dat de doorsnede van de vooroever door erosie vermindert. Dit hangt nauw samen met beschadiging van de bekleding van de vooroever, vaak veroorzaakt door langsstromend water of golfaanval. Bouwwerken beïnvloeden dit proces doordat ter plaatse van bouwwerken hogere stroomsnelheden en meer turbulenties voor komen waardoor sneller erosie optreedt. Daarnaast is de erosiebestendigheid van de terreinen naast bouwwerken niet ideaal door het gebruik als tuin, door de aanwezigheid van op- en afritten etc. Daarnaast wordt het proces beïnvloed door bomen en struiken. Bomen en struiken zorgen er voor de grasmat zich minder kan ontwikkelen en tevens kunnen ter plaatse van bomen en struiken hogere stroomsnelheden en meer turbulentie voor komen waardoor sneller erosie optreedt.

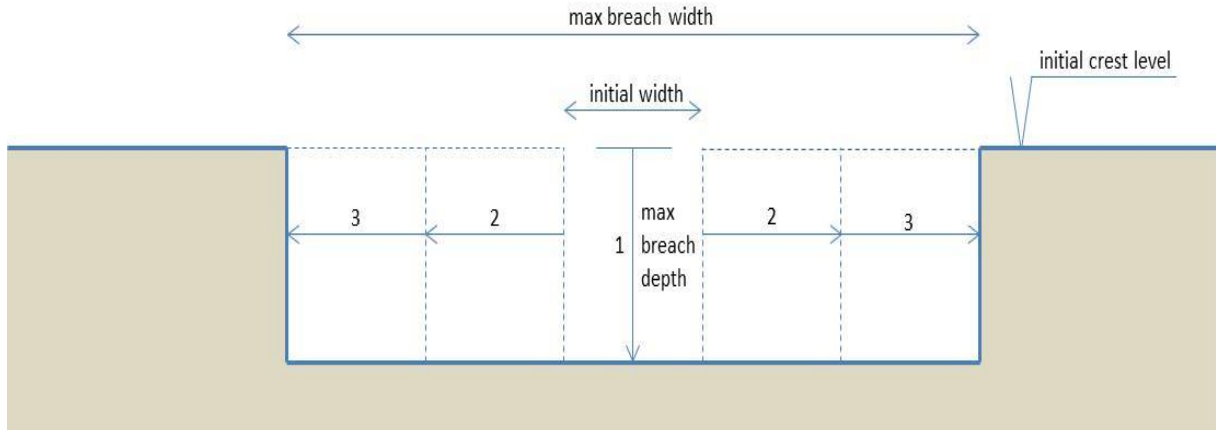
J: Zetting: het verschijnsel dat de ondergrond van de dijk in de loop van de tijd langzaam wordt samengedrukt onder invloed van een bovenbelasting, zoals van de dijk zelf.

K: Kruiend ijs: het verschijnsel dat na een forse vorstperiode ijsplaten tegen de dijk opgeduwd worden als gevolg van wind en/of stroming. Het ijs kan de dijk beschadigen.

L: Aanvaring: het verschijnsel dat een schip tegen de waterkering vaart en deze beschadigt.

Bijlage 2 Bresgroeiformules

(Verheij, 2003)



Figuur 21: Schematisatie van een bresgroei

Van der Knaap (2000)

$$B = c_4 \log\left(\frac{t}{c_5}\right)$$

met: $c_4 = 67$ en $c_5 = 0,145$ voor zand, en $c_4 = 20$ en $c_5 = 0,08$ voor klei.

Verheij – Van der Knaap (2002)

$$B = 1,3 \frac{g^{0,5} H^{1,5}}{u_c} \log\left(1 + \frac{0,04g}{u_c} t\right)$$

$$H = h_{buiten} - h_{binnen}$$

De formule is echter in de volgende vorm ingebouwd in SOBEK:

$$B(t_i) = B(t_{i-1}) + \frac{\partial B}{\partial t} \Delta t$$

$$\text{Met } \left(\frac{\partial B}{\partial t}\right)_{t_i} = \frac{f_1 f_2 \{g(h_{up} - h_{down})\}^{1,5}}{\ln 10 \frac{u_c^2}{1 + \frac{f_2 g}{u_c} (t_i - t_0)}} \frac{1}{1 + \frac{f_2 g}{u_c} (t_i - t_0)}$$

- f_1 = coefficient (Default 1,3 range 0,5-5)
- f_2 = Coefficient (Default 0,04 range 0,01-1)
- h_{up} = bovenstroomse waterstand (m)
- h_{down} = benedenstroomse waterstand (m)
- B_0 = initiële bresbreedte (m)

- t_i = tijdstip i (s)
 t_0 = tijdsduur om $z_{\min}$ te bereiken (Default 0,1 uur range 0,1-12 uur)
 $z_{\min}$ = laagste niveau in bres (m)
 $z_{\text{crest level}}$ = initiële kruinniveau (m)
 u_c = kritieke stroomsnelheid (Default 0,2 m/s range 0,1-10 m/s)
 g = valversnelling (9,81 m/s²)

Noot: in bovenstaande formule zijn de parameters c_1 en c_2 vervangen door respectievelijk f_1 en f_2 (waarden zijn wel gelijk)

