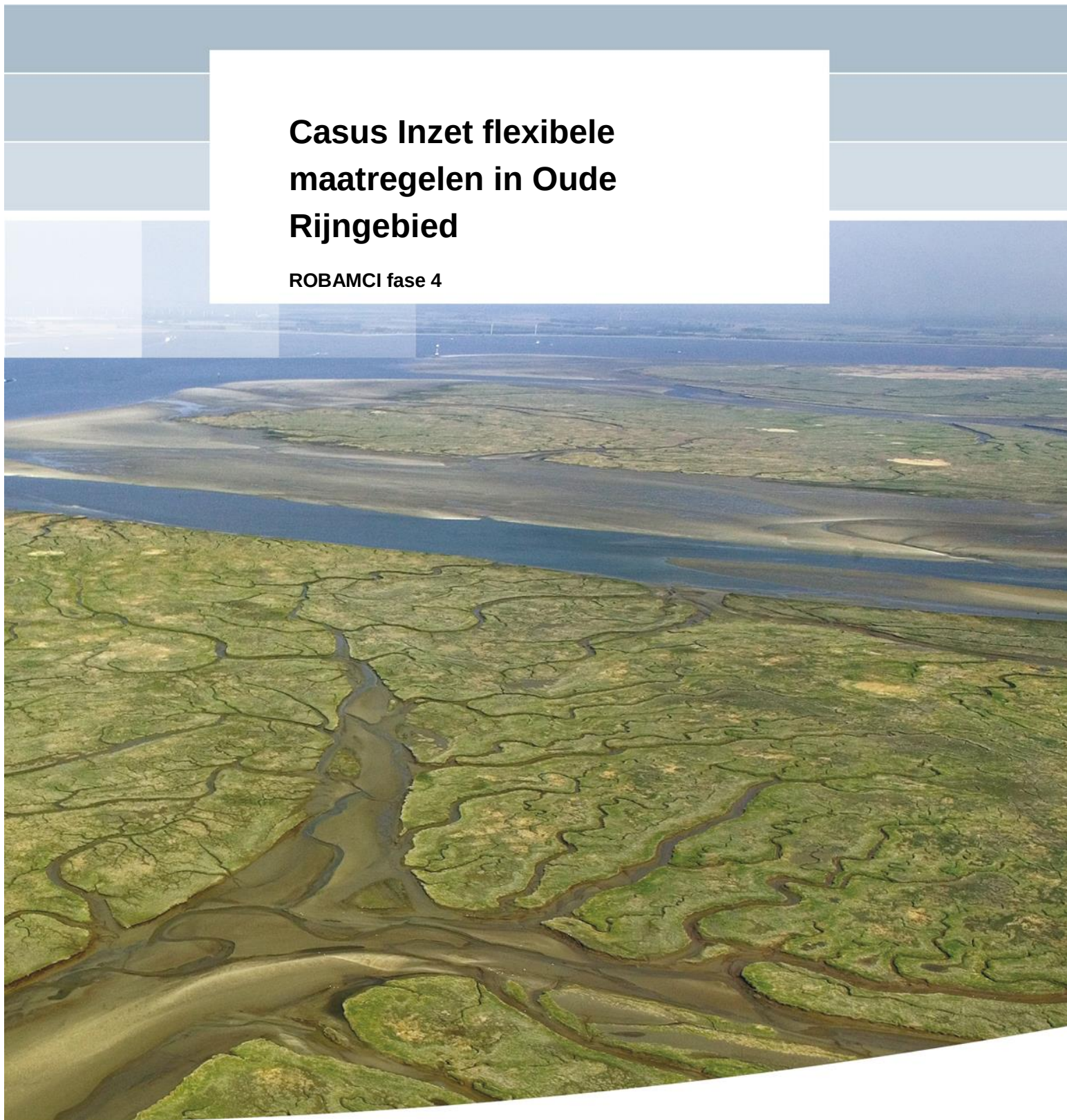


Casus Inzet flexibele maatregelen in Oude Rijngebied

ROBAMCI fase 4



Casus Inzet flexibele maatregelen in Oude Rijngebied

ROBAMCI fase 4

Annette Kieftenburg (Deltares)
Nienke Kramer (Deltares)
Susanne Groot (HKV)
Sigi Marell (CMSAM)
Astrid van Veldhoven (HDSR)
Dorien Honingh (HKV)
Karolina Wojciechowska (Deltares)
Rob Brinkman (Deltares)
Jasper Bink (BZIM)
Sean Roelofs (BZIM)
Hans Korving (Deltares)

Titel

Casus Inzet flexibele maatregelen in Oude Rijngebied

Project

11200692-004

Kenmerk

11200692-004-ZWS-0001

Pagina's

75

Trefwoorden

ROBAMCI, HDSR, risico, assetmanagement

Samenvatting

Zie Hoofdstuk 1

Referenties



HOOGHELIJNS-GEBOUW
DE STICHTSE
RIJNLANDEN



BZ Ingenieurs & Managers



Enabling Delta Life

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	juni. 2019	N. Kramer		B. van Kester			
0.7	Juni 2019	N. Kramer		A. Kieftenburg			
0.8	Juni 2019	A. Kieftenburg		N. Kramer			
0.9	Juli 2019	A. Kieftenburg		F. den Heijer		Judith Kaspersma	

Status

definitief

Inhoud

1 Samenvatting	1
2 Aanleiding	3
2.1 Context	3
2.2 Achtergrond	3
2.3 Hoofdvraag	4
2.4 Uitgangspunten:	4
2.5 Aanpak en leeswijzer	5
3 Beschrijving watersysteem en maatregelen	9
3.1 Beschrijving van het reguliere systeem	9
3.2 Beschrijving van de flexibele maatregelen	10
3.2.1 Flexpompen	10
3.2.2 Flexibele waterberging	12
4 Gemaal betrouwbaarheid	13
4.1 Inleiding	13
4.2 IKM	13
4.3 Toepassing IKM	13
4.4 Conclusie	15
4.5 Toepassing	15
4.6 Discussie	16
5 Analyse Prestatie	17
5.1 Inleiding	17
5.2 Aanpak met Probabilistic Toolkit (PTK)	17
5.3 Scenario's	18
5.4 Algemene uitgangspunten	18
5.5 Stochast neerslagpatroon	18
5.6 Stochast neerslagvolume	20
5.7 Stochast pomp Gerverscop	20
5.8 Stochastcombinaties	21
5.9 SIMGRO-SOBEK	21
5.9.1 SIMGRO	21
5.9.2 SOBEK	22
5.10 Randvoorwaarden, initiële conditie en modelinstellingen	22
5.10.1 Buitenwaterstand	22
5.10.2 Initiële conditie grondwaterstand	22
5.10.3 Tijdstip inzet flexibele pomp	22
5.10.4 Tijdstip inzet bergingsgebied	22
5.11 Resultaten van de PTK bij de 1/100 situatie	22
5.12 Eerste conclusie	28
6 Kwalitatieve Risico Analyse	29
6.1 Inleiding	29
6.2 Aanpak	29
6.3 Scenario's	30

6.4	Uitgangspunten	31
6.5	Resultaten	31
6.5.1	Risicoverdeling scenario's per bedrijfswaarde	31
6.5.2	Uitwerking naar risicogetal van de varianten	32
6.5.3	Risicoverdeling scenario's	33
6.6	Reflectie	33
7	Voorbeeld kwantitatieve Risico Analyse	35
7.1	Aanpak	35
7.2	Voorbeeld – peilgebied PG0765	36
7.3	Resultaat	38
7.4	Voorbeeld- evaluatie inzet overloopgebied	38
8	Synthese	41
9	Conclusie en aanbevelingen	43
9.1	Conclusie	43
9.2	Aanbevelingen	44
10	Referenties	47
 Bijlage(n)		
A	Bijlage IKM	A-1
B	Bijlage: waterstand	B-1
C	Bijlage Duur	C-1
D	Bijlage: Risicoverdeling per bedrijfswaarde	D-1
E	Bijlage : Risicomatrix bedrijfswaarden met risicogetallen	E-1
F	Bijlage: Logboek modellering	F-1

1 Samenvatting

Het Oude Rijngebied is gelegen in het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR). Het gebied bestaat uit ca. 20 polders die via gemalen afvoeren op het Oude Rijn boezemsysteem. Bij droogte, wateroverlast en kwaliteitsproblemen worden door HDSR soms mobiele pompen (ofwel: flexpompen) ingezet. Daarnaast bestaat de mogelijkheid om bepaalde polders als bergingsgebied in te zetten om zo extra buffercapaciteit te creëren. Tijdens een dergelijke inzet is het zeer wenselijk om waardevolle delen in de polder te beschermen met barriers.

Bij het inzetten van de beheersmaatregelen (zoals flexpompen of bergingsgebieden) streeft HDSR naar een optimale waarde van de assets, door een balans te vinden tussen het behalen van de gewenste prestaties, het onder controle hebben van de risico's (o.m. met weging van de bedrijfswaarden van HDSR) die optreden en de kosten van deze maatregelen over de genomen levensduur. Dit staat ook wel bekend als de basisprincipes van asset management. Binnen dit rapport is de inzet van flexibele beheersmaatregelen (pompen en bergingsgebieden) beoordeeld op prestatie (mbv SOBEK berekeningen) en initiële kwalitatieve risicoschatting van de beoogde maatregelen (mbv een risicomatrix). In dit rapport wordt een methode verkend om deze nu losse componenten te koppelen om HDSR te kunnen ondersteunen bij beslissingen over de inzet van flexibele maatregelen. Een en ander komt samen in de synthese. Middels een voorbeeld op basis van het framework uit de synthese wordt een doorkijkje gegeven naar een kwantitatieve risico-inschatting.

De "prestatie" van de maatregelen wordt bekeken aan de hand van de vergelijking met een referentiecasse. Hier worden het effect op de maatgevende waterstanden en bijbehorende overschrijdingsduur beschouwd. De maatgevende waterstand is hier de waterstand met een herhalingsduur van 100 jaar (99%-percentiel). Om deze waterstanden te bepalen is een probabilistisch raamwerk opgezet waarbij binnen de SOBEK-berekeningen de flexpompen automatisch worden aangestuurd op basis van informatie uit de logdata van diverse pompen in het gebied. De maatgevende waterstanden zijn hierbij op vergelijkbare wijze bepaald als voor de toetsing van de regionale keringen in het gebied.

Uit de resultaten (1000 trekkingen, 99%-percentiel, winterstatistiek 2015) blijkt dat bergingsgebied A (Noordzijderpolder & Meijepolder) doorgaans een minimaal effect heeft op de maatgevende waterstanden. Bergingsgebieden B (Snelrewaard-West) en C (Groot Hekendorp) hebben zo goed als geen effect. Flexpompen laten een lokaal positief effect zien, echter dit gaat gepaard met een negatief effect op andere locaties in het gebied. Negatieve effecten worden veroorzaakt doordat bij zwaardere belasting van de boezem door de flexpomp, het maalstoppeil eerder wordt ingesteld. Geconcludeerd moet worden dat het belangrijk is om het systeem goed te kennen alvorens tot een maatregelkeuze te komen. Immers een flexpomp op de verkeerde plaats kan lokaal averechts werken, of het overlastprobleem verschuiven. Bij elke bui kan weer een andere locatie gunstig zijn. Inzet van beide typen beheersmaatregelen kan door verder onderzoek en systeeminzicht wel verder worden geoptimaliseerd door aanvullende scenario's te beschouwen.

De flexibele maatregelen zijn tevens beoordeeld op het initieel geschatte "risico". Hiervoor zijn met HDSR risicomatrices opgesteld voor de 5 bedrijfswaarden (Veiligheid, Milieu en leefomgeving, Proces, Kosten en Imago). Uit deze resultaten wordt ook hier dat inzet van de bergingsgebieden als niet gunstig gezien.

Dit oordeel is met name gebaseerd op de ingeschatte operationele risico's van dit moment op basis van de huidige ervaringen. Het risico is daarnaast hoog geacht doordat het een ernstig effect heeft op veiligheid en imago. Ook uit de initiële risico-inschatting volgt dat inzet van flexpompen wel wordt aanbevolen.

Benadrukt wordt dat deze studie een verkennend karakter heeft en vooral inzicht geeft in de methode en de oplossingsrichting. In een vervolgtraject kan dit verder uitgewerkt worden. Hierbij verdient het aanbeveling om de scenario's te herformuleren en uit te breiden, de dataset uit te bereiden met zomerdata, en de scenario's op te schalen naar zichtjaar 2050, de prestatie- en risicocomponent beter op elkaar af te stemmen en om de kostencomponent toe te voegen aan de ROBAMCI-tools. Hiermee kan uiteindelijk een maatschappelijk verantwoorde keuze gemaakt worden voor de aanschaf en inzet van assets rondom hoogwaterbescherming.

2 Aanleiding

2.1 Context

Dit rapport is onderdeel van fase 4 van het ROBAMCI-programma ('Risk and Opportunity Based Asset Management for Critical Infrastructures'). Dit programma richt zich op het aantoonbaar maken van risicogestuurd levenscyclus beheer, en heeft als doelstelling om methoden, tools en "best practices" te genereren die de implementatie hiervan en van kwantitatief onderbouwd assetmanagement mogelijk maken. Er is in deze studie gebruik gemaakt van de Probabilistic Toolkit (PTK) van ROBAMCI-tools.

Dit rapport beschrijft de case studie waarin de inzet van flexibele maatregelen in het Oude Rijngebied wordt onderzocht. De studie is uitgevoerd in een samenwerkingsverband tussen vijf partijen, dit zijn:

1. HDSR (probleemeigenaar)
2. BZIM (studie betrouwbaarheid pompen)
3. CMS (initiële risicomatrix)
4. HKV (SOBEK)
5. Deltares (koppeling met PTK en coördinatie)

2.2 Achtergrond

Het Oude Rijngebied is gelegen in het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR). Het gebied bestaat uit ca. 20 polders die via gemalen afvoeren op het Oude Rijn boezemsysteem. Bij droogte, wateroverlast en kwaliteitsproblemen worden door HDSR soms mobiele pompen (ofwel: flexpompen) ingezet. Bij wateroverlast kunnen ook daartoe aangewezen polders worden ingezet als bergingsgebied, waarbij maatregelen genomen moeten worden om waardevolle delen van de polders te beschermen (inzet van barriers). Hiermee heeft HDSR op dit moment nog geen ervaring.

Er zijn 6 flexpompen op voorraad om ingezet te worden, deze hebben een capaciteit van 0,5 m³/s. In 2000 zijn deze pompen aangeschaft en ze hebben een technische levensduur van maximaal 25 jaar. Grotere pompen zijn niet in het bezit van het waterschap en zouden gehuurd of gekocht moeten worden tegen meerprijs.

In HDSR (2018) is met behulp van een SOBEK3 model onderzocht wat het effect is van inzet van flexpompen voor de neerslagsituatie zoals opgetreden in december 2016. De belangrijkste conclusies uit deze HDSR-studie zijn:

- Voor de neerslagsituatie van december 2016 is het plaatsen van een flexibele pomp zinvol als het doel is de duur van de inundatie te verkorten. Hierbij moet de flexpomp wel daar in het peilgebied geplaatst worden waar de inundatie optreedt. Als dat niet het geval is en de flexpomp als extra capaciteit bij het gemaal geplaatst wordt (en het probleem niet in het maalpand zit) dan heeft de pomp bijna geen effect.
- De inzet van een flexpomp heeft in deze situatie geen invloed op de piek van de afvoergolf. Als er een grote hoeveelheid neerslag valt kan deze bijna niet voldoende snel worden afgevoerd. Er valt bijna niet tegen op te malen. Alleen met zwaar overdimensioneren kan de piek verlaagd worden.

- Uit gesprekken met beheerders is gebleken dat er tot nu toe bij kleine problemen altijd genoeg pompen voorhanden zijn geweest. Er worden bij wateroverlast meestal niet meer dan een paar flexpompen tegelijk ingezet en uit de regio kan er altijd wel een extra pomp gehaald worden als het nodig is. Bij grotere calamiteiten zoals bijvoorbeeld de droogte van 2018 worden er meerdere pompen gehuurd, zoals bijvoorbeeld die bij Caspargauw.