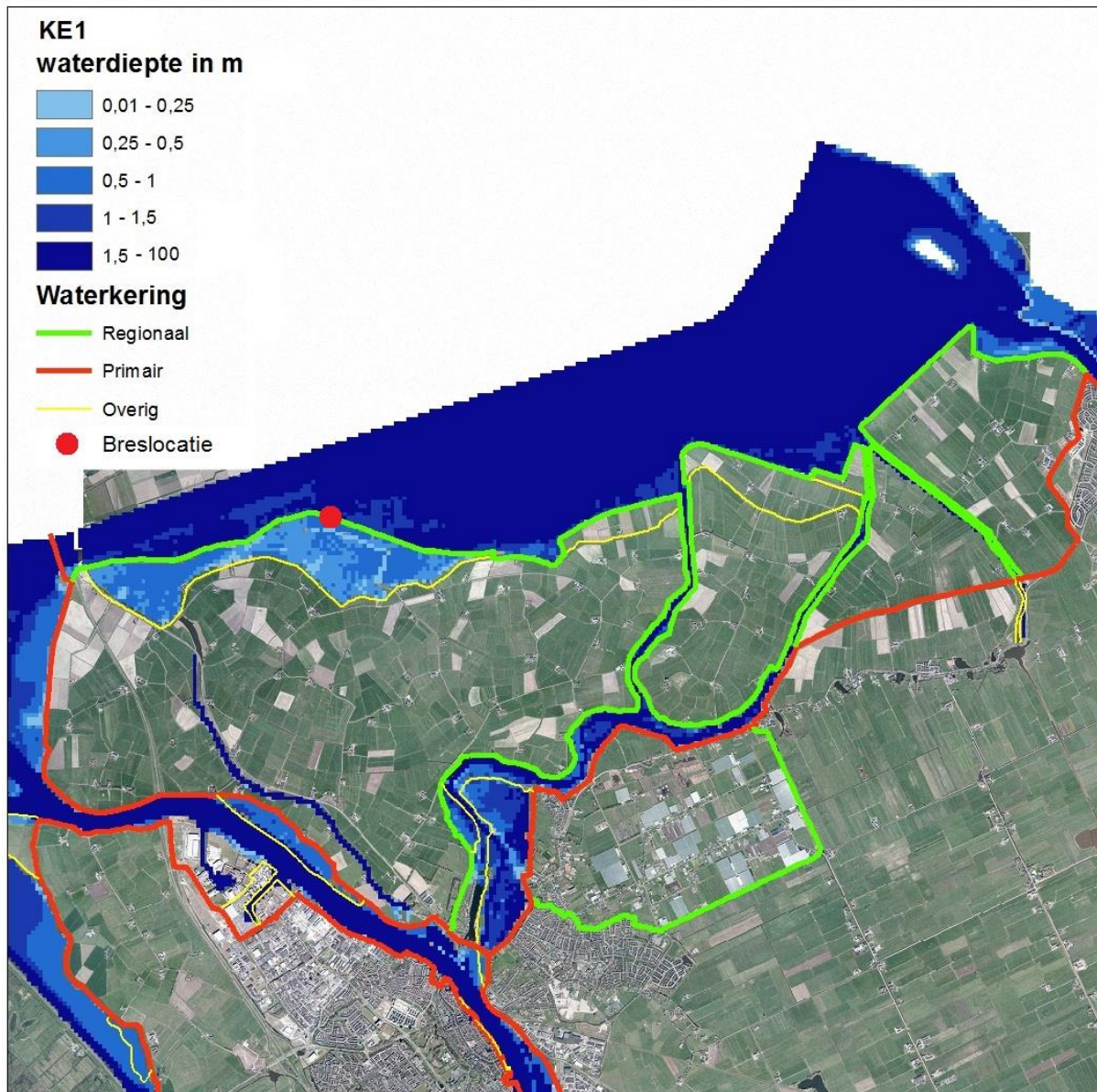
Nadere analyse van de formule heeft geleerd dat de bresgroei gevoelig is voor de kritieke stroomsnelheid u_c . De waarde kan worden bepaald aan de hand van de volgende tabel: (Leenders & Versteeg, 2014)

Tabel 2: Kritieke stroomsnelheid per grondsoort

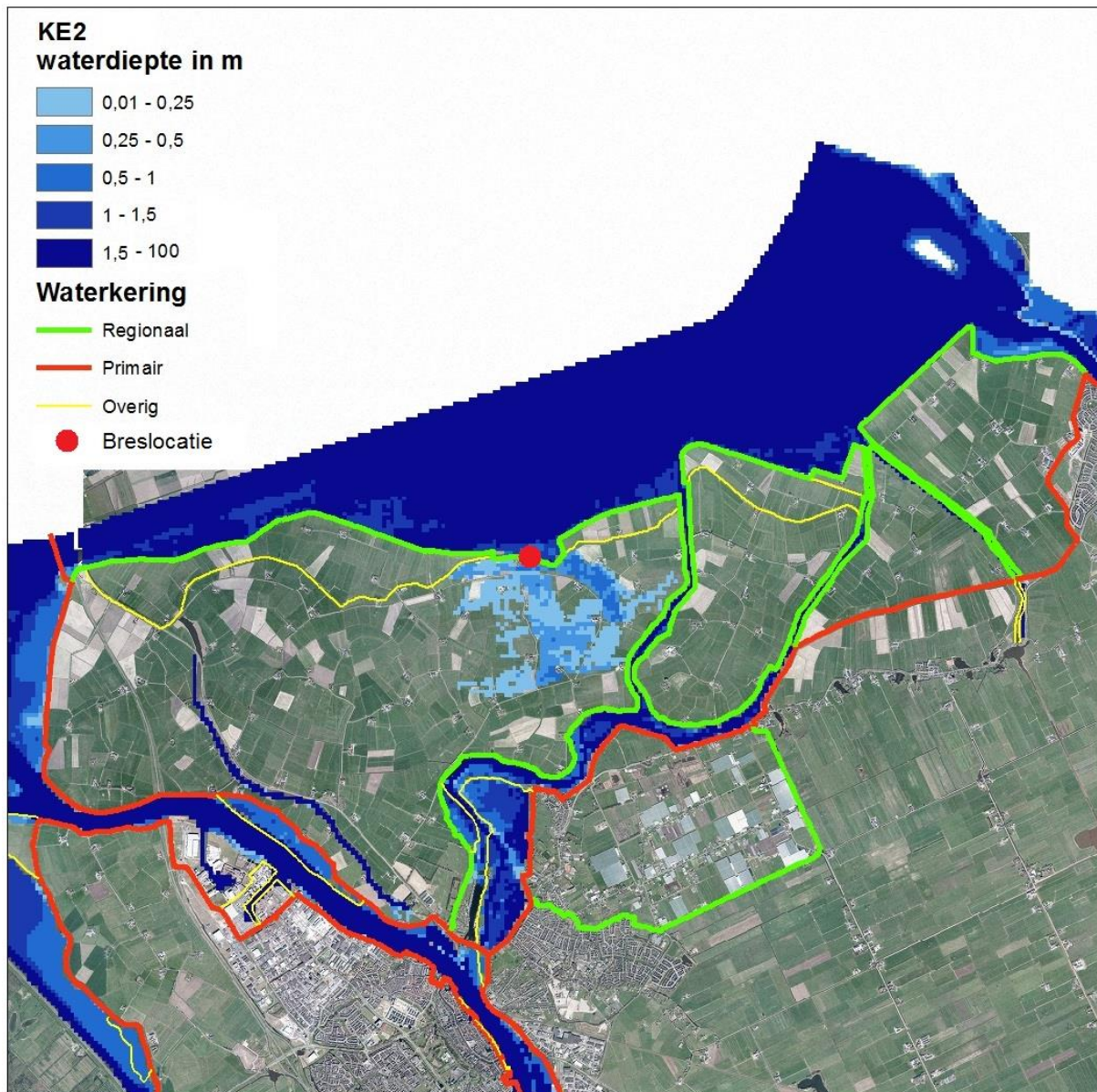
Grondsoort	u_c (m/s)	τ_c (Pa)	C_E (m ⁻² s ⁻²)
Gras, goed	7	185	0,01*10 ⁻⁴
Gras, matig	5	92,5	0,02*10 ⁻⁴
Gras, slecht	4	62	0,03*10 ⁻⁴
Klei, zeer goede	1,0	4	0,50*10 ⁻⁴
Klei met 60% zand	0,80	2,5	0,60*10 ⁻⁴
Goede klei met weinig structuur	0,70	2	0,75*10 ⁻⁴
Goede klei, sterk gestructureerd	0,60	1,5	1,5*10 ⁻⁴
Slechte klei	0,40	0,65	3,5*10 ⁻⁴
Zand met 17% silt	0,225	0,20	10*10 ⁻⁴
Zand met 10% silt	0,20	0,15	12,5*10 ⁻⁴
Zand met 0% silt	0,16	0,10	15*10 ⁻⁴

Over het algemeen wordt voor zand een u_c van 0,20 m/s gekozen en voor klei 0,50 m/s.