Bij het inzetten van de beheersmaatregelen zoals flexpompen of bergingsgebieden, zal HDSR streven naar een optimale waarde van de assets, door een balans te vinden tussen het vervullen van de gewenste prestaties, het onder controle hebben van de risico's die optreden en de kosten van deze maatregelen over de genomen levensduur. Dit staat ook wel bekend als de basisprincipes van asset management. Figuur 2.1 illustreert de samenhang. Binnen dit rapport wordt de inzet van flexibele beheersmaatregelen (pompen en bergingsgebieden) beoordeeld op prestatie en risico.

Het doel van dit rapport is om een schets te geven van een te volgen werkwijze om inzicht te verkrijgen in het eerder genoemde optimum. Vanwege onvoldoende gegevens worden kosten achterwege gelaten.



Figuur 2.1 Prestatie, Risico en Kosten (bron: CMS, 2019)

2.3 Hoofdvraag

Welke flexibele beheersmaatregelen kan HDSR bij dreiging of in het geval van calamiteiten (extreme neerslagbuien) het beste inzetten als aanvulling op de huidige assets voor het reguleren van de neerslag, gelet op de te verwachten prestaties en risico's die kunnen optreden?

2.4 Uitgangspunten:

- De maatregelen worden beoordeeld uitgaande van het huidige systeem en het huidige klimaat (2015 statistiek).
- De maatregelen worden beoordeeld om wateroverlast tegen te gaan (droogte wordt niet in beschouwing genomen).
- Er is uitgegaan van beschikbare afvoerreeksen, die zijn berekend voor buiduren van negen dagen. Dergelijke buien vallen voornamelijk in de winterperiode en daarom is alleen de winterperiode beschouwd.
- Er wordt gebruik gemaakt van het bestaande en door HDSR aangeleverde SOBEK-1D model.
- De analyses in dit rapport zijn verkennend van aard.

2.5 Aanpak en leeswijzer

Binnen dit ROBAMCI-project worden meerdere typen flexibele maatregelen (flexpompen en bergingsgebieden) beoordeeld op prestatie en risico. Hiervoor zijn 11 scenario's gedefinieerd:

Tabel 2.1 Scenario's

nr	Naam	Flexpompen	Bergingsgebied
1	referentie	geen	geen
2	1A	Zegveld + Lange Weide	Noordzijderpolder & Meijepolder
3	1B	Zegveld + Lange Weide	Groot Hekendorp
4	1C	Zegveld + Lange Weide	Snelrewaard-West
5	2A	Haanwijk + Rapijnen	Noordzijderpolder & Meijepolder
6	2B	Haanwijk + Rapijnen	Groot Hekendorp
7	2C	Haanwijk + Rapijnen	Snelrewaard-West
8	3A	Waardsedijk + Enkele Wiericke	Noordzijderpolder & Meijepolder
9	3B	Waardsedijk + Enkele Wiericke	Groot-Hekendorp
10	3C	Waardsedijk + Enkele Wiericke	Snelrewaard-West
11	Alles aan	Zegveld + Lange Weide Haanwijk + Rapijnen Waardsedijk+Enkele Wiericke	Noordzijderpolder & Meijepolder Groot Hekendorp Snelrewaard-West



Flexpompen:

- 1_I Zegveld
- 1_{II} Lange Weide naar Dubbele Wiericke
- 2_I Haanwijk
- 2_{II} Rapijnen
- 3_I Waardsedijk
- 3_{II} Enkele Wiericke naar de Gekanaliseerde Hollandsche IJssel

Bergingsgebieden:

- A_I Noordzijderpolder
- A_{II} Meijepolder
- B Snelrewaard-west
- C Groot-Hekendorp

Figuur 2-1 locaties flexibele maatregelen.

In hoofdstuk 3 wordt een verdere toelichting gegeven op het gebied en de flexibele maatregelen.

De aanpak ter beoordeling van de scenario's is schematisch weergegeven in Figuur 2.2. Het blauw omlijnde blok geeft de "prestatie" beoordeling aan en het groen omlijnde blok het

“risico”. Het rood gearceerde blok “kosten” is onderdeel van de basisprincipes van assetmanagement, maar wordt niet in dit rapport uitgewerkt.

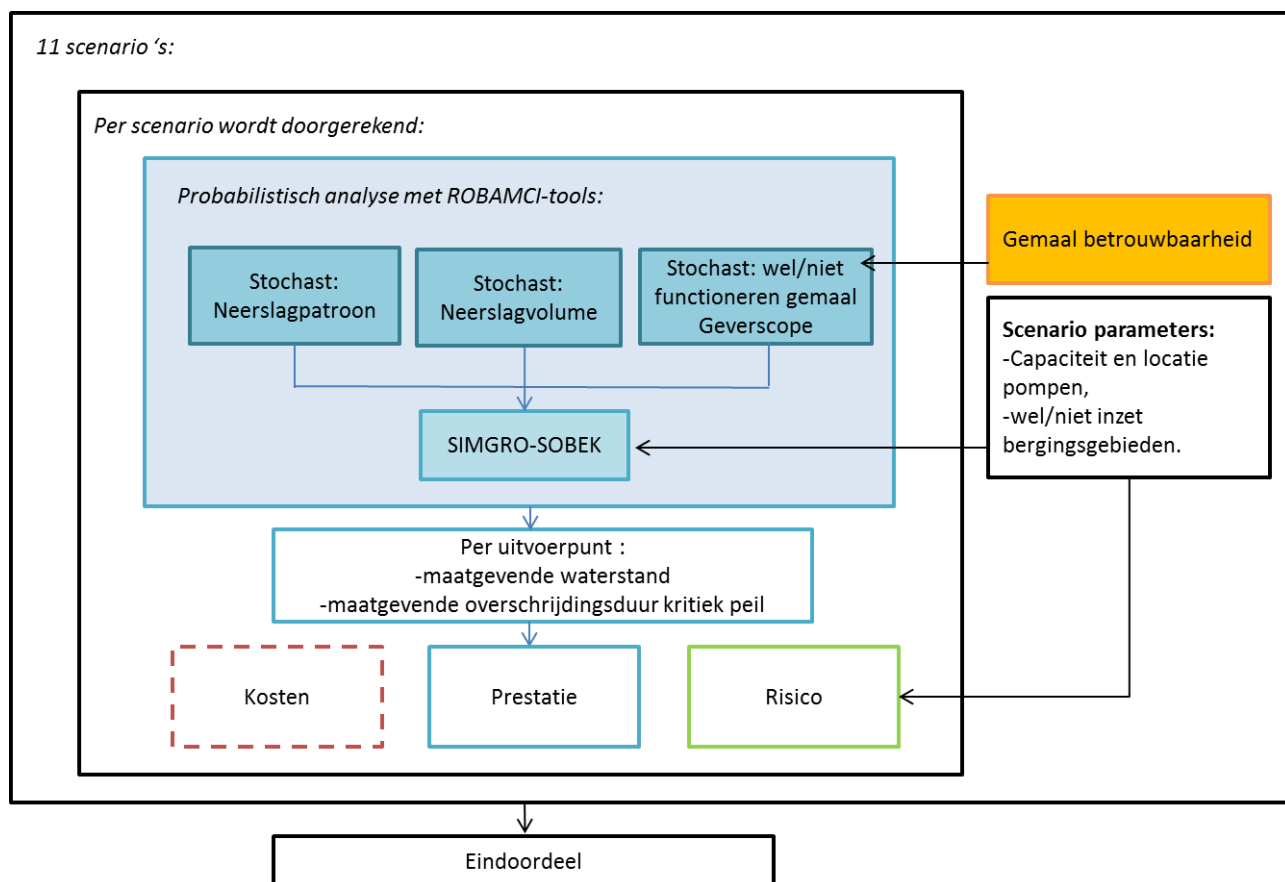
Zoals ook te zien is in het figuur wordt de “prestatie” bepaald aan de hand van piekwaterstanden en bijbehorende overschrijdingsduren op verschillende locaties in het gebied. Deze waterstanden en waterstandsduren worden bepaald aan de hand van een probabilistische berekening met de Probabilistic Toolkit (PTK), welke onderdeel is van de ROBAMCI-tools (blauwe blok in Figuur 2.2). Hier liggen de SOBEK berekeningen aan ten grondslag voor situaties met verschillende terugkeertijden. In de probabilistische berekeningen worden bepalende parameters als stochast meegenomen. Een stromingsmodel gevoed met afvoerreeksen uit een neerslag-afvoermodel wordt ingezet om voor verschillende stochastencombinaties en scenario's de waterstanden uit te rekenen. Een verdere toelichting van de precieze aanpak wordt gegeven in hoofdstuk 5.

De faalkans van de vaste gemalen in het gebied heeft invloed op de piekwaterstanden. In hoofdstuk 4 is de betrouwbaarheid van de pompen uitgewerkt. Uiteindelijk is om te verkennen wat falen van een gemaal voor effect heeft, is van één gemaal (gemaal Geverscope) de faalkans als stochast meegenomen. Om een indicatie te krijgen van de faalkans is in hoofdstuk 4 gekeken naar de faalkans van vaste gemalen in gebied van HDSR (oranje blok in Figuur 2.2).

De initiële “risico” inschatting per scenario is uitgevoerd met behulp van risicomatrices voor de bedrijfswaarden Veiligheid, Milieu en ecologie en Duurzame leefomgeving, , Kosten en Imago. Omdat de resultaten van de prestatie te laat beschikbaar waren, is voor de inschatting van de effecten (risico = kans * effect) gebruik gemaakt van expert kennis (HDSR), gebaseerd op de huidige inzichten en ervaringen. De resultaten van de risico-inschatting is uitgewerkt in hoofdstuk 6.

In hoofdstuk 7 is een start gemaakt met een kwantitatieve Risico Analyse aan de hand van een voorbeeld. In hoofdstuk 8 wordt al het voorgaande samengebracht tot een framework.

Het rapport wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 9.

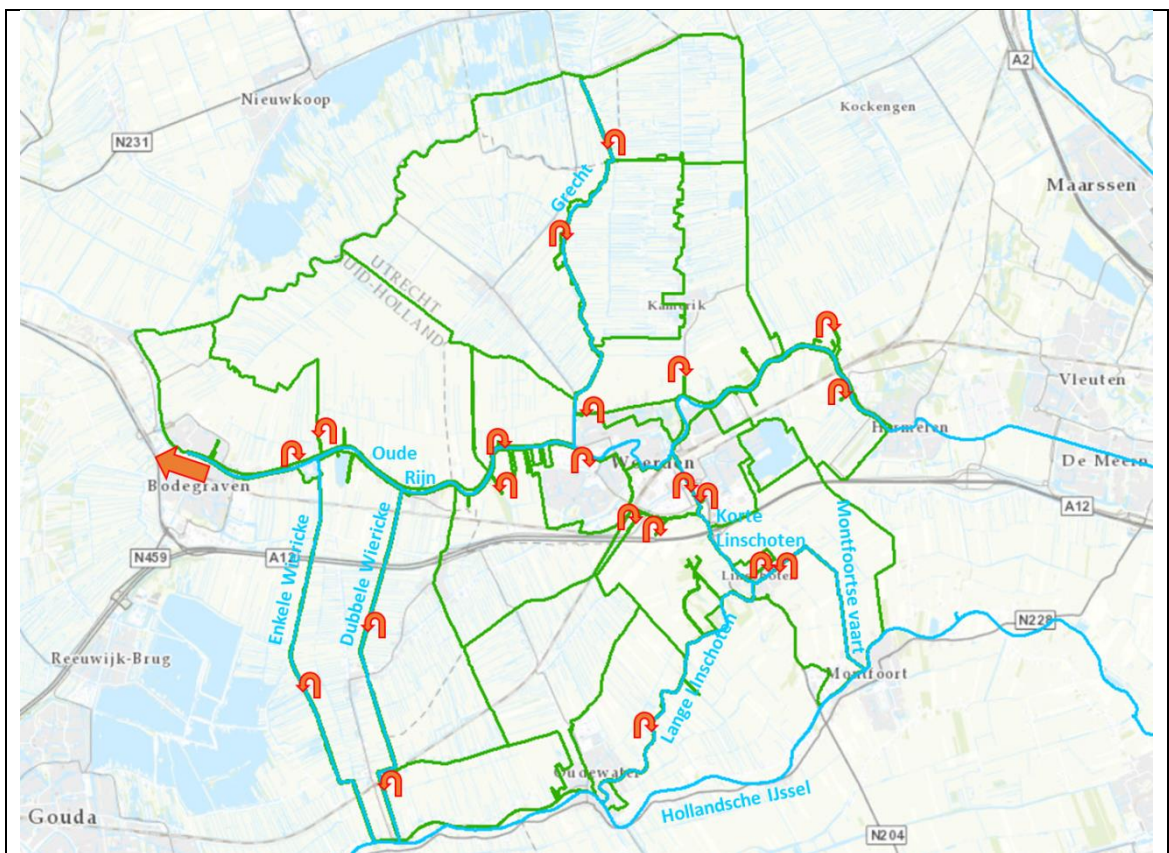


Figuur 2.2 Schematische weergave aanpak

3 Beschrijving watersysteem en maatregelen

3.1 Beschrijving van het reguliere systeem

In Figuur 3.1 is het boezemsysteem van het Oude Rijngebied weergegeven. Het boezemsysteem bestaat behalve uit de Oude Rijn die van oost naar west door het gebied stroomt uit de Grecht aan de noordkant en de Enkele- en Dubbele Wiericke, de Korte- en Lange Linschoten en de Montfoortse Vaart aan de zuidkant. Overtollig polderwater wordt via gemalen op dit boezemsysteem gepompt (zie oranje pijltjes).

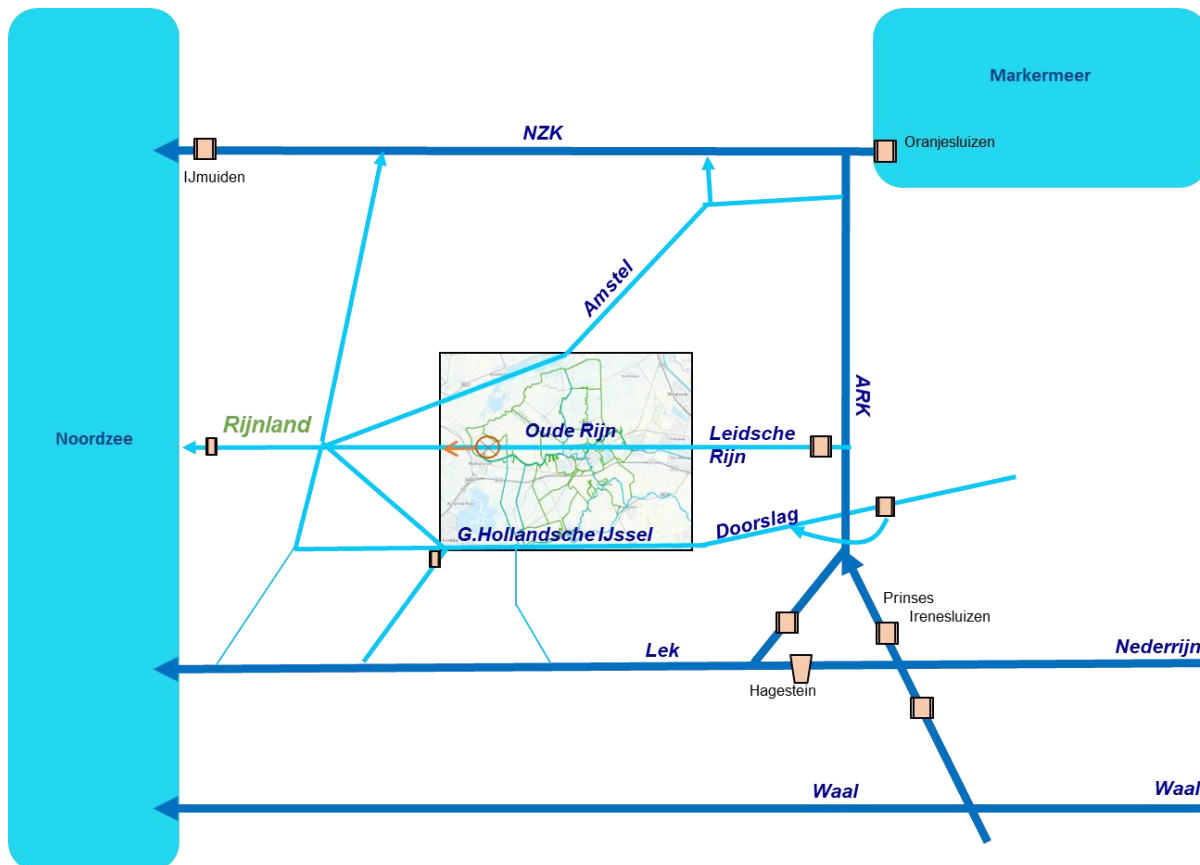


Figuur 3.1 Polders en watergangen Oude Rijngebied.