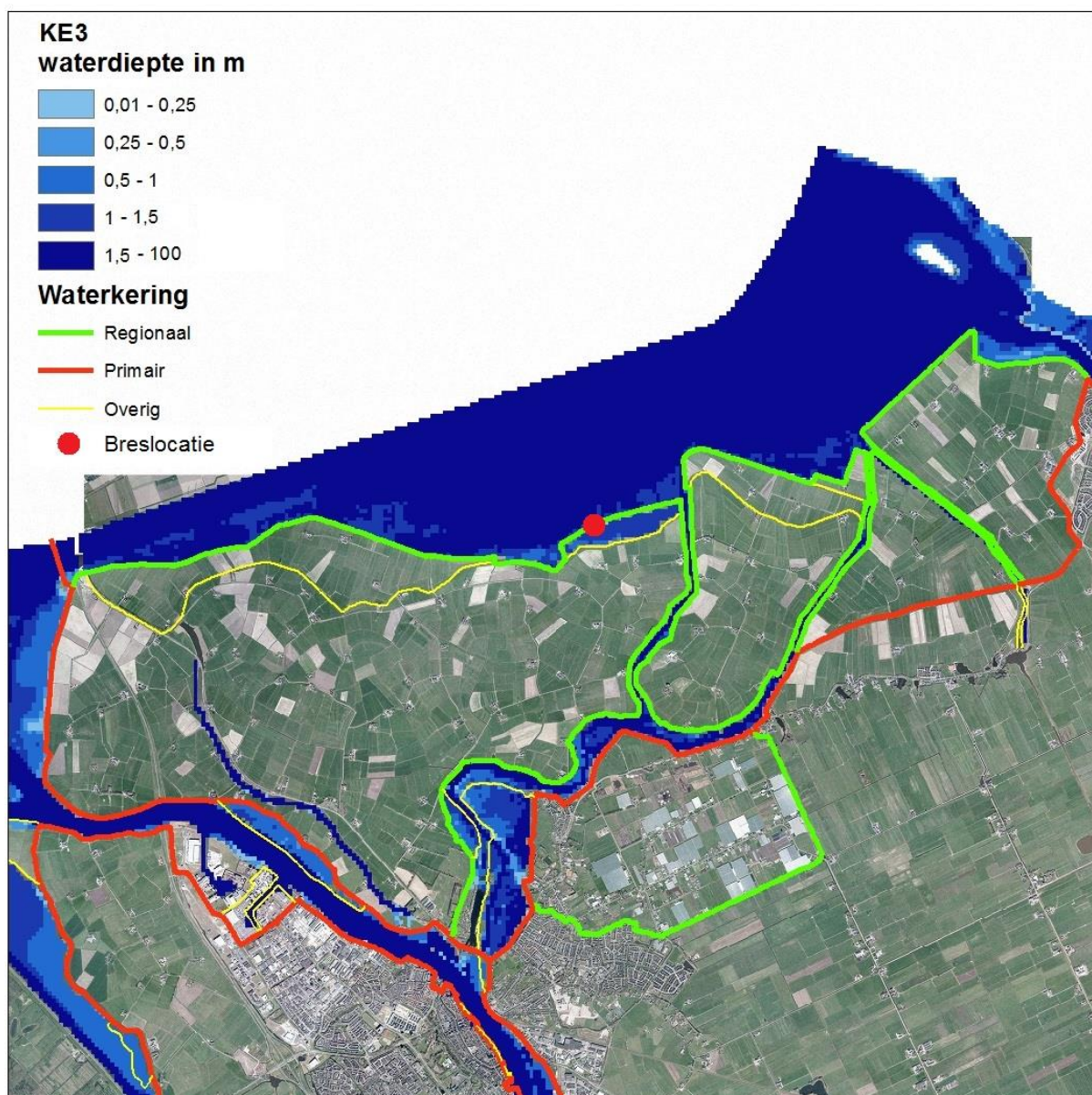
Bijlage 3 Overstromingsberekeningen



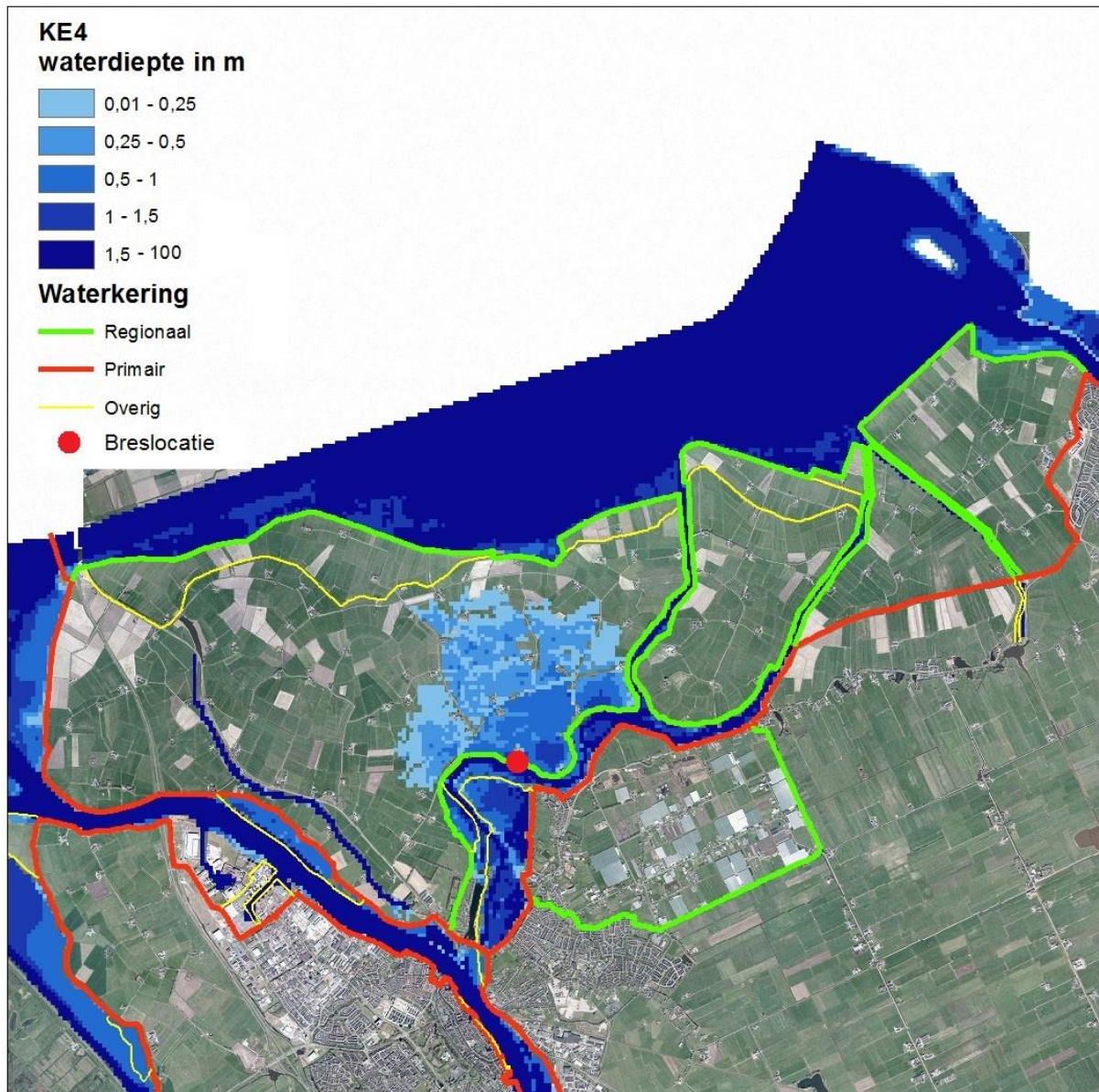
Figuur 22: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario KE1