Al het water wordt via de sluis in Bodegraven afgevoerd naar de boezem van Rijnland (zie rode pijl in Figuur 3.1 en in Figuur 3.2). De totale capaciteit van alle poldergemalen is meer dan de lozingscapaciteit in Bodegraven. Wanneer er veel neerslag is in het hele gebied kan het daardoor voorkomen dat de waterstand in de boezem te ver oploopt, met gevaar voor de regionale waterkeringen die langs de boezem liggen. In dat geval worden één of meerdere gemalen teruggetoerd (= capaciteit verlaagd) of uitgezet.

Het peil in de boezem is ongeveer NAP -0,45 m. In afvoersituaties treedt er verhang op dat grofweg van oost naar west afloopt richting Bodegraven. In droge perioden kan vanuit aangrenzende hoger gelegen boezemsystemen, zoals de Gekanaliseerde Hollandsche IJssel in het zuiden en de Leidsche Rijn in het oosten, water worden ingelaten in de Oude Rijn boezem. Van daaruit kan het ook worden ingelaten in de polders.

De polders bestaan voor een groot deel uit grasland met melkveehouderij. Het grootste stedelijke gebied is Woerden, waarvan de oude binnenstad in open verbinding met de boezem ligt. In de omgeving liggen enkele kernen zoals Linschoten, Oudewater, Driebruggen en Zegveld. Daarnaast komt in enkele polders lintbebouwing voor met zowel boerderijen als woningen.



Figuur 3.2 Ligging Oude Rijngebied in West-Nederland.

3.2 Beschrijving van de flexibele maatregelen

3.2.1 Flexpompen

Flexpompen worden in het huidige beheer toegepast. Er zijn opstelplaatsen beschikbaar bij bestaande gemalen of juiste elders in de polders, om de polders te ontlasten als zich hoge waterstanden voordoen. Het installeren van flexpompen kost enige tijd, ze zijn niet momentaan inzetbaar (kost ca 2 uur). Wanneer één of enkele polders zwaar belast worden door neerslag, kan de inzet van flexpompen zorgen voor beperking van de waterstandstijging, of verkorting van de duur van hoge waterstanden in de polder. Zowel inundatiediepte als inundatieduur (lees overschrijding van maximale waterstand en overschrijdingsduur voor SOBEK-1D) zijn bepalend voor eventueel optredende schade, evenals het seizoen (i.v.m. seizoensgebonden waarde van landbouwgrond). De boezem van HDSR bereikt met enige regelmaat het maalstopniveau (zie hst 4). Wanneer dit gebeurt, kunnen de polders niet meer uitslaan op de boezem en kunnen er dus ook geen flexpompen worden ingezet. Dit zal zich vaker voordoen naarmate een groter deel van het gebied wordt belast door neerslag.

De effecten van inzet van flexpompen op waterstanden in de polders is onderzocht door op zes locaties flexpompen op te nemen (zie tabel 2.1 en figuur 2.1). Op vijf van deze locaties worden polders bemalen, op één locatie betreft het een flexibele pomp die het boezemwater van de Enkele Wiericke uitmaalt naar de Gekanaliseerde Hollandse IJssel (= locatie 3_{II}). De poldergemalen hebben een capaciteit van 0,5 m³/s. Alleen de boezempomp (3_{II}) heeft een capaciteit van 4 m³/s.

Figuur 3-1 geeft de locaties van de flexpompen. Hier zijn de locaties en pompen beschreven:

- | | |
|-----------------|--|
| 1 _I | Locatie bij gemaal Zegveld |
| 1 _{II} | Nieuwe opstelplaats voor flexpomp (niet gelegen bij een gemaal), van Lange Weide naar Dubbele Wiericke. |
| 2 _I | Locatie bij gemaal Haanwijk |
| 2 _{II} | Locatie bij gemaal Rapijnen |
| 3 _I | Locatie bij gemaal Waardsedijk |
| 3 _{II} | Nieuwe opstelplaats voor flexpomp (niet gelegen bij een gemaal), van de Enkele Wiericke naar de Gekanaliseerde Hollandsche IJssel. |

Het inzetniveau van de flexpompen is steeds gebaseerd op de inzet van het gemaal waar ze bij staan, of het gemaal dat elders dezelfde polder bemaalt. De flexpompen slaan pas aan als de reguliere gemalen de waterstand niet kunnen handhaven. De flexpompen gaan uit wanneer op de ontvangen boezem het maalstoppeil overschreden wordt, of wanneer de waterstand in het bemalen gebied binnen de range van de reguliere gemalen is gezakt. De inzet is in detail beschreven in het logboek van de modelaanpassingen, bijlage F en hoofdstuk 4.



Figuur 3-1 Locaties van de flexpompen, nummer refereert aan beschrijving.

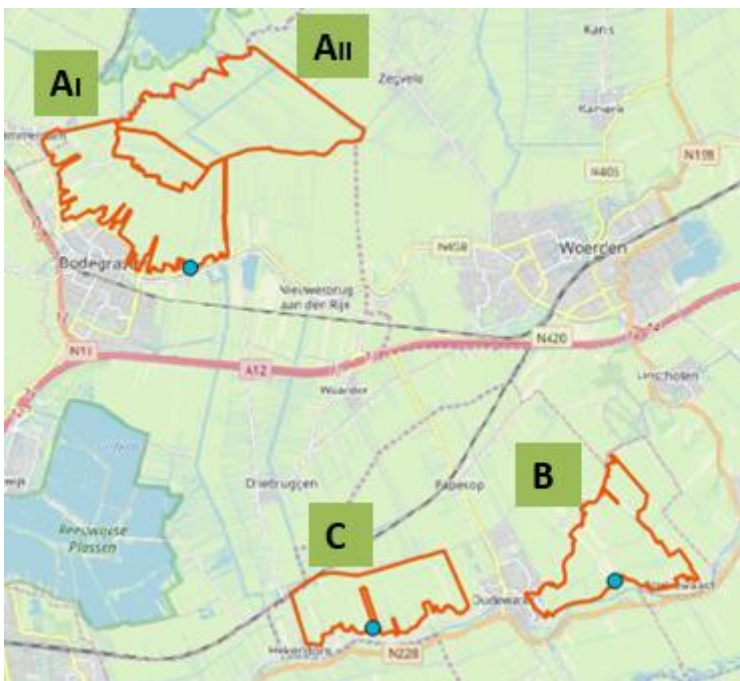
3.2.2 Flexibele waterberging

Naast inzet van flexpompen wordt ook flexibele waterberging beschouwd. Wanneer er sprake is van een maalstop kan de maatregel flexibele berging wel worden ingezet en de waterstanden verlagen. De flexibele berging is zo ingericht dat er water uit de boezem kan worden geborgen, zodat de maatregelen niet alleen in de polder waar deze is gelokaliseerd effect heeft, maar ook daarbuiten.

De bergingsgebieden worden ingezet wanneer de boezem het maalstopniveau dreigt te bereiken. Ze vullen door een inlaat met een maximale capaciteit van 0,5 m³/s. De gebieden kunnen zich vullen tot er gemiddeld maximaal 1 m water staat, dan sluit de inlaat. Figuur 3-2 toont de ligging van de bergingsgebieden. Het gaat om de volgende gebieden:

AI	Noordzijderpolder
AII	Meijepolder
B	Snelrewaard-west
C	Groot-Hekendorp

De berging in de Noordzijderpolder en de Meijepolder functioneert als één, en worden samen ingezet via één inlaatlocatie.



Figuur 3-2 Ligging van de flexibele bergingsgebieden en hun instroomlocaties (blauwe stippen).

4 Gemaal betrouwbaarheid

4.1 Inleiding

Poldergemalen vervullen een belangrijke functie om de impact van wateroverlast in het beheergebied van HDSR tijdens (hevige) neerslag binnen de perken te houden.

Als onderdeel van het beantwoorden van de gestelde onderzoeksvragen is inzicht in de betrouwbaarheid van poldergemalen van belang. Het al dan niet uitvallen van poldergemalen, heeft invloed op de hoogte en de duur van de piekwaterstanden in de polders, welke in hoofdstuk 5 worden afgeleid.

In dit hoofdstuk worden op basis van data-analyse betrouwbaarheden van poldergemalen in het Oude Rijngebied afgeleid en is het informatiekwaliteitsmodel (IKM) toegepast om de kwaliteit van de data te beoordelen.

4.2 IKM

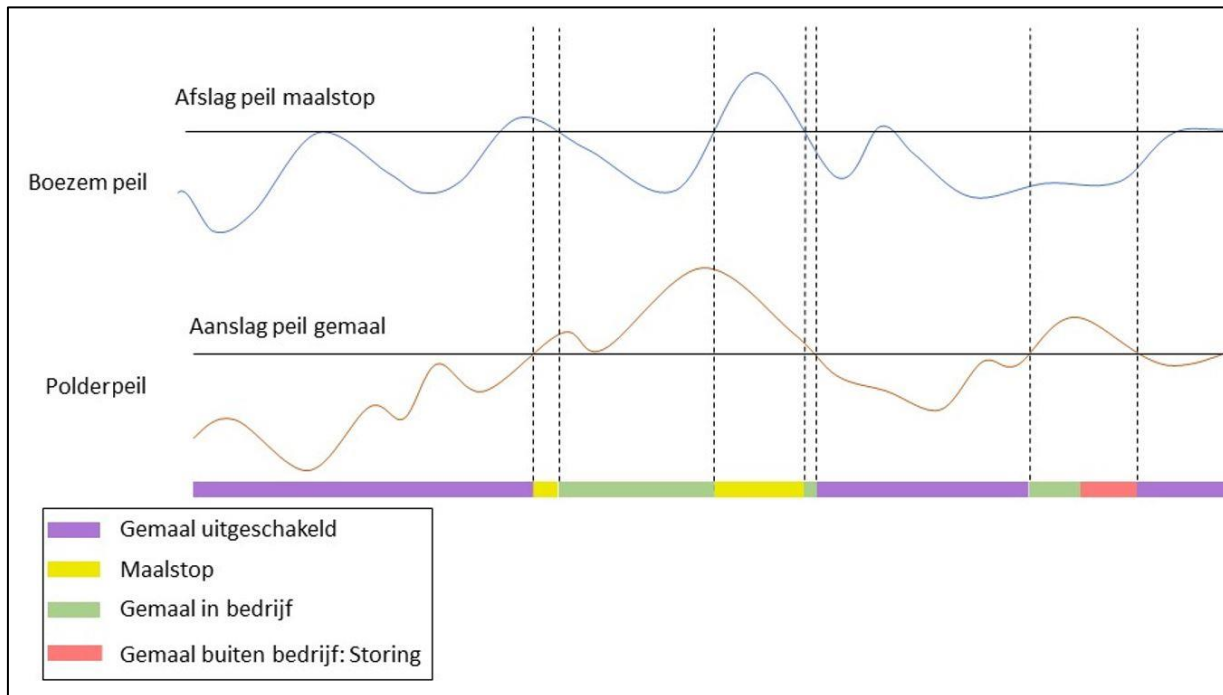
BZIM heeft samen met Deltares een informatiekwaliteitsmodel (IKM) ontwikkeld binnen ROBAMCI. In het model wordt de betrouwbaarheid van data en informatie expliciet beoordeeld.

4.3 Toepassing IKM

De toepassing van het IKM op de gemaalbetrouwbaarheid geschiedt in zes stappen die in bijlage A zijn uitgewerkt. In deze paragraaf wordt een korte samenvatting gegeven.

Relevante variabelen

Onder betrouwbaarheid wordt verstaan: “Het in werking zijn van het gemaal, wanneer dit met betrekking tot peilbeheer noodzakelijk is”. Hiervoor is het van belang om te bepalen wanneer de gemalen in werking zouden moeten zijn, en wanneer dit wel of niet het geval is. Dit is te bepalen aan de hand van waterpeilen boven en benedenstrooms van het gemaal, streefpeilen en draaitijden van de gemalen. In Figuur 4.1 is weergegeven op welke manier de verschillende variabelen relevant zijn.



Figuur 4.1 Voorbeeld t.b.v. uitgangspunten voor draaitijden gemalen.

In Figuur 4.1 is te zien dat gesteld wordt dat het gemaal in werking dient te zijn wanneer het polderpeil zich boven het aanslagpeil van het gemaal bevindt, mits het peil in de boezem niet op een dergelijke hoogte bevindt zodat er een maalstop aannemelijk is. Samengevat zijn de volgende variabelen over een gegeven tijdreeks van belang voor de bepaling van de betrouwbaarheid in deze analyse:

- Polderpeil: waterpeil benedenstrooms van het gemaal over de tijd;
- Boezempeil: waterpeil bovenstrooms van het gemaal over de tijd;
- Streefpeil benedenstrooms van het gemaal (kan fluctueren over de tijd);
- Aanslagpeil van het gemaal;
- Afslagpeil bij maalstop;
- Draaiduur van gemalen over de tijd.

Analyse betrouwbaarheid

De beschikbare data betroffen tijdreeksen van 10 jaar voor 22 gemalen. Na filtering zijn er voor de statistische analyse datasets van 15 gemalen gebuikt, welke zich over een vergelijkbare periode strekken.

Kwaliteitsoordeel

Op basis van de interpretatie van de data en opgestelde grafieken wordt een kwaliteitsoordeel gevormd. Het kwaliteitsoordeel wordt gebaseerd op 5 criteria:

Beschikbaarheid van data; Tijdreeks aanwezig in, of samen te stellen uit beschikbare data: De beschikbare data betroffen tijdreeksen van 10 jaar voor 22 gemalen waarvan er 20 voldoende meetpunten bleken te hebben om de benodigde parameters (waterpeilen beneden- en bovenstrooms als de draaiduur van het gemaal) af te leiden. Tevens is elk datapunt voorzien van een kwaliteitsvlag welke aangeeft of het een betrouwbare meting betreft.

In de analyse is enkel gebruik gemaakt van de tijdstappen waar zowel voor de waterpeilen beneden- en bovenstrooms als de draaiduur van het gemaal de kwaliteitsvlag “betrouwbaar” hebben. Voor het vaststellen van criteria voor het aan- en afslaan van gemalen is gebruik gemaakt van expertschattingen.

- 1 **Anomalieën:** Na de eerste analyse blijkt dat de waarden voor 5 gemalen dermate afwijken van de overige gevonden waarden en het verwachtingspatroon, dat deze als uitschieters zijn geclassificeerd. Oorzaken voor dergelijke anomalieën zijn terug te herleiden naar plaatsing van sensoren, tekort aan betrouwbare datareeksen en gebruikte criteria voor het aan/afslaan van het gemaal.
- 2 **Aantal datareeksen over vergelijkbare periode:** Voor de analyse zijn na filtering, datasets van 15 gemalen gebuikt, welke zich over een vergelijkbare periode strekken.
- 3 **Ruimtelijke verdeling van meetpunten:** De verschillende datareeksen betreffen allemaal poldergemalen die zich verdeeld bevinden over het Oude Rijngebied.
- 4 **Kwaliteit meetmethode:** Doordat er per datapunt een kwaliteitsvlag bekend is, kan er een hoge mate van betrouwbaarheid aan de gebruikte meetpunten worden toegekend.