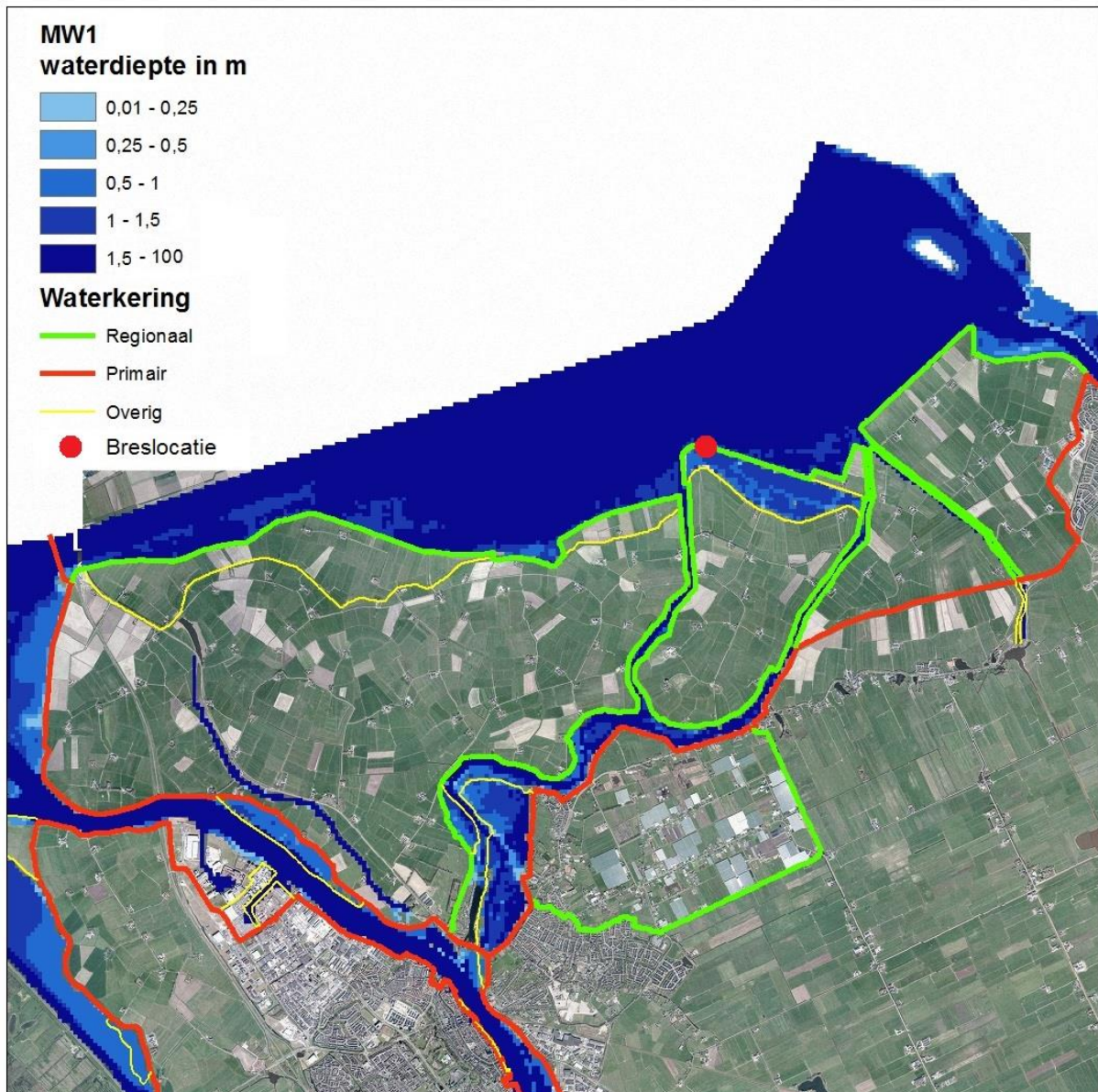
Figuur 23: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario KE2



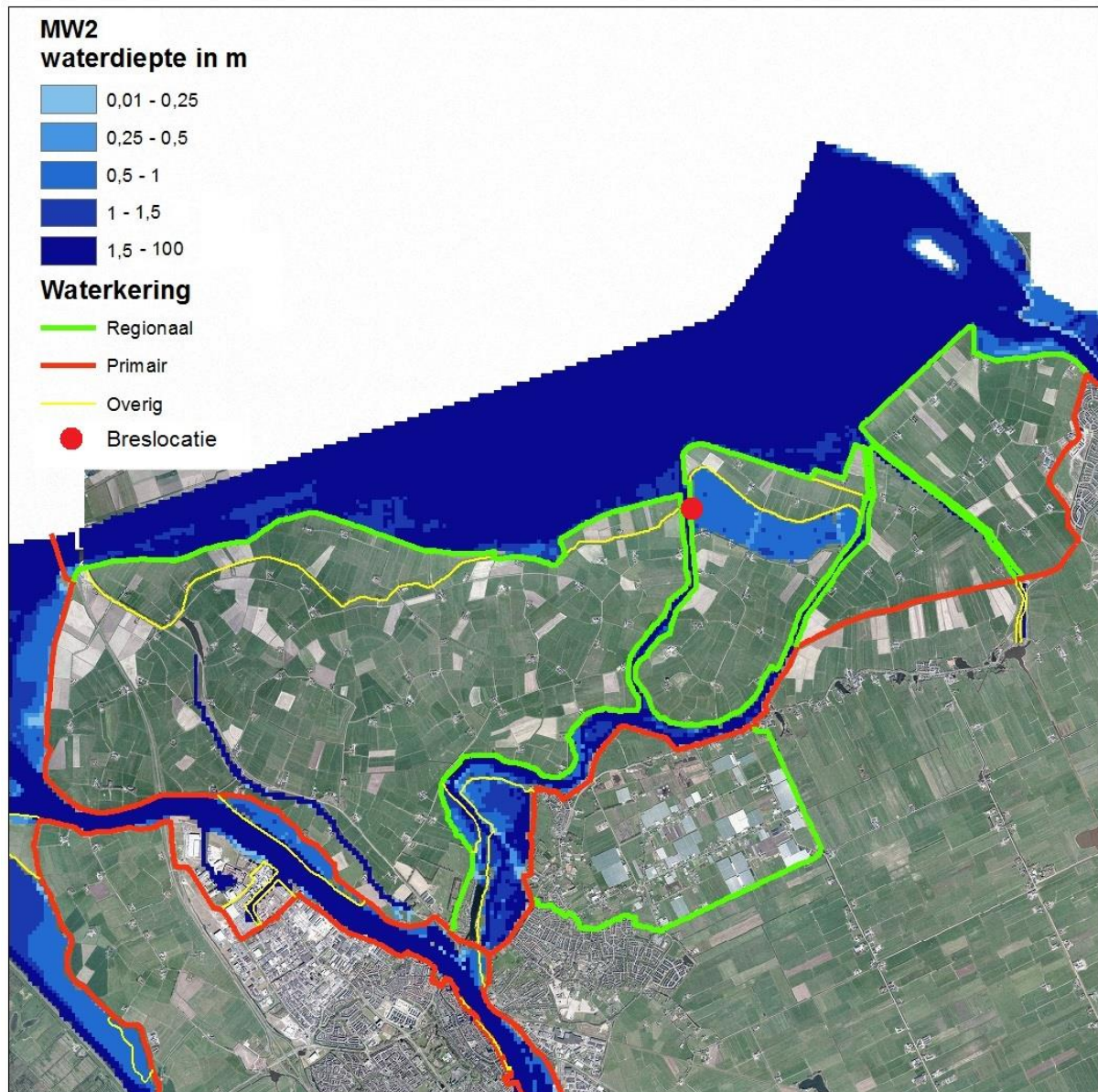
Figuur 24: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario KE3



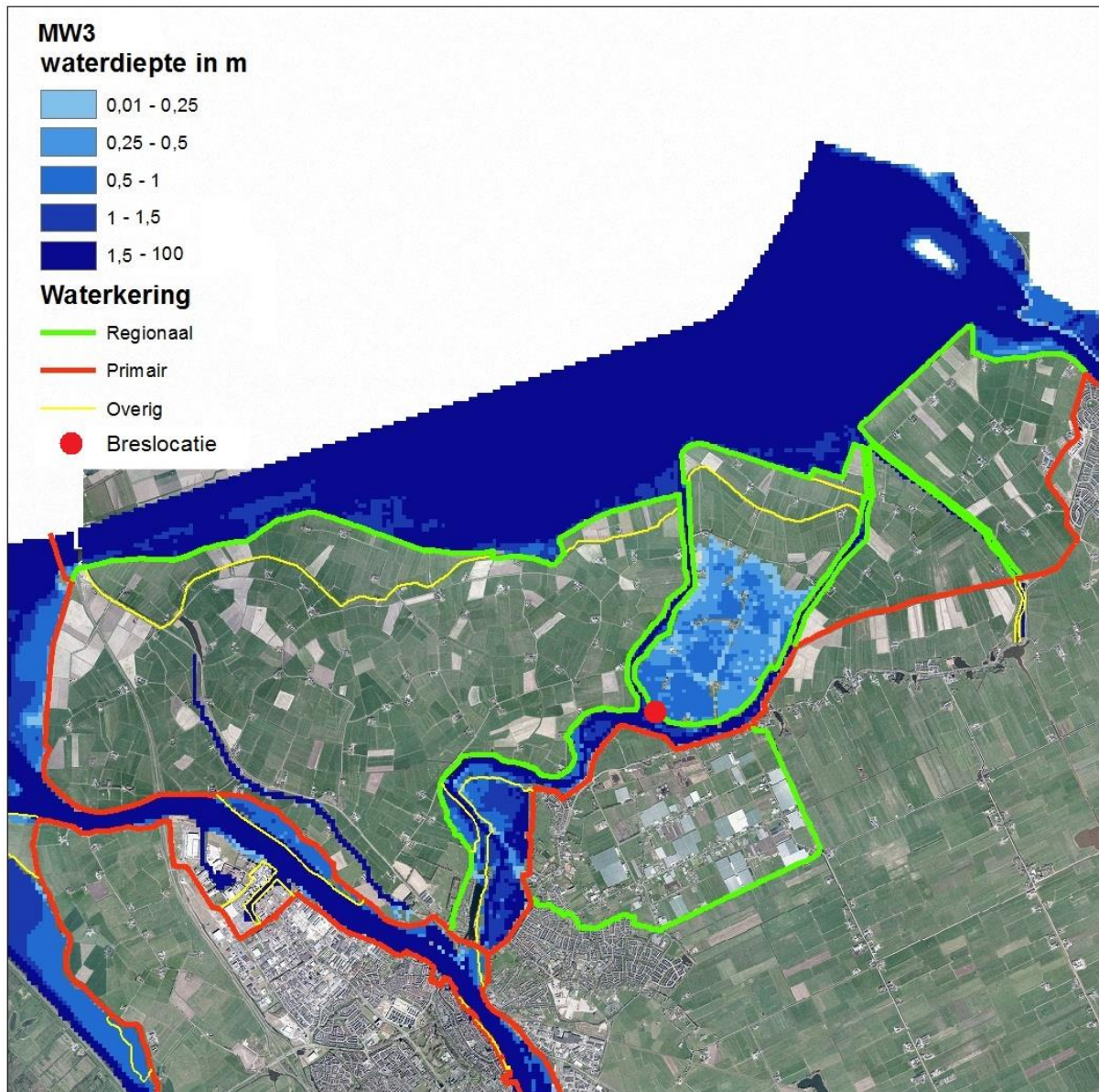
Figuur 25: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario KE4