4.4 Conclusie

De resultaten van statistische analyse geven een gemiddelde waarde voor de betrouwbaarheid van 99,8% , wat betekent dat de gemalen gemiddeld 0,2% van de tijd niet hebben gedraaid de afgelopen 10 jaar terwijl dit op basis van de waterpeilen boven en onderstroom wel gewenst was geweest

Met name gemaal Noord Linschoten geeft een lage betrouwbaarheid in verhouding tot andere gemalen. Dit gemaal is echter in 2018 vervangen. Mogelijk is de lagere betrouwbaarheid van dat gemaal in de afgelopen 10 jaar mede oorzaak om over te gaan tot het vervangen van het gemaal. Een ander gemaal met een lagere betrouwbaarheid is gemaal Overvliet, dit gemaal betreft een van de kleinere boezemgemalen in het systeem. Wanneer gemaal Noord Linschoten buiten beschouwing wordt gelaten, bedraagt de gemiddelde betrouwbaarheid 99,9%

Daarnaast is het opvallend dat een drietal gemalen op basis van de data en criteria, tijdens maatgevende omstandigheden niet in storing hebben gestaan de afgelopen 10 jaar. Het betreft hier gemalen Barwoutswaarder, Noordzijderpolder en Snelrewaard.

De score voor de datakwaliteit van de tijdreeksen is 4 (van de 5) sterren volgens de IKM methodiek. In het IKM is bepaald dat bij een score van 4 Sterren de data een goede beschrijving geeft van het systeem. Echter door het gebruik van expertschattingen voor het aanslag/afslagpeil van het gemaal zullen de afgeleide betrouwbaarheden in combinatie met expert meningen moeten worden geïnterpreteerd. Meer informatie over de toekenning van sterren is weergegeven in Bijlage A.

4.5 Toepassing

In hoofdstuk 5 worden met behulp van SOBEK de maatgevende waterstanden voor uitvoerlocaties in het gebied afgeleid. In de berekeningen wordt de inwerkingtreding van pompen met aanslag-peilen en afslagpeilen geautomatiseerd meegenomen.

Hiernaast is op verzoek van HDSR de betrouwbaarheid van de gemalen toegepast op gemaal Gerverscop: dit is het oudste gemaal in het gebied en heeft daarmee naar verwachting de grootste kans van falen. Hiervoor is onder andere gekozen omdat het meenemen van de faalkans van alle gemalen tot een onwerkbaar aantal stochastcombinaties.

Door gebrek aan gegevens is dit gemaal helaas niet meegenomen in analyses van dit hoofdstuk en is de betrouwbaarheid onbekend. De leeftijd van gemaal Gerverscop 113 jaar oud. Gezien de leeftijd is de verwachting is dat de faalkans van dit gemaal dus groter is dan de hierboven afgeleide 0,2%. Op basis van expert judgement wordt in hoofdstuk 5 meegenomen dat de kans dat tijdens een beoogde inzet, de pomp in storting is, 1% is.

4.6 Discussie

Voor de meeste gemalen waarvoor voldoende data beschikbaar is, is een betrouwbaarheid afgeleid aan de hand van kwaliteitsvlaggen behorende bij de meetgegevens. Deze zijn aan de hand van de gestelde criteria uit het IKM nader beschouwd. Voor enkele gemalen bleek dat de kwaliteitsvlaggen voor de benodigde parameters per meetpunt van de data ontoereikend waren om een betrouwbaarheidsverdeling af te leiden. Deze meetpunten zijn daarom niet meegenomen in de analyse. Foutieve datapunten hadden al geen kwaliteitsvlag en zijn daarom ook niet meegenomen. Omdat alleen de goedgekeurde data is meegenomen in de analyse, levert dit uiteindelijk een datakwaliteit van 4 sterren op conform het IKM voor de beschouwde, geschikte data.

De betrouwbaarheid van de gemalen is bepaald aan de hand van het niet in werking zijn van het gemaal tijdens omstandigheden waarbij het polderpeil zich meer dan 10cm boven het streefpeil bevindt (= expertschatting). Het is echter mogelijk dat een gemaal vaker in storting heeft gestaan bij omstandigheden waar het polderpeil zich binnen deze 10cm marge heeft bevonden. Deze storingen zijn buiten beschouwing gelaten omdat expliciet is gezocht naar de mate van storting tijdens extremere omstandigheden.

Ter bepaling van de criteria voor het in- of buiten werking zijn van het gemaal is gebruik gemaakt van expert judgement (van het waterschap). Wanneer men bovenstaande analyse verder wil verbeteren dan is het aan te bevelen om gebruik te maken van de exacte aan- en afslagpeilen van de individuele gemalen. Deze zouden dan ook in SOBEK kunnen worden toegepast.

Een tweede mogelijkheid is om te starten met het opbouwen van een database waarbij de beheerders storingen registreren. Uit dit onderzoek rond de data van pompen zijn bovendien een aantal punten gevonden die kunnen helpen bij het nog meer vergroten van de kwaliteit en compleetheid van de data in de toekomst, zoals de sensorplaatsing en toevoegen van sensoren.

5 Analyse Prestatie

5.1 Inleiding

De prestatie van de verschillende scenario's (zie tabel 2.1) wordt bepaald aan de hand van een probabilistische analyse, ook wel de stochasten methode genoemd. Een vergelijkbare aanpak is toegepast bij de hertoetsing van de dijken in het beheergebied van HDSR (Hydrologic, 2014).

De probabilistische berekeningen hebben tot doel om voor verschillende locaties in het gebied de maatgevende waterstand (= waterstand met de normfrequentie) en maatgevende overschrijdingsduur (duur boven kritiek peil bij de normfrequentie) vast te stellen.

5.2 Aanpak met Probabilistic Toolkit (PTK)

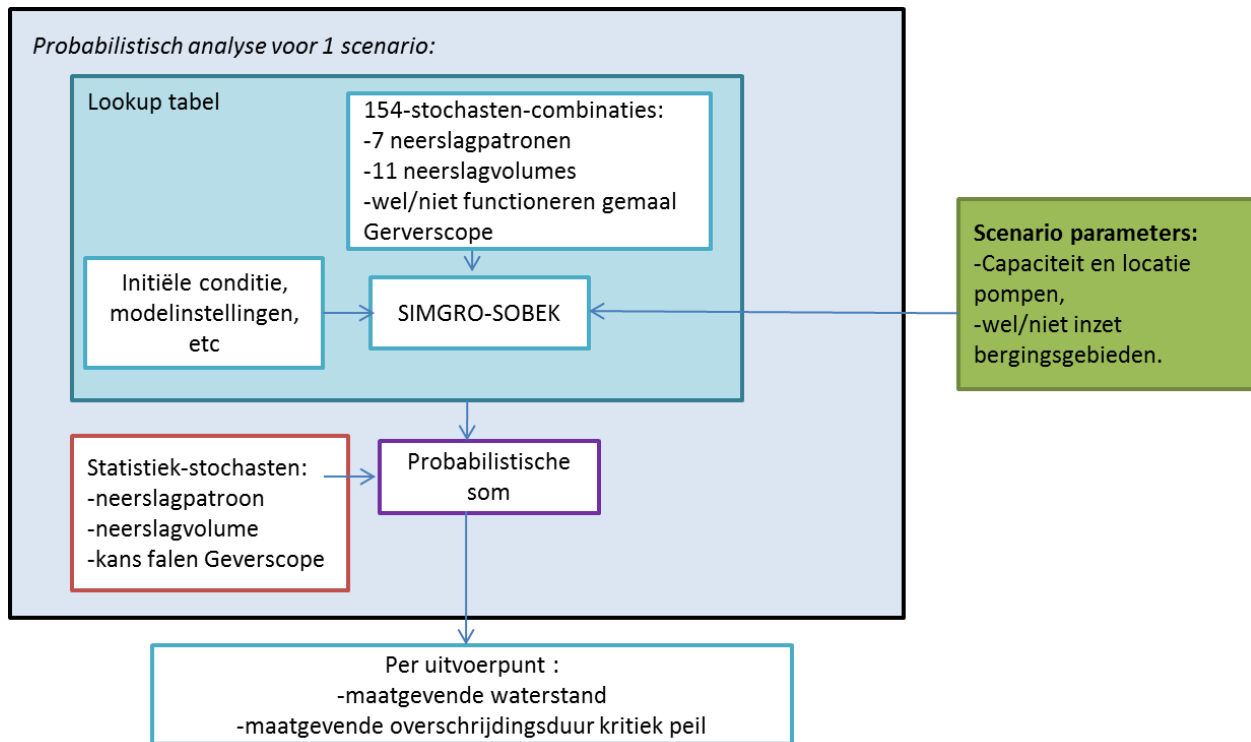
Een van de tools van de ROBAMCI-tools is de Probabilistic Toolkit (PTK). De PTK is ingezet in deze studie voor het automatisch runnen van de SOBEK berekeningen en het uitvoeren van de probabilistische berekeningen. De aanpak per scenario wordt weergegeven in Figuur 5.1.

Eerst worden aan alle variabelen die – naar verwachting – een significante invloed hebben op de waterstand in (een deel van) het gebied een kansverdeling toegekend. (zie rood omlijnde blok). Daarmee worden zij stochastische variabelen, kortweg stochasten. In deze case zijn dit de stochasten;

1. neerslagpatroon;
2. neerslagvolume;
3. wel/niet functioneren van de pomp Geverscope.

De kansverdelingen van de verschillende stochasten worden gediscrediteerd in een eindig aantal klassen, met alle een eigen kans van optreden. Alle mogelijke combinaties worden vervolgens met het hydraulische SOBEK model doorgerekend met als resultaat de waterstanden op de uitvoerlocaties. De resultaten worden bewaard in een lookup tabel (iets donkerderblauw omrande blok). Het idee achter het vullen van de lookup tabel is het reduceren van het aantal (tijdrovende) berekeningen met SOBEK. Een wiskundige ruimte wordt opgespannen met voldoende steunpunten voor de stochasten (in dit geval $7 \times 11 \times 2 = 154$). Vervolgens worden trekkingen gedaan uit de tabel (in dit geval 1000 trekkingen). Dit scheelt een factor 6 aan rekentijd.

De laatste stap is het uitvoeren van probabilistische berekening (paars omlijnde blok). In de probabilistische berekening wordt per realisatie de gecombineerde kans van optreden bepaald. Vervolgens kan per uitvoerpunt de piekwaterstand bij de gewenste herhalingsduur en de bijbehorende overschrijdingsduur worden bepaald.



Figuur 5.1 Schematische aanpak probabilistische berekening per scenario.

5.3 Scenario's

Er zijn 11 scenario's doorgerekend, waarbij de inzet van de flexibele maatregelen wordt gevarieerd. De scenario's staan genoemd in Tabel 2.1 en paragraaf 10.

5.4 Algemene uitgangspunten

- Om de overschrijdingsduur van de maatgevende waterstand te bepalen dient eerst de maatgevende waterstand vastgesteld te worden. In overleg met HDSR is hier als kritieke waarde het zomerpeil +30 cm aangehouden.
- De frequentie voor het bepalen van de maatgevende waterstanden en overschrijdingsduur zijn uitgevoerd voor 1/2, 1/10, 1/20 en 1/100 per jaar.
- Er zijn 300 uitvoerlocaties gekozen, de zogenaamde laterale knopen, waarvan er minimaal een in elke polder ligt.
- Alleen de winterstatistiek (referentiejaar 2015) is in beschouwing genomen.

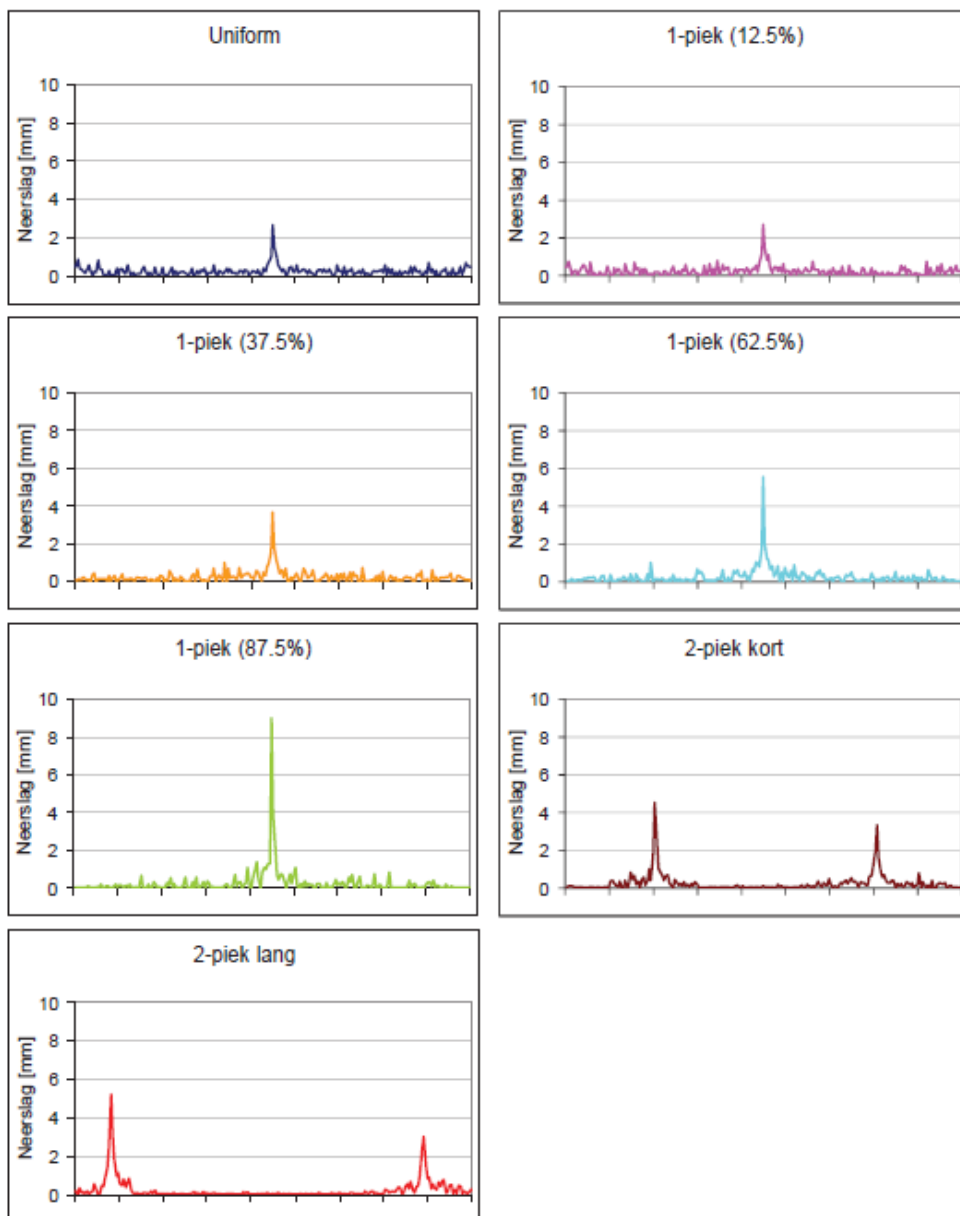
5.5 Stochast neerslagpatroon

De bijdrage die een bui levert aan de waterstand, zal afhangen van de wijze waarop de neerslag is verdeeld in de tijd en de locatie. Zo zal (uitgaande van hetzelfde buivolume) een neerslagpatroon met sterk geconcentreerde buien (en dus een extreme piek) een grotere (lokale) stijging van de waterstand tot gevolg hebben dan een neerslagpatroon dat uniform is verdeeld.

Voor de buivorm is uitgegaan van de buivormen als gebruikt in Hydrologic (2014), in dit onderzoek worden 7 buipatronen onderscheiden (Stowa, 2004):

1. Uniform;
2. Eén piek met 12,5% van het buivolume geconcentreerd in de piek;
3. Eén piek met 37,5% van het buivolume geconcentreerd in de piek;
4. Eén piek met 62,5% van het buivolume geconcentreerd in de piek;
5. Eén piek met 87,5% van het buivolume geconcentreerd in de piek;
6. Twee pieken met een korte periode tussen de pieken;
7. Twee pieken met een lange periode tussen de pieken.

Deze buipatronen zijn in Figuur 5.2 weergegeven. Tabel 5.1 geeft de kansen van voorkomen van de zeven buipatronen weer voor de jaarrond statistiek.



Figuur 5.2 Neerslagpatronen bij een bui van 50 mm (negendaagse som).