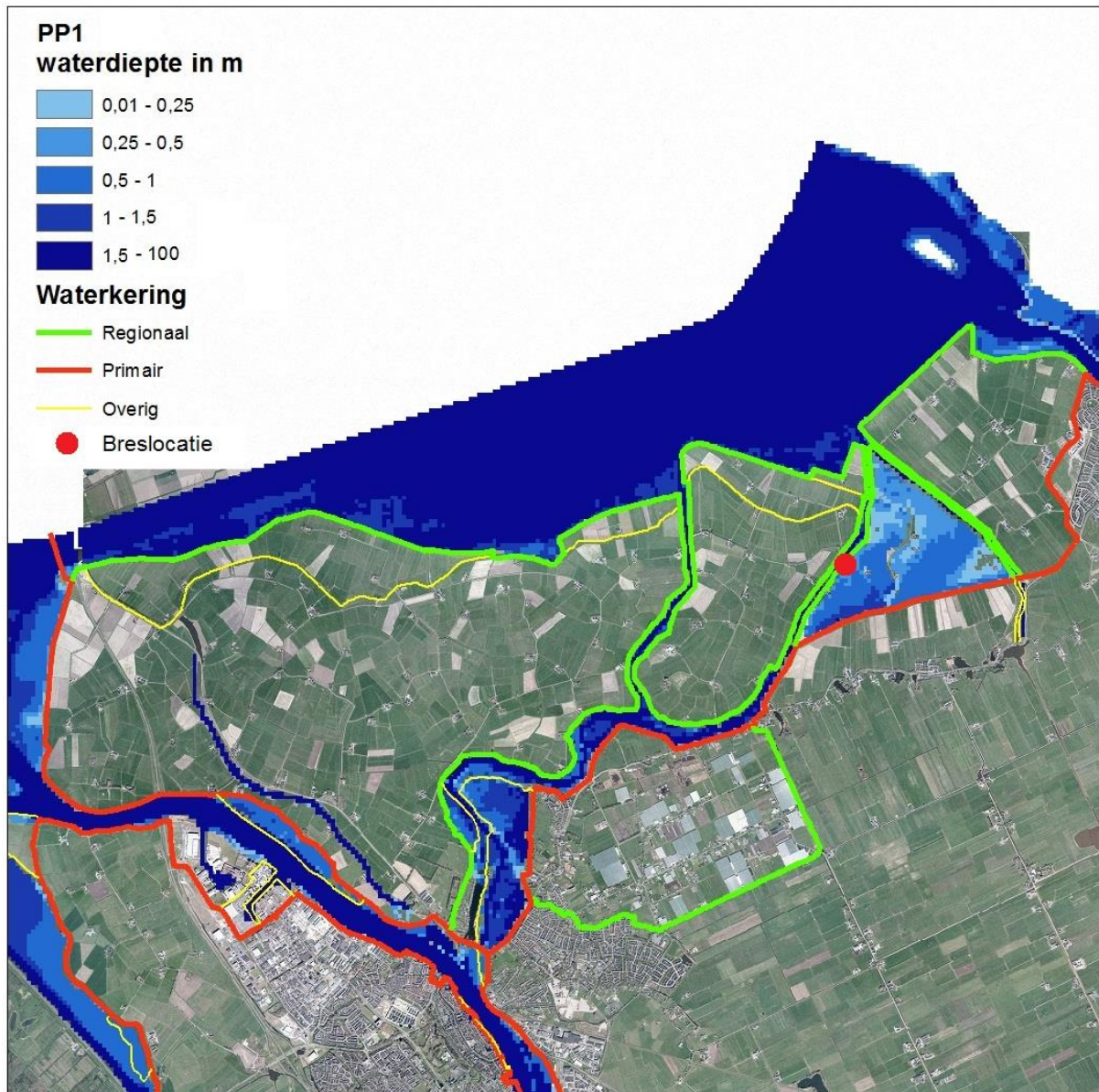
Figuur 26: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario MW1



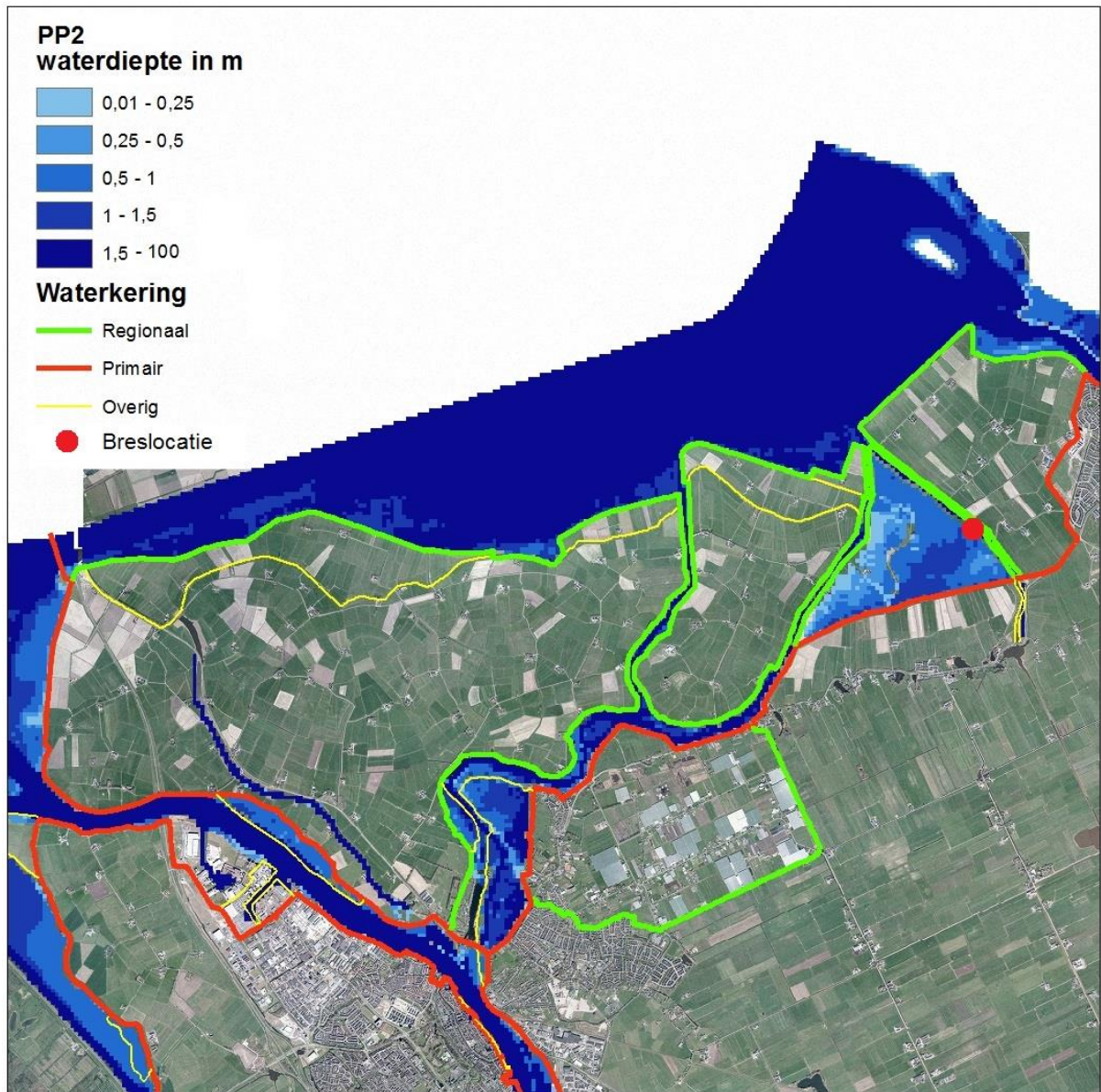
Figuur 27: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario MW2



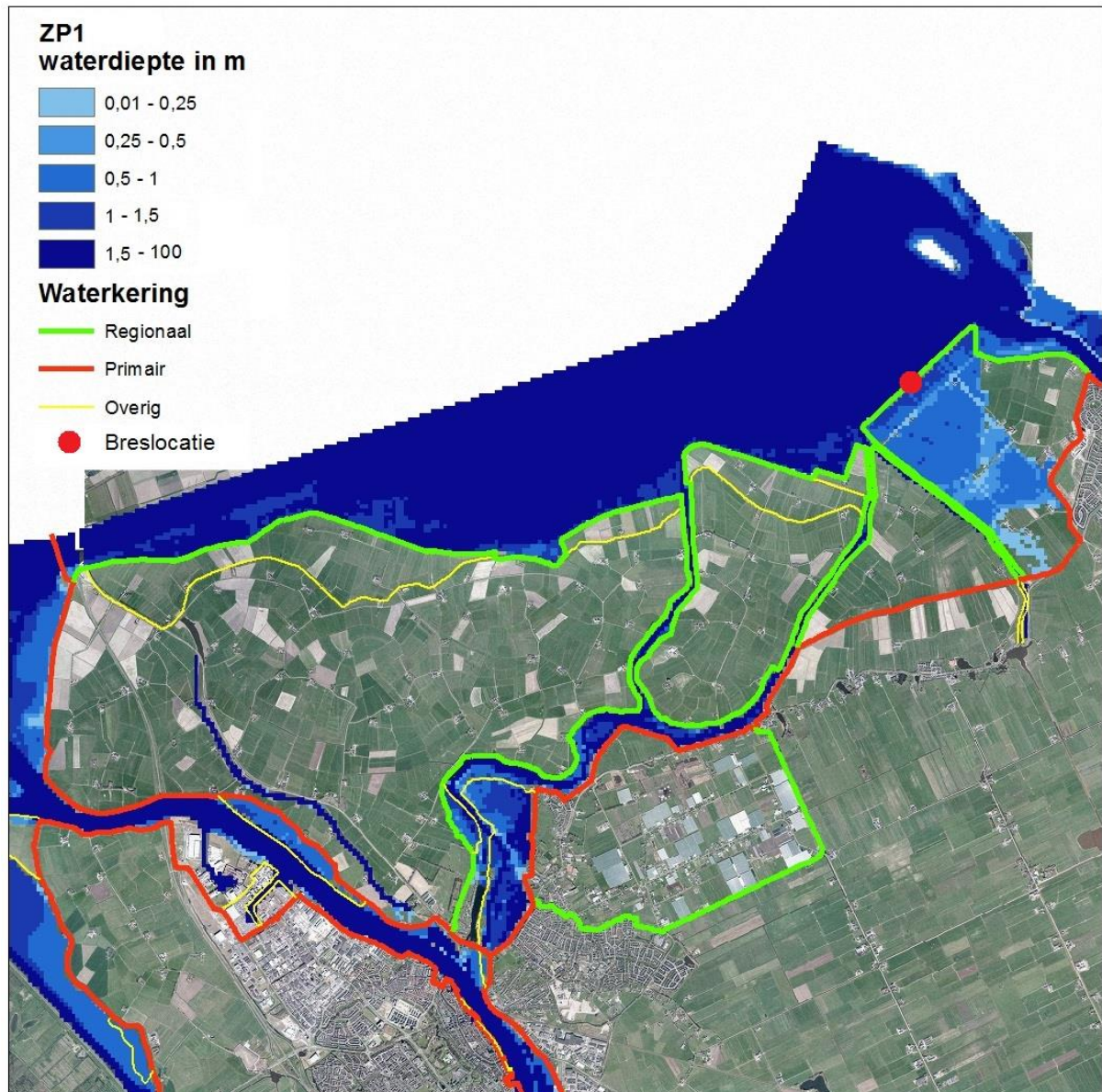
Figuur 28: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario MW3



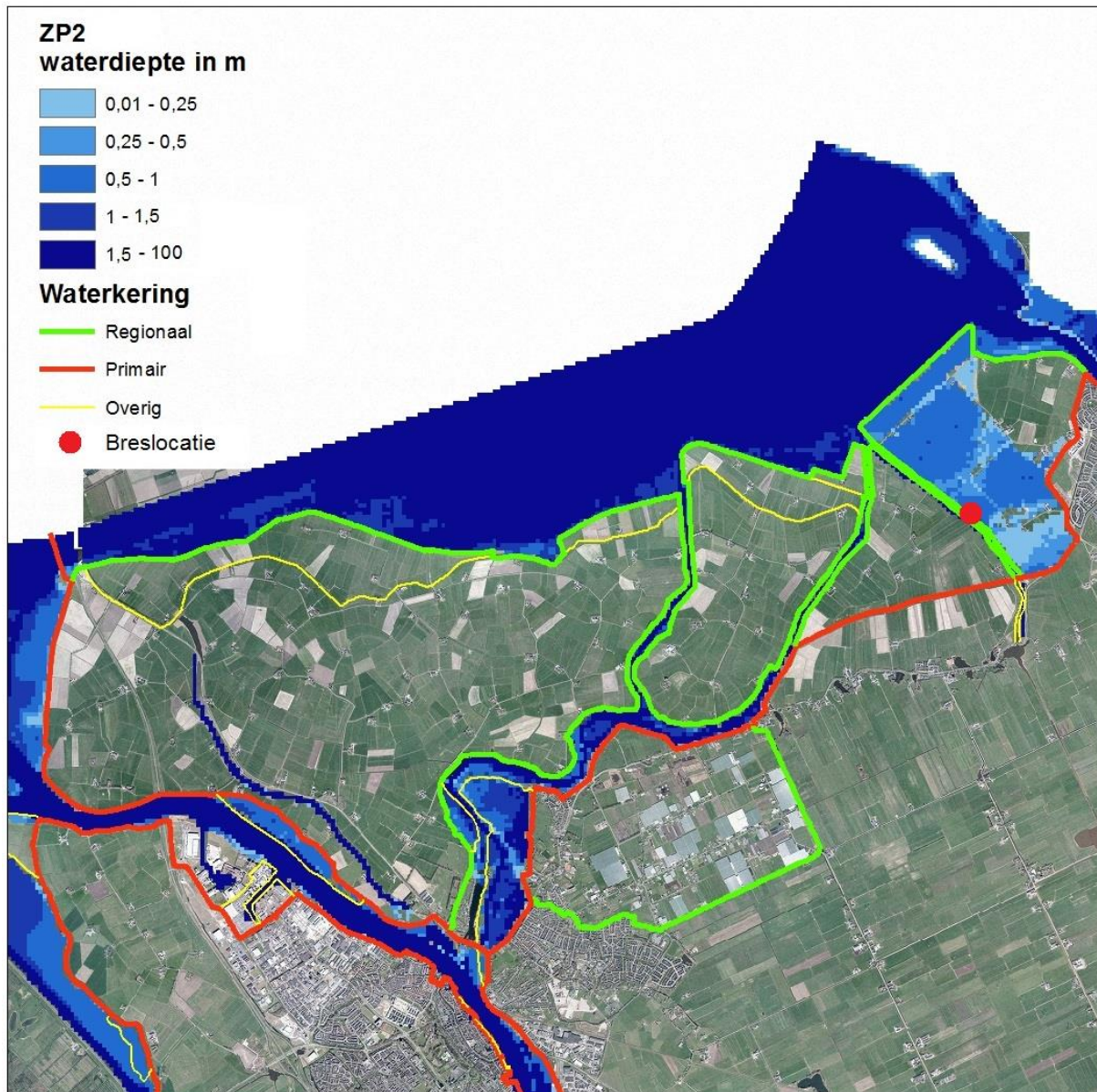
Figuur 29: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario PP1