Patroon	kans
	[1/neerslagevent]
Uniform	0,14
1-piek (12.5%)	0,14
1-piek (37.5%)	0,14
1-piek (62.5%)	0,14
1-piek (87.5%)	0,14
2-piek kort	0,18
2-piek lang	0,12

Tabel 5.1 Kansverdeling neerslagpatronen voor een jaarrond-situatie in het huidige klimaat

5.6 Stochast neerslagvolume

Ook voor de stochast 'buivolume' wordt uitgegaan van de neerslagvolumes als gebruikt in Hydrologic (2014). In Tabel 5.2 is per buivolume de overschrijdingskans per jaar weergegeven in mm regen (uniform over het hele gebied). Deze overschrijdingskansen zijn bepaald door het interpoleren van de van neerslagvolumes voor verschillende overschrijdingskansen bij een negendaagse neerslagduur. De buivolumes zijn in SOBEK opgelegd als aangegeven in tabel 5.4.

Volume	Overschrijdingskansen
[mm]	[1/jaar]
58,0	0,0171
69,5	0,0143
80,6	0,0123
94,4	0,0105
104,4	0,0095
114,0	0,0087
116,9	0,0085
126,0	0,0079
134,6	0,0074
142,8	0,0070
153,2	0,0065
160,7	0,0062

Tabel 5.2 Overschrijdingskansen bij neerslagvolumes voor een negendaagse neerslagduur voor de regio G (winter) in het huidige klimaat.

5.7 Stochast pomp Gerverscop

Het uitvallen van de gemalen heeft invloed op de piekwaterstanden in het beschouwde gebied. Echter, het is lastig om het effect van alle gemalen in het gebied probabilistisch mee te nemen omdat er veel pompen zijn, die alle onafhankelijk van elkaar kunnen falen. Dit betekent veel stochastcombinaties en hiermee een voor deze verkenning onwerkbaar aantal hydraulische berekeningen.

In de huidige aanpak is in overleg met HDSR alleen het effect van het falen van gemaal Gerverscop meegenomen. De kans dat tijdens een beoogde inzet de pomp in storing is, is 1% (zie paragraaf 4.5 en Tabel 5.3). Tijdens een storing staat de pomp de gehele simulatieduur uit. De gehanteerde kans is een eerste schatting, en zou in vervolgberekeningen eenvoudig aangepast kunnen worden in het model.

Beschrijving	Kans
	[1/inzet]
Geen storing	0,99
storing (capaciteit = 0)	0,01

Tabel 5.3 Kans op storing gemaal Gerverscop.

5.8 Stochastcombinaties

Zoals in bovenstaande paragrafen beschreven, wordt er in de probabilistische analyse rekening gehouden met 7 neerslagpatronen, 11 neerslagvolumes en 2 toestanden van gemaal Geverscop. Het totaal aantal hydraulische berekeningen per scenario komt hiermee uit op 154.

Parameter	Waarden	Aantal waarden
Neerslagpatroon	Uniform, 1-piek (12.5%), 1-piek (37.5%), 1-piek (62.5%), 1-piek (87.5%), 2-piek kort, 2-piek lang	7
Neerslagvolume	80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180 mm	11
Storing bestaande pomp Gerverscop	Ja, nee	2

Tabel 5.4 Stochastcombinaties.

5.9 SIMGRO-SOBK

In het hydraulisch model zijn hoofd- en boezemwatergangen en kunstwerken in het beheergebied van HDSR zijn opgenomen. De aanvoer naar de watergangen wordt opgelegd als laterale aanvoer. Het neerslag-afvoerproces is berekend in het SIMGRO model van het waterschap. Dit levert de laterale aanvoeren naar het SOBK model.

5.9.1 SIMGRO

SIMGRO is een geïntegreerd hydrologisch model waarmee hydrologische processen kunnen worden berekend, inclusief de interactie tussen flora en atmosfeer, ondiep en diep grondwater en oppervlaktewater. In de case van HDSR zorgt SIMGRO voor de vertaling van de neerslag naar de afvoer naar de watergangen. Omdat binnen dit onderzoek niet voorzien is het SIMGRO model opnieuw door te rekenen, is gebruik gemaakt van eerder uitgevoerde SIMGRO berekeningen. Dit betreft losse events van negen dagen, gebaseerd op de KNMI-neerslagstatistiek uit 2015. Er zijn 7 patronen en 11 volumes beschikbaar (zie tabel 5.4). Deze sluiten aan bij gekozen buivolumes en buipatronen (zie paragraaf 5.5 en 5.6)

5.9.2 SOBEK

HDSR heeft het hydraulische SOBEK2-1D model voor het Oude Rijngebied dat regulier in gebruik is aangeleverd. Voor de toetsing van de keringen zijn aanpassingen aan dit model gedaan. Een belangrijk voordeel van die aanpassingen voor onderhavige studie is dat het een factor 2,5 sneller rekent (40 minuten per bui in plaats van 2 uur per bui), bij gelijke kwaliteit. Er is derhalve voor gekozen met dit nieuwere SOBEK2 model te rekenen.

Achtergrondinformatie over het inbouwen van de flexibele maatregelen wordt gegeven in bijlage F.

5.10 Randvoorwaarden, initiële conditie en modelinstellingen

5.10.1 Buitenwaterstand

Net als in Hydrologic (2014) is er gerekend met een gemiddeld peil op het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK). Voor het ARK is eerder onderzocht dat de kans dat deze voor stremming zorgt in één op 100-jaar situatie verwaarloosbaar is.

De Oude Rijn watert via Sluis Bodegraven af naar het boezemsysteem van het Hoogheemraadschap van Rijnland. Net als in Hydrologic (2014) wordt als waterstand benedenstrooms Sluis Bodegraven NAP-0,64 m gehanteerd (streefpeil Rijnlands boezem).

5.10.2 Initiële conditie grondwaterstand

De afvoeren zijn in SIMGRO berekend bij drie initiële condities: Gemiddeld Lage grondwaterstand (GLG), Gemiddelde Grondwaterstand (GG) en Gemiddeld Hoge Grondwaterstand (GHG). In deze studie is uitgegaan van de GHG. Om de inzet van de flexibele maatregelen te onderzoeken is het van belang extreme condities te simuleren, en omwille van de rekentijd is daarom gekozen alleen de meest extreme initiële conditie (GHG) te beschouwen.

5.10.3 Tijdstip inzet flexibele pomp

Bij de inzet van de flexpompen is het tijdstip van aanzetten van belang. In de praktijk is hier vaak sprake van een vertraging ten opzichte van de gewenste inzet, omdat er sprake is van aanrijtijden en benodigde tijd om een besluit te nemen. Deze tijd is vertaald naar een waterstandstijging: de pompen gaan aan als de waterstand in de polder boven een bepaalde waarde stijgt (zoals geïllustreerd in figuur 4.1).

5.10.4 Tijdstip inzet bergingsgebied

De bergingsgebieden worden ingezet op het moment dat de boezemwaterstand boven een bepaalde waarde (maalstoppeil) komt (zoals geïllustreerd in figuur 4.1). De bergingsgebieden worden ingezet via inlaten, die geopend moeten worden, of via pompen. Er is geen rekening gehouden met een tijdvertraging hierin.

5.11 Resultaten van de PTK bij de 1/100 situatie

In onderstaande figuren staan voor de scenario's 1A, 2B en 2C de effecten van de flexibele maatregelen ten opzichte van het referentiescenario (geen maatregelen) weergegeven. Dit is voor het 99% percentiel, dus de 1 keer in de 100 jaar situatie. De andere terugkeertijden t/m de 1/20 per jaar situatie lieten nauwelijks verschillen te zien in de maximale waterhoogte en de bijbehorende piekwaterstanden.

Figuur 5.3 geeft het verschil in maatgevende waterstand¹ in meters en Figuur 5.4 het verschil in maatgevende duur² in dagen. De resultaten van de overige scenario's worden weergegeven in bijlage B (waterstanden) en C (duur). Zowel voor de waterstand als de duur geldt dat een positieve waarden een positief effect van de maatregel betreft.

N.B. de figuren laten een soort gemiddeld effect zien van alle cases bij een bepaalde terugkeertijd (in dit geval de maatgevende 1/100 per jaar situatie). Het zijn dus geen individuele cases. In deze verschilt de aanpak dus van de case als beschouwd in [HDSR,2018].

De resultaten leiden tot de volgende conclusies:

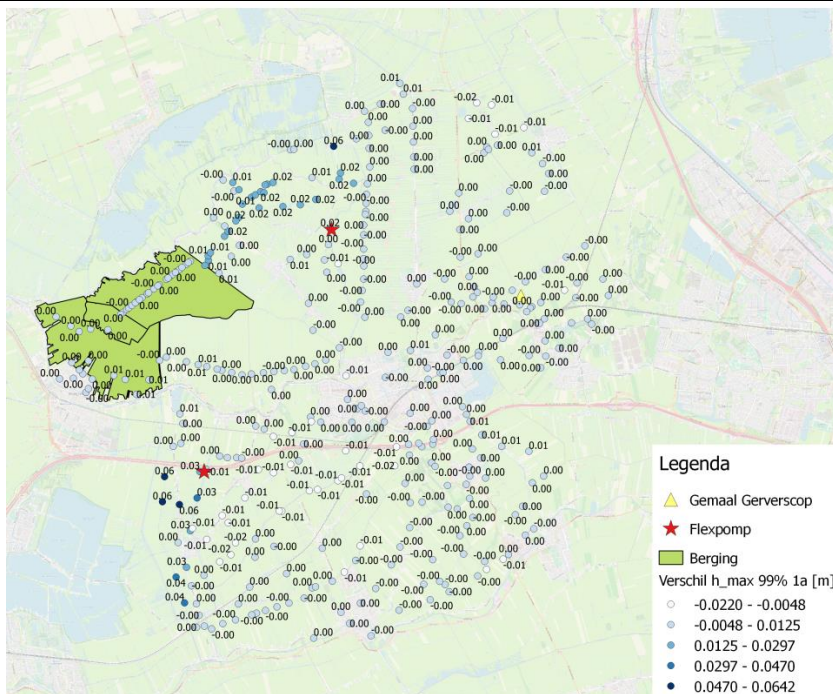
- In scenario 1A zien we dat flexpompen Zegveld (1_i) en Lange Weide (1_{ii}) een positief effect hebben op de maatgevende waterstand in de buurt van de pomp (enkele centimeters t.o.v. van de referentiesituatie). Dit geldt ook voor de overschrijdingsduur, de maatgevende overschrijdingsduur van de kritieke waterstand wordt met circa één tot enkele dagen verminderd. Ook elders in het Oude Rijngebied treden positieve effecten op voor de duur. Dit komt omdat het hele systeem met elkaar in verbinding staat. Zo geldt voor de Lange Weide pomp (1_{ii}) dat deze in vrij directe verbinding staat met de boezemlocaties waaraan die zuidelijke bergingsgebieden liggen. Niet overal zijn de effecten positief, het aanzetten van flexpompen kan tot langere overschrijdingsduren leiden doordat de boezem zwaarder belast, wat tot eerder bereiken van het maalstopniveau leidt.
- De bergingsgebieden A (Noordzijderpolder & Meijepolder) heeft een klein positief effect op de maatgevende waterstand (enkele centimeters). Het verschil is te vinden ten zuiden van het bergingsgebied Noordzijderpolder (bij SOBEK lateraal: lat_PG0585-05). Voor de andere bergingsgebieden lijkt het effect nihil (zie Bijlage B)
- Scenario 3B en 3C laten bijna geen verschil zien in maatgevende waterstand ten opzichte van de referentie (alles uit) (zie Bijlage B). Blijkbaar heeft de inzet van de flexpompen in deze scenario's een beperkt effect. Gebleken is dat de flexibele pomp Waardsedijk (3_i) in geen enkele stochastcombinatie aanstaat, omdat het inzetniveau niet bereikt wordt of er sprake is van een maalstop. Daarbij ligt er in de buurt van de flexibele pomp EW naar GHJ (3_{ii}) geen uitleeslocatie, waardoor een eventueel aanwezig lokaal effect niet gezien wordt. Dat er in scenario 3A wel effecten te zien zijn komt waarschijnlijk doordat de bergingsgebieden in 3A (Noordzijderpolder en Meijepolder) veel groter zijn dan die in 3B (Snelrewaard-west) en 3C (Groot-Hekendorp). Ten zuiden van het bergingsgebied A zijn positieve effecten van enkele centimeters op de maatgevende waterstand waar te nemen.

¹ Waterstand met een overschrijdingskans van 1/100 per jaar.

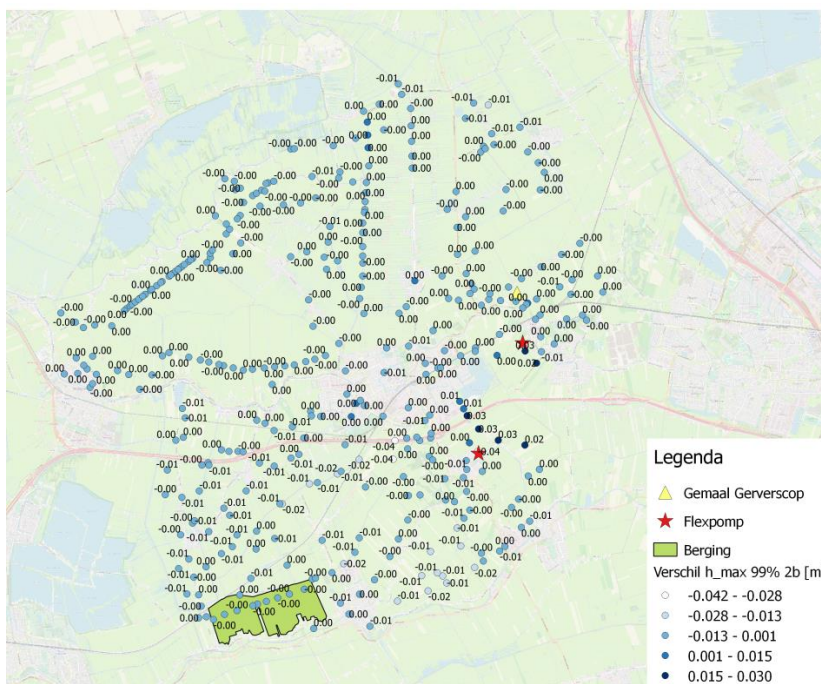
² Duur waarbij de kritieke waterstand (zomerpeil +30 cm) wordt overschreden met een kans van 1/100 per jaar.

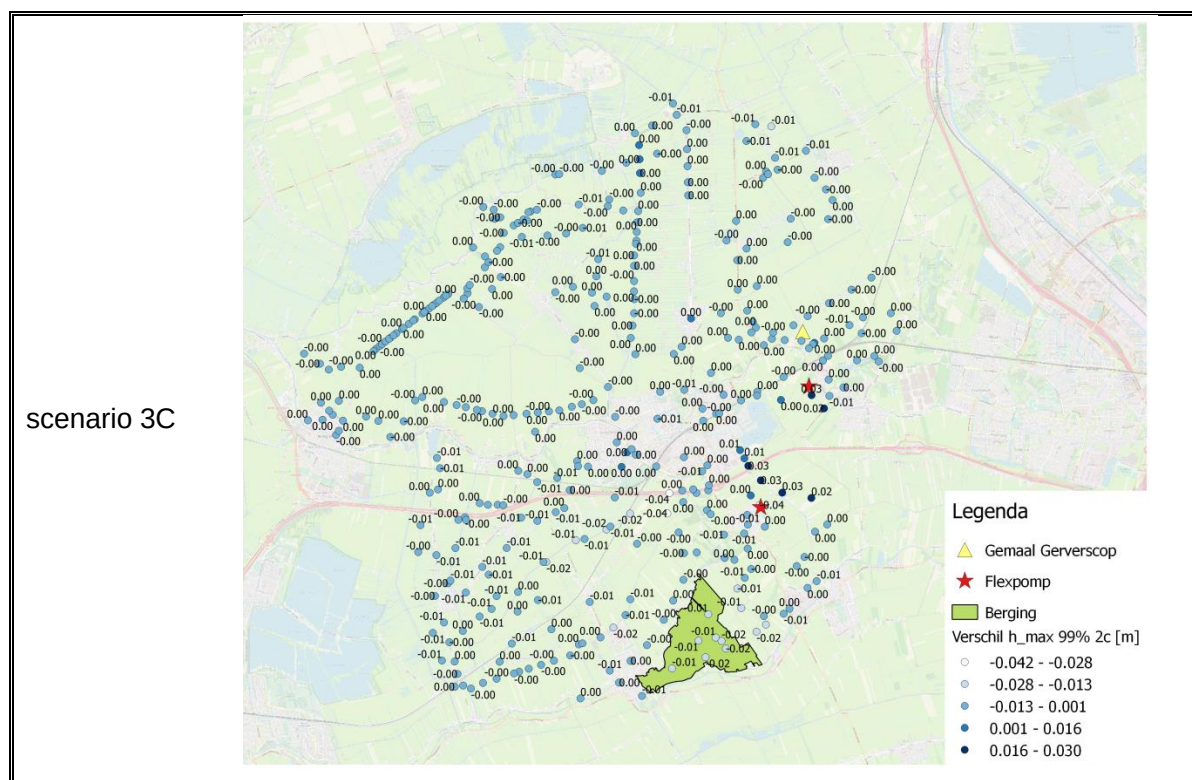
Vershil in maatgevende waterstand t.o.v. referentie[m]

scenario 1A



scenario 2B

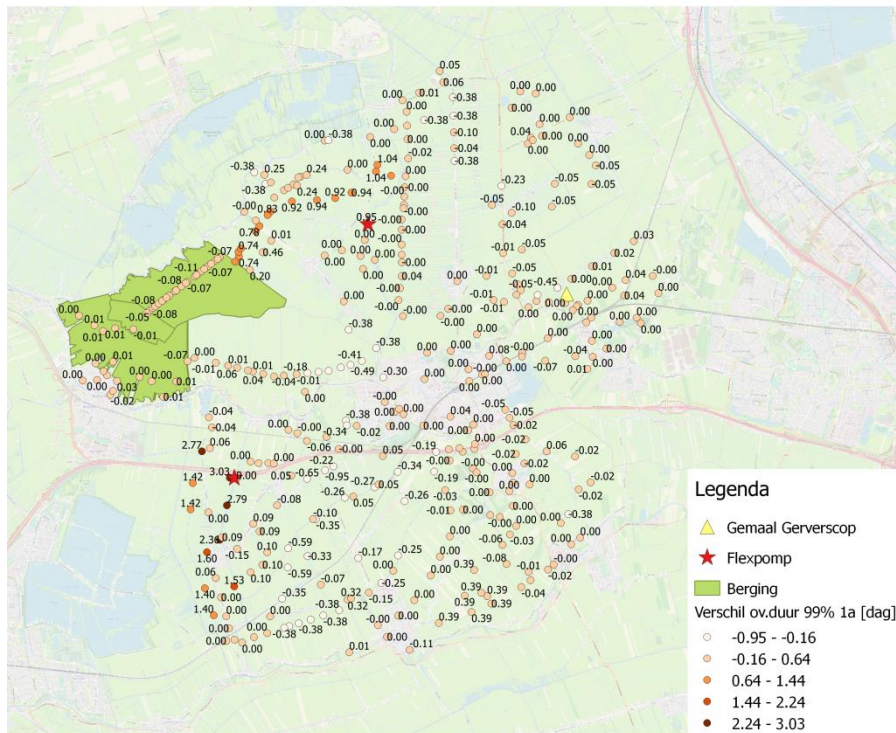




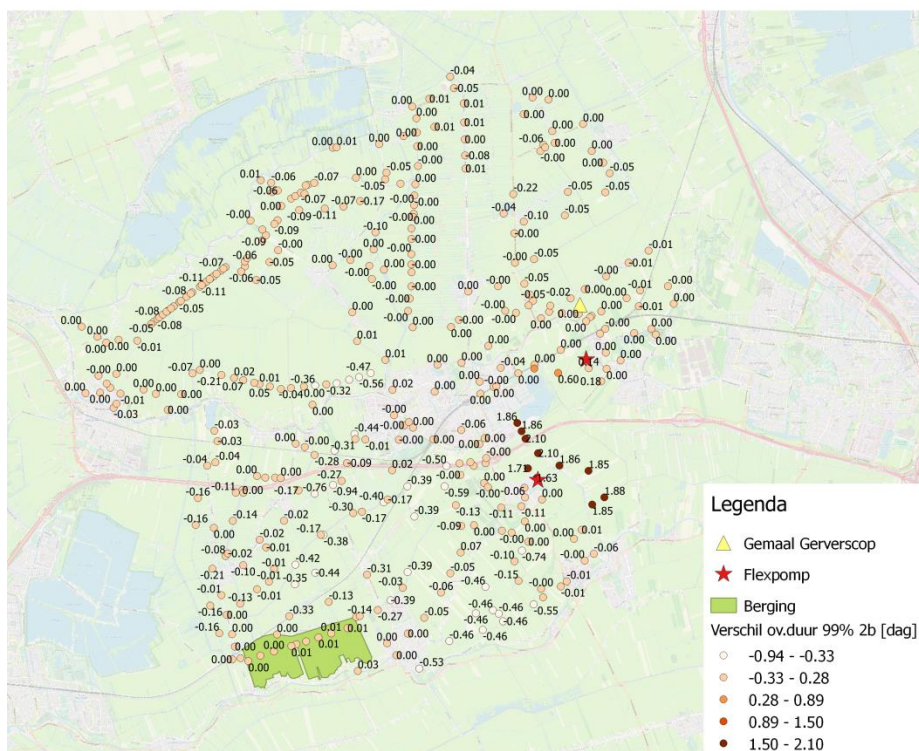
Figuur 5.3 Verschil maatgevende waterstand ($T=100$ jaar) t.o.v. referentie [m]. Een positief getal is een positief effect van de maatregelen, dus lagere maatgevende waterstanden. " $H_{\max}$ 99%" in de legenda verwijst naar de gehanteerde herhalingstijd van 100 jaar (=99% van de frequentiecurve)

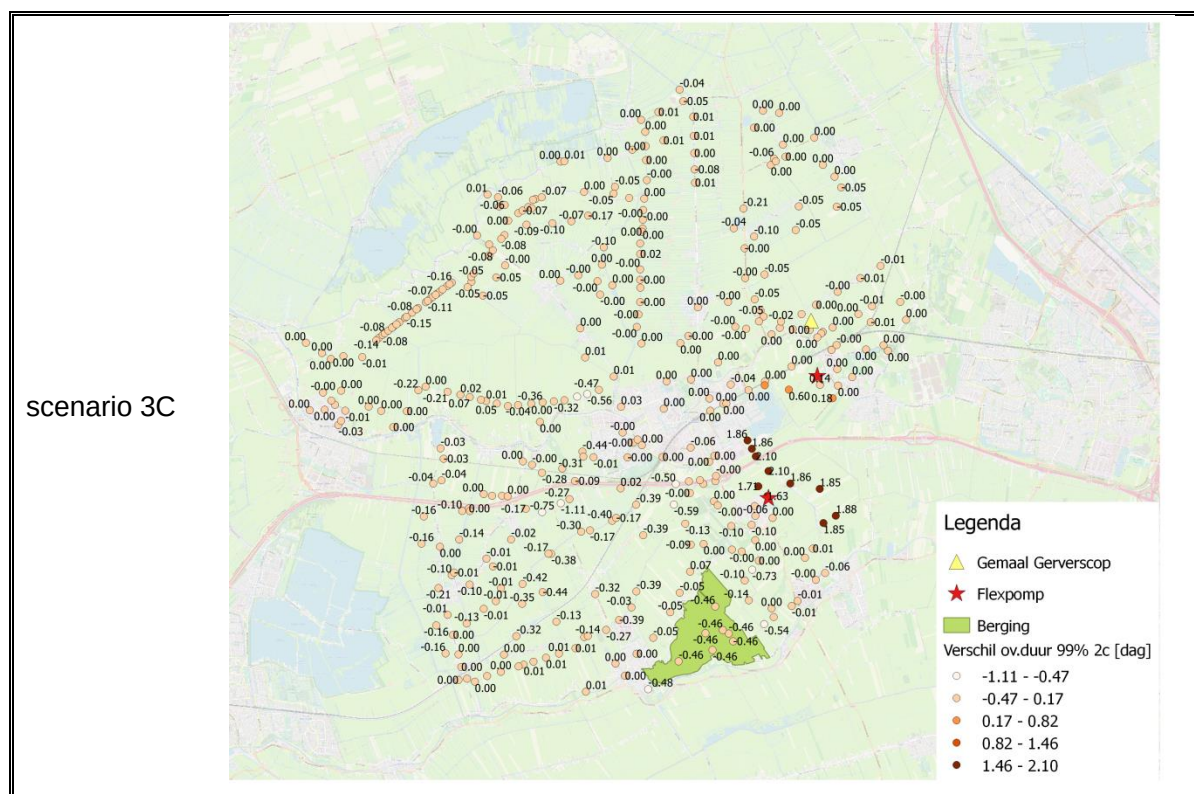
Vershil in maatgevende overschrijdingsduur t.o.v. referentie [dagen]

scenario 1A



Scenario 2B





Figuur 5.4 Verschil maatgevende overschrijdingsduur ($T=100$ jaar) t.o.v. referentie [dagen]. Een positief getal is een positief effect van de maatregelen, dus een kortere duur. "H_max 99%" in de legenda verwijst naar de gehanteerde herhalingsjijd van 100 jaar (=99% van de frequentiecurve).

5.12 Eerste conclusie

Voor de beschouwde situatie is het verschil met de referentie situatie pas bij de 1/100 per jaar situatie significant te noemen. Bij kleinere herhalingsstijden (20 jaar en kleiner) zijn nauwelijks verschillen waar te nemen. Het meeste effect van de flexibele maatregelen komt van de flexibele pompen. Zowel bij de waterhoogte als duur geldt dat er de flexibele maatregelen vaak lokaal positieve effecten geven, maar dat er elders in het gebied negatieve effecten voordoen.

De inzet van de bergingsgebieden lijkt minder effectief te zijn, gebaseerd op de beschouwde case. Bergingsgebieden B en C lijken niet significant bij te dragen aan de verlaging van maximale waterstand of duur. De gebieden A_I en A_{II} lijken wel enig effect te hebben.

De voorkeur bij flexibele maatregelen gaat daarom, gebaseerd op de beschouwde cases (winterstatistiek 2015), uit naar flexpompen, eventueel uitgebreid met een gebied als A_I en A_{II}.

6 Kwalitatieve Risico Analyse

6.1 Inleiding

CMS (2019) heeft een kwalitatieve risico afweging gemaakt voor de verschillende scenario's. De risico beoordeling is gebaseerd op situaties (verschillende varianten) waarbij de toegepaste flexibele maatregelen falen. Om onderscheid te kunnen maken binnen laag, midden en hoog risico is er gewerkt met risicogetallen. Deze hebben helaas nog geen connectie met de prestaties als afgeleid in de vorige hoofdstukken. In dit hoofdstuk worden de resultaten van CMS samengevat.

6.2 Aanpak

Risico is het product van de kans dat een gebeurtenis optreedt en het effect bij het optreden van die gebeurtenis (risico = kans * effect).

Voor deze casus zijn met HDSR initiële risicomatrices opgesteld voor de volgende vijf bedrijfswaarden (voor meer details zie [CMS,2019]):

1. *Imago*
Dit gaat met name over klachten en media-aandacht.
2. *Veiligheid*
Dit gaat met name over calamiteiten en letsel.
3. *Financieel*
Dit gaat met name over de kosten die ontstaan van bijvoorbeeld schadeclaims, inzet maatregelen zoals flexpompen en barriers, herstelwerkzaamheden aan assets en omgeving en andere gemaakte kosten.
4. *Milieu en ecologie*
Dit gaat met name over schade aan milieu, flora en fauna.
5. *Duurzame leefomgeving*
Dit gaat met name over de aantrekkelijkheid om te wonen, werken en te vestigen.

De risicomatrices zijn op basis van expert judgement ingevuld waarbij risico's zijn benoemd bij de 5 bedrijfswaarden voor een negental verschillende scenario's. Hiervoor is allereerst een inschatting van het effect op de bedrijfswaarde gemaakt gecombineerd met de kans van voorkomen. Deze is in bijlage E toegevoegd. Hiermee kan een risicogetal vastgesteld volgens het stramien van de risicomatrix. Met het risicogetal kan onderscheid worden aangebracht tussen dezelfde geclassificeerde risico's.

Hiermee kan inzicht worden verschaft per scenario in de risico's die kunnen optreden. Hieronder in Figuur 6.1 is de samenhang schematisch weergegeven tussen de verschillende risicomatrices dat tezamen het risicoprofiel vormen.

Voor iedere situatie is een aparte risico inschatting uitgevoerd. In deze casus zijn per scenario minimaal twee faalgebeurtenissen (varianten) getoetst. Een variant is bijvoorbeeld het falen van de flexpomp. Deze inschatting kijkt naar het falen van de maatregelen, op basis van expert judgement "as is" op dit moment, gebaseerd op de huidige ervaringen met pompen en gebrek aan ervaring met barriers.

De resultaten in dit rapport zijn met name kwalitatief van aard en nog niet gebaseerd op een kwantitatieve berekeningen uit de vorige hoofdstukken. De waardes zijn derhalve indicatief en richtinggevend over hoe HDSR er op dit moment in staat om de flexibele maatregelen in te zetten. Om te komen tot een onderbouwde beslissing zal meer onderzoek gewenst zijn.



Figuur 6.1 Opbouw risicoprofiel, kosten= financieel; proces = duurzame leefomgeving.

6.3 Scenario's

De scenario's wijken iets af ten opzichte van de eerder genoemde scenario's in Tabel 2.1: , de flexibele maatregelen zijn gelijk, alleen zijn de combinatie van maatregelen allereerst los beschouwd. Daarnaast zijn er 3 van de 9 combinaties uit het vorige hoofdstuk beschouwd. De scenario's die in dit hoofdstuk worden gebruikt zijn weergegeven in Tabel 6.1.

Het referentie scenario is niet meegenomen in de resultaten. Het risico is volgens de gevolgde aanpak verwaarloosbaar omdat er niks kan falen, maar voldoet niet aan de benodigde prestatie om de polder droog te houden.

Scenario	Nr.	Beschrijving scenario
1	1 _I	Flexibele pomp Zegveld
	1 _{II}	Flexibele pomp Lange Weide naar Dubbele Wiericke
2	2 _I	Flexibele pomp Haanwijk
	2 _{II}	Flexibele pomp Rapijnen
3	3 _I	Flexibele pomp Waardsedijk
	3 _{II}	Flexibele pomp Enkele Wiericke naar de Gekanaliseerde Hollandsche IJssel.
4	A _I	Bergingsgebied Noordzijderpolder
	A _{II}	Bergingsgebied Meijepolder
5	B	Bergingsgebied Snelrewaard-West
6	C	Groot-Hekendorp
7	1A	Combinatie tussen flexibele pomp scenario 1 (1 _I & 1 _{II}) en bergingsgebied scenario 4 (A _{II} & A _{II})
8	2B	Combinatie tussen flexibele pomp scenario 2 (2 _I & 2 _{II}) en bergingsgebied scenario 5 (B)
9	3C	Combinatie tussen flexibele pomp scenario 3 (3 _I & 3 _{II}) en bergingsgebied scenario 6 (C)

Tabel 6.1 Overzicht scenario's flexpompen met bergingsgebieden

6.4 Uitgangspunten

Bij het beoordelen van het risico bij inzet van de maatregelen worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

Flexpompen:

De flexpompen worden uitgevoerd met instelbare Veneroni pompen met een capaciteit van 0,5 m³/s. Er zijn 6 pompen op voorraad om ingezet te worden. Deze pompen worden door een trekker (minimaal 110pk) aangedreven. In 2000 zijn deze pompen aangeschaft en hebben een technische levensduur van maximaal 25 jaar. Er wordt aangenomen dat de technische levensduur ook geldt indien de pomp niet of nauwelijks wordt gebruikt. Voor pomp locatie 3II zal er een zwaardere pomp worden toegepast met een capaciteit van 4 m³/s. Deze pomp bezit het waterschap niet en wordt gehuurd of gekocht.