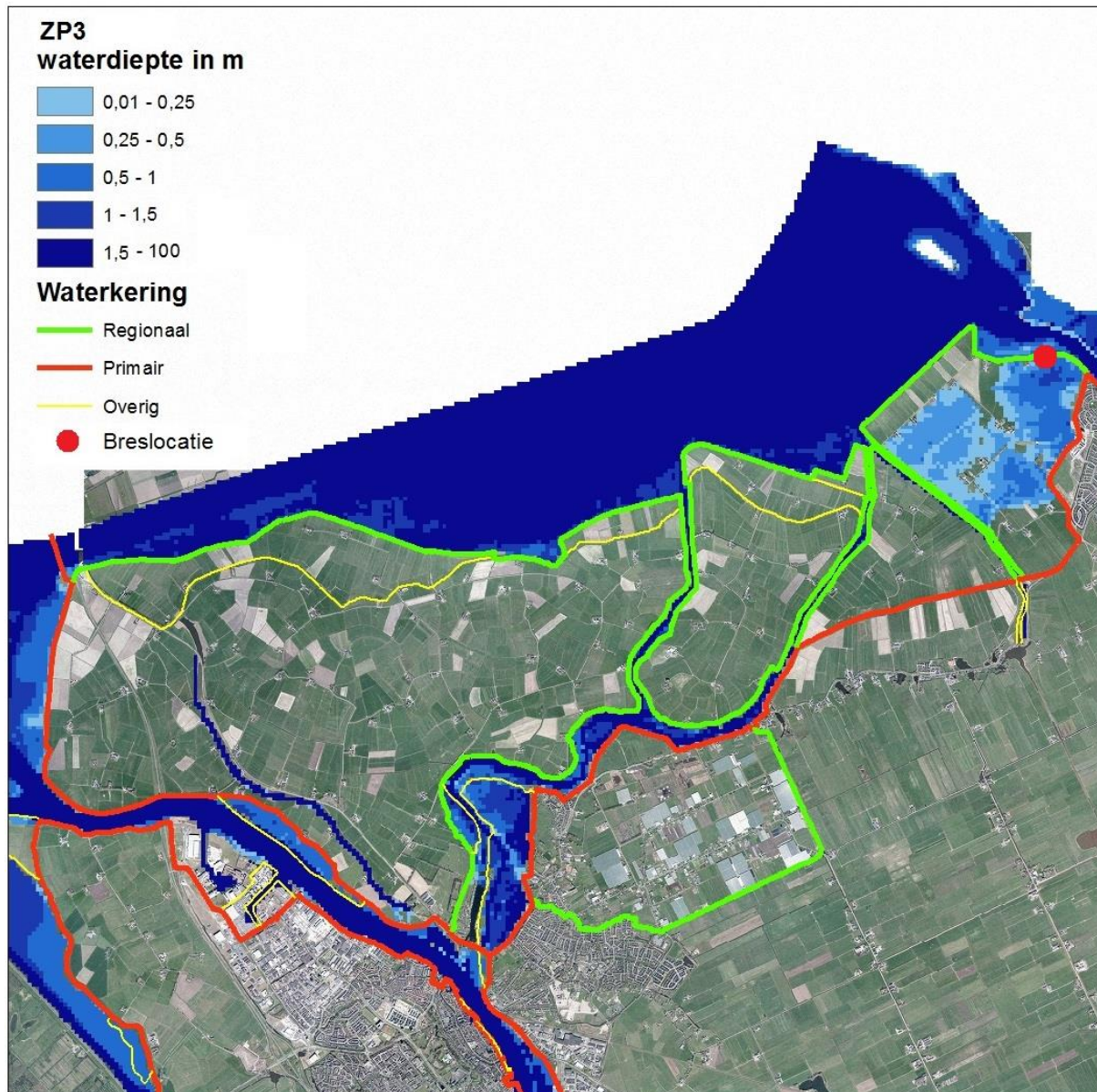
Figuur 30: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario PP2



Figuur 31: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario ZP1



Figuur 32: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario ZP2



Figuur 33: Maximale waterdiepte, overstromingsscenario ZP3

Bibliografie

- 3Di waterbeheer. (2015, april 28). *Wind- & Bresgroei*. Opgehaald van Wind- & Bresgroei.
- Chbab, H. (2012). *Achtergrondrapportage WTI-2011 voor de Vechtdelta*. Deltaris.
- Delft Software Australia. (2015). *1D & 2D modelling for natural and man-made water systems*.
Opgehaald van Delftsoftware Australia: <http://www.delftsoftware.com.au/products1.html>
- Geerse, C. (2006). *Hydraulische randvoorwaarden 2006 Vecht- en IJsseldelta*. Lelystad: RIZA, afdeling WRV.
- Goor, G.-R. v. (2011). *Overstromingsberekeningen regionaal genormeerde keringen in Overijssel*.
Zwolle: Provincie Overijssel.
- Havinga, F., Geerse, C., & Vieira da Silva, J. (2012). *Overstromingsscenario's Kampereilanden*. HKV Lijn in water.
- Leenders, J., & Silva, J. V. (2014). *Omzetting overstromingsmodellen van FLS naar SOBEK*. HKV lijn in water.
- Leenders, J., & Versteeg, R. (2014). *Overstromingsberekeningen Sallandse Weteringen*. HKV.
- Nieuwenhuijzen, L. v. (2009). *Randvoorwaarden regionale keringen langs het Zwarte Meer*. Royal Haskoning.
- Rijkswaterstaat & Provincie Overijssel. (2015). *Reevediep*. Opgehaald van Ruimte voor de rivier IJsseldelta: <http://www.ruimtevoorderivierijsseldelta.nl/nl/waar-doen-we-dit/>
- Ros, B., & Sluiter, D. (2015). *Uitgangspunten dijkverbetering regionale waterkeringen buitenpolders Kampereiland*. Zwolle: Waterschap Groot Salland.
- Schep, P. (2015). *Introductie waterschap Groot Salland*. Opgehaald van http://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/22601/introductie_waterschap_groot_salland_petra_schep.pdf.
- Verheij, H. (2003). *Aanpassen van het bresgroeimodel in HIS-OM*. WL Delft Hydraulics.
- Waterschap Aa en Maas. (2013). *Beleidsregels Keur waterschap Aa en Maas 2013*.
- Waterschap Groot Salland. (2015). *Waterveiligheid Kampereilanden*. Opgeroepen op April 2, 2015, van Waterschap Groot Salland: <http://www.wgs.nl/veilige-dijken/waterveiligheid/>

Lijst van afkortingen

WGS	Waterschap Groot Salland
km ²	Vierkante kilometer
ca.	Circa
1D en 2D	1 dimensionaal en 2 dimensionaal
AHN	Actueel Hoogtebestand Nederland
MHW	Maatgevende hoogwaterstand
NAP	Normaal Amsterdams Peil
$h_{\max}$	Maximale waterstand
$z_{\min}$	Laagste niveau in bres
u_c	Kritieke stroomsnelheid
KE1	Breslocatie Kampereiland 1
KE2	Breslocatie Kampereiland 2
KE3	Breslocatie Kampereiland 3
KE4	Breslocatie Kampereiland 4
MW1	Breslocatie Mandjeswaard 1
MW2	Breslocatie Mandjeswaard 2
MW3	Breslocatie Mandjeswaard 3
PP1	Breslocatie Polder de Pieper 1
PP2	Breslocatie Polder de Pieper 2
ZP1	Breslocatie Zuiderzeepolder 1
ZP2	Breslocatie Zuiderzeepolder 2
ZP3	Breslocatie Zuiderzeepolder 3