Bergingsgebied:

Bij inzet van een bergingsgebied worden huizen etc. beschermd met flexibele barriers. Het uitgangspunt voor de barriers was de SLAMdam Profi (500 x 140 x 67 lxbxh). Deze dam is getest bij TÜV en heeft een waterkerende hoogte van 50 cm en is getest op 20 cm golfslag.

Een alternatief is de boxbarrier. Deze is niet beschouwd in de studie.

Het is op dit moment voor de barriers nog geen vaste strategie bepaald hoe deze zouden kunnen worden ingezet. Dit zorgt dat er extra onzekerheid is, onder meer over de strekkende meters barrier die nodig is.

6.5 Resultaten

6.5.1 Risicoverdeling scenario's per bedrijfswaarde

De risicoverdeling van de 9 scenario's (die uit tabel 6-1) zijn per bedrijfswaarde uitgesplitst. Hieronder zijn per scenario kort de bevindingen beschreven. Ieder scenario bestaat uit vijf bedrijfswaarden. Een en ander is geïllustreerd in de figuur in Bijlage D.

Scenario 1 t/m 3. Flexibele pompen

Over de meeste bedrijfswaarden bekeken is er een laag risico ingeschat. Op imago is een middel risico ingeschat. De twee Veneroni flexpompen met een capaciteit van 0.5 m³/s zijn in bezit van HDSR en verspreid over diverse rayons. Indien een van de twee pompen faalt, dan kunnen storingen binnen twee uur zijn opgelost.

Voor locatie 3II dient een flexibele pomp te worden aangeschaft of gehuurd met een minimale capaciteit van 4 m³/s. Indien de grote pomp met een capaciteit van 4 m³/s faalt dan kunnen storingen binnen vier uur zijn opgelost. Om binnen twee uur, twee pompen te plaatsen zijn er minimaal twee tot drie personen nodig zijn per pomp. De afweging kan gemaakt worden om dit uit te besteden tegen een verhoogde kosten. Eigen HDSR mensen zijn niet snel inzetbaar als het hard regelt, want die zijn nodig in het eigen rayon.

Het grootste risico lijkt dus te liggen rond de inzet van het personeel.

Scenario 4 t/m 6. Berging AI & AII, B en C

Over de meeste bedrijfswaarden bekeken is er een laag risico ingeschat. Op imago en veiligheid is een hoog risico ingeschat. Deze inschatting geldt met name als er veel neerslag valt in de polder en de flexibele barriers falen. Reparatie aan de barrier bij functioneel falen of het opnieuw plaatsen kan binnen vier uur plaatsvinden indien er nog geen water in de berging is. Indien er wateroverlast is dan duurt een reparatie langer dan 4 uur.

Scenario 7 t/m 9. Flexibele pompen gecombineerd met Bergingsgebied

Over de meeste bedrijfswaarden bekeken is er een laag risico ingeschat. Bij extreem veel neerslag wordt rekening gehouden met het inzetten van meerdere beheersmaatregel zoals het toepassen van pompen en barriers. De risico's zijn als boven benoemd. Op imago en veiligheid is een hoog risico ingeschat voor scenario 9, 3C; in deze situatie wordt een grote en een kleine flexpomp ingezet. Het oplossen van storingen van de pompen en werkzaamheden aan de barriers kan langer dan 24 uur in beslag nemen.

6.5.2 Uitwerking naar risicogetal van de varianten

Om onderscheid te kunnen aanbrengen binnen varianten tussen dezelfde classificatie van risico's (Laag, Middel en Hoog) wordt gebruik gemaakt van het risicogetal. In het geval er veel varianten worden beschreven, dan zal het aannemelijk zijn dat het risicogetal groter wordt, omdat aan iedere maatregel afzonderlijk een risicogetal zit.

De basis voor de risicogetallen zoals toegepast in deze studie is opgenomen in Bijlage E.

De uiteindelijke verdeling in het risicogetal voor de beschouwde scenario's uit dit hoofdstuk is hieronder weergegeven voor verschillende varianten. Deze varianten zijn gedefinieerd in samenspraak met HDSR. Er is een relatie tussen de hoogte van de risico's en de hoogte van het risicogetal.

	Scenario	Variant	Risico en risicogetal
1	Flexibele pomp 1I & 1II	Er is wateroverlast en een van twee pompen faalt, waardoor wateroverlast in de polder op lage plekken ontstaat (4 tot 5 plaatsen)	100400
1	Flexibele pomp 1I & 1II	Beide pompen falen in poldergebied	100220
2	Flexibele pomp 2I & 2II	Een van twee pompen faalt, waardoor wateroverlast in de polder op lage plekken ontstaat (4 tot 5 plaatsen)	1400
2	Flexibele pomp 2I & 2II	Beide pompen falen in het poldergebied	320
3	Flexibele pomp 3I & 3II	De kleine pomp met een capaciteit van 0.5 m³/s faalt	1400
3	Flexibele pomp 3I & 3II	De grote pomp met een capaciteit van 4 m³/s en de kleine pomp van 0.5 m³/s falen. De grote pomp behoort tot het boezemsysteem	22100
3	Flexibele pomp 3I & 3II	De grote pomp met een capaciteit van 4 m³/s, op locatie 6 faalt	113000
4	Berging AI & AII	Er is wateroverlast en de barriers zijn onjuist geplaatst of faalt door bijvoorbeeld scheurvorming in de opbouwphase (nog geen water in de berging)	5000
4	Berging AI & AII	Er is wateroverlast en de barriers zijn onjuist geplaatst of faalt door bijvoorbeeld scheurvorming tijdens de gevulde situatie (wel wateroverlast)	2030000
5	Berging B	Er is wateroverlast en de barriers zijn onjuist geplaatst of falen door bijvoorbeeld scheurvorming in de opbouwphase (nog geen water in de berging)	5000
5	Berging B	Wateroverlast en barrier is onjuist geplaatst/falen door bijvoorbeeld scheurvorming in de bij gevulde situatie (wel wateroverlast)	2030000
6	Berging C	Er is wateroverlast en de barriers zijn onjuist geplaatst of falen door bijvoorbeeld scheurvorming in gevulde situatie (wel wateroverlast)	2030000

	Scenario	Variant	Risico en risicogetal
6	Berging C	Er is wateroverlast en de barriers zijn onjuist geplaatst of faalt door bijvoorbeeld scheurvorming in de opbouwphase (nog geen water in de berging)	5000
7	Flexibele pomp (1I & 1II) en Berging (AI & AII)	Er valt extreem veel neerslag binnen het poldergebied	23000
7	Flexibele pomp (1I & 1II) en Berging (AI & AII)	Er valt extreem veel neerslag binnen het poldergebied	2210
8	Flexibele pomp (2I & 2II) en Berging B	Er valt extreem veel neerslag binnen het poldergebied	23000
9	Flexibele pomp (3I & 3II) en Berging C	Er valt extreem veel neerslag en de barriers falen, maar de pompen blijven werken	2030000
9	Flexibele pomp (3I & 3II) en Berging C	Er valt extreem veel neerslag en de grote pomp bij locatie 6 met een capaciteit van 4 m³/s faalt	113000
9	Flexibele pomp (3I & 3II) en Berging C	Er valt extreem veel neerslag en beide pompen falen	22100
9	Flexibele pomp (3I & 3II) en Berging C	Er valt extreem veel neerslag en de pompen en barriers falen	3200
9	Flexibele pomp (3I & 3II) en Berging C	Er valt extreem veel neerslag en de kleine pomp bij locatie 4 met een capaciteit van 0.5 m³/s faalt	1400

Tabel 1: overzicht risico en risicogetal varianten o.b.v. expert judgement bij aanvang van de studie

6.5.3 Risicoverdeling scenario's

Als wordt gekeken naar het hoogste risicoprofiel tussen de groep varianten die horen tot hetzelfde scenario, dan wordt de risicoverdeling van alle 9 scenario's inzichtelijk. Dit zijn tevens de maatgevende varianten. Tabel 2 laat zien dat 33,3 % van de risico's zijn geclassificeerd als een laag risico. 22,2 % van de risico's zijn geclassificeerd als een middel risico en tot slot 44,4 % van de scenario's zijn geclassificeerd als een hoog risico.

De verdeling van het risicoprofiel tussen alle scenario's is hieronder uiteengezet.

Scenario	Risico profiel
1 Flexibele pomp 1I & 1II	Middel
2 Flexibele pomp 2I & 2II	Laag
3 Flexibele pomp 3I & 3II	Middel
4 Berging AI & AII	Hoog
5 Berging B	Hoog
6 Berging C	Hoog
7 Flexibele pomp (1I & 1II) en Berging (AI & AII)	Laag
8 Flexibele pomp (2I & 2II) en Berging B	Laag
9 Flexibele pomp (3I & 3II) en Berging C	Hoog

Tabel 2: verdeling risicoprofiel scenario's

6.6 Reflectie

Volgens de initiële schatting blijkt dat voor het toepassen van alleen de barriers in de bergingsgebieden een hoog risico wordt geschat ten gevolge van de inschatting als de barriër faalt.

Het risicogetal is met name hoog doordat het een ernstig effect heeft op veiligheid en imago. Uit de risico-inschatting volgt de aanbeveling te kiezen voor alleen de flexpompen als dan niet in combinatie met barriers.

Zoals eerder aangegeven is het advies richtinggevend van aard. Het advies en de toegepaste methodiek is het startpunt voor verder onderzoek. Het aan te bevelen om:

- de prestaties zoals afgeleid in hoofdstuk 5 te integreren in de risico beoordeling.
- kritisch te kijken naar de acceptatiegrenzen van de risicomatrix. Het is in de praktijk een iteratief proces, waarbij er op basis van ervaring in operationele context nieuw inzicht ontstaat. Daarmee zal de inschatting van het risico rond de barrier bijvoorbeeld aanzienlijk kunnen dalen.
- de opbouw van de risico-acceptatiegrenzen te toetsen en waar nodig de grenzen aan te passen. Zeker nu uit de resultaten naar voren komt dat het risico op financieel, milieu & ecologie en een duurzame leefomgeving bij elk scenario laag heeft gescoord. Bij het opnieuw vaststellen van de acceptatiegrenzen kan het advies dat direct gelinkt is aan de risicomatrix daardoor veranderen.
- Mogelijk klimaatbestendigheid meenemen in de criteria: dan heeft het scenario zonder maatregelen namelijk ook een groot risico.

7 Voorbeeld kwantitatieve Risico Analyse

Zoals in het vorige hoofdstuk is toegelicht, is er in dit rapport alleen een risico-scan uitgevoerd om de risico's in het gebied te verkennen (hoofdstuk 6). Deze verkenning is een kwalitatieve risico-analyse, waarbij de resultaten van de prestatie-analyse uit hoofdstuk 5 niet gebruikt zijn. Om het risico van de verschillende scenario's te kwantificeren is in dit hoofdstuk de aanpak geschetst. In een vervolg project kan deze aanpak voor alle scenario's worden uitgewerkt. De aanpak in dit hoofdstuk is slechts een voorbeeld, er zijn aannames gedaan betreffende de schade tijdens inundatie³ en de vertaling van polderpeil naar inundatiediepte.

7.1 Aanpak

Zoals eerder beschreven in dit rapport bevinden zich in het Oude Rijngebied tientallen peilgebieden. In hoofdstuk 6 zijn voor verschillende locaties in deze gebieden kansverdelingen van maximale waterstanden en overschrijdingsduur van kritieke peilen met de Probabilistic Toolkit (PTK) afgeleid. De onderliggende hydraulische berekeningen zijn met SOBEK-1D uitgevoerd. De kansverdelingen zijn afgeleid voor verschillende scenario's: referentie scenario (status quo) plus 9 scenario's waarin inzet van flexibele maatregelen meegenomen is.

Hieronder wordt een quick-scan methode beschreven voor het afleiden van een verwachte schade in een peilgebied (ofwel risico).

De verwachte schade in een peilgebied wordt gedefinieerd als volgt:

$$\int D(h_d, t_d) \cdot f(h_d, t_d) dh_d dt_d$$

waar h_d de inundatiediepte in het gebied [m] is, t_d staat voor het aantal dagen dat waterdiepte h_d overschreden wordt, $f(h_d, t_d)$ de kansverdeling is als functie van de waterdiepte en de overschrijdingsduur [winter], en $D(h_d, t_d)$ de economische schade is in het peilgebied gegeven waterdiepte h_d en overschrijdingsduur t_d [mln euro].

In deze studie zijn inundatiedieptes in een peilgebied onbekend (SOBEK-1D berekent geen inundatiedieptes in een peilgebied). Ten behoeve van deze studie is een pragmatische benadering toegepast voor het afleiden van de inundatiedieptes o.b.v. beschikbare gegevens (dus maximale waterstanden en overschrijdingsduur van kritieke peilen). De benadering wordt als volgt toegelicht.

Binnen een peilgebied wordt één representatieve locatie gekozen. Voor deze locatie zijn maximale waterstanden en overschrijdingsduur van het kritieke peil bekend. De inundatiediepte wordt dan ingeschat als volgt:

$$h_d = (h_{\max} - h_{\text{krit}}) \cdot p$$

waar $h_{\max}$ is de maximale waterstand [m+NAP], h_{krit} is het kritieke peil [m+NAP], p staat voor de percentage van water (slootjes) in het peilgebied [%]⁴.

³ Men zou in het vervolg de Waterschadeschatter van de STOWA kunnen gebruiken. Dat viel echter buiten deze opdracht en paste niet binnen de beschikbare tijd.

⁴ Mogelijk is het niet nodig om met dit percentage p te werken, als men gebruik kan maken van de informatie van de zogenaamde "bergingsknopen" uit het SOBEK-1D model

Deze aanpak correspondeert grofweg met de “bakjes” methode. Aangenomen wordt dat het overschrijdingsduur van waterdiepte h_d gelijk is aan het aantal dagen dat het kritieke peil overschreden wordt. Verder nemen we aan dat de economische schade in het gebied toeneemt met waterdiepte h_d en overschrijdingsduur t_d .

De bovenstaande aanpak kan relatief snel toegepast worden, maar is (naar verwachting) te conservatief om een absolute waarde van de verwachte schade in een peilgebied te bepalen. Wel kan deze aanpak gebruikt worden om verschillende scenario's met elkaar te vergelijken. Aandachtspunten:

- Voor $p = 100\%$ is de inundatiediepte gelijk aan het verschil tussen de maximale waterstand en het kritieke peil. Dat is een aanzienlijke overschatting van de waterdiepte.
- Aangenomen wordt dat de maximale waterstand zich aanhoudt voor de hele periode waarin het kritieke peil overschreden wordt. Dat is een conservatieve aanname.
- De waterdiepte wordt bepaald aan de hand van het verschil tussen de maximale waterstand en het kritieke peil. Naar verwachting leidt het overschrijden van het kritieke peil niet meteen tot water in een peilgebied. Met andere woorden: er is een buffer aanwezig tussen het moment van het overschrijden van het kritieke peil en het daadwerkelijk onderlopen van een peilgebied.

7.2 Voorbeeld – peilgebied PG0765

De gepresenteerde aanpak wordt uitgewerkt voor peilgebied PG0765 ten zuiden van Woerden⁵ (zie Figuur 7.1). Het is vooral een agrarisch gebied met tientallen boerderijen. Verder loopt A12 door het gebied heen. Voor dit peilgebied zijn maximale waterstanden en overschrijdingsduur van het kritieke peil (-1.53 m+NAP) berekend voor verschillende combinaties van



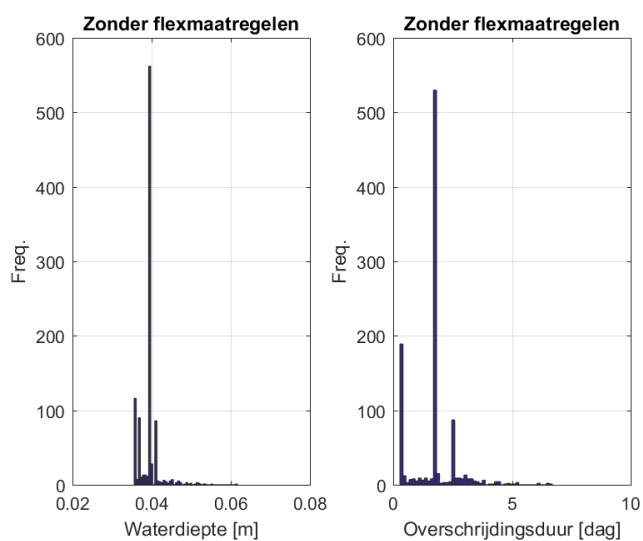
Figuur 7.1 Peilgebied PG0765 (rode punten: SOBEK uitvoerlocaties, groene punten: bestaande gemalen).

randvoorwaarden (neerslagvolume en neerslagpatroon). De berekeningen zijn voor locaties lat_PG0765-01 t/m lat_PG0765-07 uitgevoerd (zie Figuur 7.1). Uit deze locaties is lat_PG0765-02 als representatief gekozen.

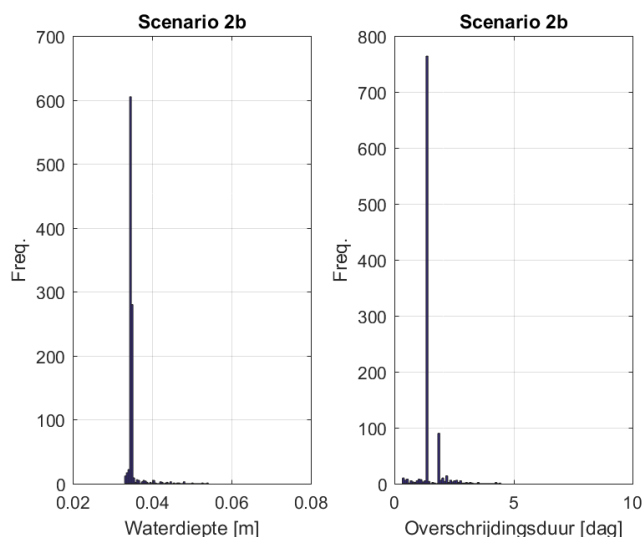
⁵ Deze locatie is gekozen omdat hier op basis van de uitkomsten geconstateerd kan worden dat het kritieke peil wordt overschreden. Verder is de keuze willekeurig.

De methode is toegepast voor twee scenario's: referentie en scenario 2b (o.a. een flexpomp bij gemaal Rapijnen). De onderstaande figuren (Figuur 7.2 en Figuur 7.3) presenteren histogrammen van de waterdieptes en overschrijdingsduur van het kritieke peil. Aangenomen is dat het percentage van water in het peilgebied 30% (=p) bedraagt (naar verwachting is dat een conservatieve schatting).

In beide scenario's is de waterdiepte minder dan 10 cm: de maximale waterstand op de gekozen locatie varieert weinig en is vrijwel altijd hoger dan het kritieke peil. Naar verwachting zorgen de waterdieptes voor weinig/geen schade in het gebied. Wel kan de schade stijgen naarmate het water zich langer aanhoudt. Scenario 2b leidt tot een minder extreme overschrijdingsduur van het kritieke peil (zie Tabel 7.1).



Figuur 7.2 : Histogram inundatiediepte en overschrijdingsduur van het kritieke peil, zonder flexmaatregelen. De inundatiediepte is afgeleid als hierboven; de overschrijdingsduur komt uit de PTK.



Figuur 7.3 Histogram inundatiediepte en overschrijdingsduur van het kritieke peil, scenario 2b.. De inundatiediepte is afgeleid als hierboven; de overschrijdingsduur komt uit de PTK.

Klasse	Referentie scenario	Scenario 2b
	[1/jaar]	[1/jaar]
0-1 dagen	0,22	0,041
1-2 dagen	0,587	0,889
2-3 dagen	0,128	0,059
3-4 dagen	0,042	0,008
4-5 dagen	0,013	0,003
5-6 dagen	0,005	0
Meer dan 6 dagen	0,005	0

Tabel 7.1: Kansverdeling overschrijdingsduur van het kritieke peil voor peilgebied PG0765.

7.3 Resultaat

Beschouw het volgende rekenvoorbeeld: In dit voorbeeld wordt aangenomen dat ca 3 cm waterdiepte tot 1,0 mln Euro schade in het gebied leidt in het geval van een overstroming van 1 dag en dat de schade proportioneel met het overschrijdingsduur stijgt (dus 5,0 mln Euro voor een overstroming van 5 dagen).

Door gebruik te maken van de kansverdeling van het overschrijdingsduur van het kritieke peil (Figuur 7.1) kan vervolgens de verwachtingswaarde van de schade in het gebied worden afgeleid. **De verwachte schade bedraagt in dit rekenvoorbeeld 1,8 mln Euro per jaar voor de referentie scenario en 1,5 mln Euro per jaar voor scenario 2b.** Het verschil is dus de directe winst van de extra flexpomp! In dit rekenvoorbeeld zorgt de inzet van de flexmaatregelen voor een reductie van het risico. Hierbij moet worden vermeld dat de gebruikte kostencurve random gekozen is en dus af kan wijken van de werkelijkheid.

Hierboven is geconcludeerd dat scenario 2b zorgt voor een risico reductie ten opzichte van het referentie scenario. Of het inzet van de flexpomp economisch gezien ook een gunstige keuze is, is ook naast risico-afhankelijk ook afhankelijk van de kosten van de aanschaf en inzet van de pomp/barriers. Om dit laatste te evalueren, zou de vertaalslag gemaakt moeten worden van “foto” naar “film”, zoals dit binnen ROBAMCI wordt genoemd. Hierbij is het bepalen de van de verwachtingswaarde van de schade (zie paragraaf 8.2) een foto van één tijdstip. Door meerdere tijdstippen (foto's) te bekijken, kan een film worden afgespeeld en kan gezocht worden naar de economisch meest gunstige oplossing in de tijd. De ROBAMCI-tools kunnen hiervoor worden ingezet.

7.4 Voorbeeld- evaluatie inzet overloopgebied

In hoofdstuk 5 is naar voren gekomen dat de bergingsgebieden weinig bijdrage leveren aan het verlagen van de waterstanden in de polders van het Oude Rijngebied.

Om enig inzicht te verkrijgen in de effectiviteit van een overloopgebied is het nodig om te weten om hoeveel water het gaat dat de polder wordt ingelaten of ingepompt. Dit water wordt actief aan het de watergangen in het SOBEK-model onttrokken (=putterm in het model). Om dit volume globaal in te kunnen schatten is gebruik gemaakt van een inzetduur van 2 dagen, vergelijkbaar met de verwachtingswaarde van de duur van peilgebied PG0765.

Als dit ook geldt voor een bergingsgebied zoals beschouwd in deze verkennende studie, betreft dit circa 86.400 m³ in twee dagen (gebaseerd op een actief het gebied in pompen van 0,5 m³/s, conform paragraaf 2.1 in bijlage F, met 1 flexpomp). In de tabel hieronder is weergegeven wat dat betekent voor de inundatiediepte ten gevolge van de inzet van 1 zo'n pomp. Deze inundatiediepte komt mogelijk dus bovenop de inundatie als uit het voorbeeld hierboven.

NAAM	CODE	ZOMERPEIL	OPPERVLAKTE(m ²)	Inundatiediepte(m)
Meijepolder	PG0310	-2,75	5948862,80	0,01
Snelrewaard-west	PG0296	-1,96	3956053,60	0,02
Noordzijderpolder	PG0585	-2,24	5583939,50	0,02
Meije (hoog)	PG0304	-2,5	1179486,80	0,07
Groot-Hekendorp	PG0758	-2,17	3624203,80	0,02
Peilgebied uit voorbeeld	PG0765	-1,83	5370264,70	0,02

Inundatiediepte door actief pompen met 0,5 m³/s bij verwachtingswaarde van ca 2 dagen

Dergelijke inundatiedieptes zullen in de winter minder schade opleveren aan landbouwgrond dan in de zomer. In de zomer kan er schade ontstaan aan gewassen.

De berekende inundatiedieptes in dit voorbeeld zijn dus nog niet de omstandigheden, waarbij er een afweging moet worden gemaakt of men barriers wil inzetten. De kosten van de barrier van dit moment zouden mogelijk niet opwegen tegen de schade:

Per strekkende kilometer kost de beschouwde tubebarrier ca 270.000,- euro in aanschafkosten, Het alternatieve systeem, met boxen kost ca 156.000,- euro. Om een polder in tweeën op te delen (bijvoorbeeld omdat er aan een zijde bebouwing is en aan de andere zijde niet) zal 1 tot 2 km aan barriers nodig. Let wel: het plaatsen van een barrier zorgt voor hogere inundatiedieptes voor het niet beschermde gebied en zou zo dus voor meer schade kunnen leiden. Een strategie voor het plaatsen van de barriers is derhalve nodig.

Vrij doordenkend kan een barrier goed zijn voor het imago als het zichtbaar constructief bijdraagt aan bescherming van een deel van de polder. Echter 10 cm water tegen een barrier van 60 cm zou averechts kunnen werken voor het imago, waar het wel gunstig zou kunnen zijn voor natuur of leefbaarheid door bijvoorbeeld het beschermen van een ontsluitingsweg. Een kwantitatief afwegingskader is in zo'n geval gewenst.

8 Synthese

In deze studie is een framework neergezet waarmee HDSR nader kan onderzoeken in hoeverre flexibele maatregelen nuttig en gewenst zijn in het Oude Rijngebied. Dit is uitgevoerd en beschreven in dit rapport gebruik makend van de winterstatistiek 2015. De werkwijze is uitbreidbaar naar andere gebieden, andere perioden, andere zichtjaren en andere combinaties van (flexibele) maatregelen.

Het framework:

1) T0 scan uitvoeren

Er is een verkennende scan uitgevoerd om de bedrijfswaarden van HDSR in kaart te brengen. Deze zijn gescoord en beoordeeld op basis van “expert judgement”, gebaseerd op de ervaringen (of gebrek daaraan) met de beoogde maatregelen. Risico's zijn hier gebaseerd op het falen van de flexibele maatregelen. Dit is te beschouwen als de kwalitatieve T0 meting (risico-scan), ofwel een eerste subjectieve verkenning van de risico's op basis van “expert judgement”.

2a) Onderzoek betrouwbaarheid pompen

De betrouwbaarheid van de pompen is onderzocht.

Op basis van metingen van het waterschap is onderzocht hoe betrouwbaar de pompen in het gebied zijn. Deze is toegepast op Gerverscop.

2b) Aansturing van de pompen definiëren

Op basis van “expert judgement” is een aansturingsregel voor de flexibele pompen gedefinieerd.

3) Scenario's definiëren en berekeningen uitvoeren met SOBEK

Voor 11 scenario's zijn berekeningen met SOBEK-1D uitgevoerd

Er is gebruik gemaakt van het bestaande model van HDSR. Hieraan zijn de toegevoegd:

- flexibele pompen met aansturing als afgeleid onder 2b)
- flexibele barriers die ingezet worden als een drempel wordt overschreden.

4) Maken probabilistische berekeningen met PTK voor verschillende terugkeertijden

De Probabilistic Toolkit is toegepast.

Met de SOBEK resultaten uit stap 3) is een probabilistische analyse uitgevoerd (Monte Carlo met 1000 trekkingen). Per scenario geeft dit een kansverdeling van de waterstand en de bijbehorende overschrijdingsduur. Vervolgens kan, door een vergelijking te maken met de referentiecasse voor verschillende terugkeertijden, het effect van de flexibele maatregelen worden onderzocht.

In stappen 2 tot en met 4 zijn de noodzakelijke stappen gezet om de flexibele maatregelen te kunnen kwantificeren, voor wat betreft de prestatie. Het geeft richting aan de strategie die HDSR kan volgen bij wateroverlastproblemen. De laatste stap in het framework is de vertaling naar het kwantitatieve risico.

5) Uitvoeren van een kwantitatieve risico-analyse (=vervolgstap)

Deze is in verband met de tijd alleen geïllustreerd met een versimpeld voorbeeld in het voorgaande hoofdstuk.

9 Conclusie en aanbevelingen

9.1 Conclusie

Dit rapport geeft een verkennende analyse naar de inzet van flexibele maatregelen tijdens calamiteiten (extreme neerslagbuien) in het Oude Rijngebied. Hierbij is er gelet op de te verwachten prestaties en risico's die kunnen optreden.

In het rapport worden de volgende conclusies getrokken ten aanzien van de adviesvraag:

- Gemalen spelen in het gebied van HDSR een belangrijke rol in het afvoeren van het overtollig water. Uitval van deze gemalen kan zorgen voor wateroverlast in de polders (poldergemalen) of hoge belasting van de boezem (boezemgemalen). In dit rapport is de betrouwbaarheid van verschillende gemalen in het gebied van HDSR geanalyseerd op basis van historische data. Analyse van de data laat zien dat er tussen de gemalen onderling een aantal grote verschillen te vinden zijn. De grootste uitschieter betreft echter een gemaal dat reeds is vervangen (Noord Linschoten). Wanneer gemaal Noord Linschoten buiten beschouwing wordt gelaten, stijgt de gemiddelde betrouwbaarheid naar 99,9%
- In de prestatieanalyse zijn de effecten van inzet van flexibele maatregelen als pompen en bergingsgebieden op de maatgevende waterstand en overschrijdingsduren op diverse locaties in het Oude Rijngebied bepaald. Hiertoe is een probabilistisch raamwerk opgezet met behulp van de Probabilistic Toolkit uit de ROBAMCI-tools. Uit de resultaten blijkt dat bergingsgebieden een minimaal positief effect hebben op de maatgevende waterstanden. De flexpompen kunnen lokaal wel zorgen voor een verlaging van de waterstand en/of een verkorting van de inundatieduur.
- De bijdrage van de barriers als flexibele maatregel lijkt vooralsnog marginaal. Alleen voor de meest noordelijk gelegen polders van het oude Rijngebied lijkt enige bijdrage te hebben op de maximale waterstand en de bijbehorende duur in combinatie met niet-zuidelijke pompen.
- In deze studie zijn risicomatrices opgezet om de flexibele maatregelen te toetsen aan de relevante bedrijfswaarden (kosten, veiligheid, imago, natuur, leefbaarheid) van de organisatie HDSR als geheel. De barriers komen niet goed uit de kwalitatieve risico-analyse op basis van expert judgement. Het ingeschatte risico is met name hoog door het verwachte falen van barriers, wat een ernstig effect heeft op veiligheid en imago; De ingeschatte betrouwbaarheid van de barriers komt met name hoog uit omdat bij het waterschap hier geen ervaring mee is; de inschatting is derhalve (te) subjectief. De inzet van flexpompen wordt wel aanbevolen. Risico's rond personele inzet zijn bepalend voor flexpompen.
- De overall conclusie: Uit de analyses blijkt dat de flexpompen de grootste potentie hebben de maximale waterstanden te verlagen en de inundatieduur te verkorten. Flexpompen hebben daarnaast ook een laag risicogetal.

Ten aanzien van de ontwikkeling van de ROBAMCI-tools:

- Is er een framework neergezet om dergelijke adviesvragen volgens een vast stramien te beantwoorden.
- Het framework omvat:
 - 1) Het uitvoeren van een T0 scan op bedrijfswaarden en ingeschatte initiële risico's
 - 2) Onderzoek van de pompen en andere aansturende assets
 - 2a) betrouwbaarheid pompen nodig voor de aansturing van (flex)pompen
 - 2b) Aansturing van de pompen definiëren (aan- en afslag niveau)
 - 3) Scenario's definiëren en berekeningen uitvoeren met SOBEK om de wiskundige ruimte op te spannen van de te beschouwen stochasten
 - 4) Maken probabilistische berekeningen met Probabilistic Tool Kit voor verschillende terugkeertijden
 - 5) Uitvoeren van een kwantitatieve risico-analyse (=vervolgstap) met weging van de bedrijfswaarden uit stap 1.

Voor ROBAMCI-tools is in deze studie de PTK uitgebreid om stap 4 mogelijk te maken. Het uitvoeren van stap 5, en de toevoeging daarvan aan de PTK is de vervolgstap.

Geconcludeerd kan worden dat:

- De ROBAMCI aanpak geschikt is voor het afwegen van tijdelijke en structurele maatregelen.
- In deze studie zijn middels het framework de onderdelen voor het afwegingsproces voor een strategie rond flexibele maatregelen uitgevoerd:
 - de scan (kwalitatief),
 - de uitwerking, vergelijking en analyse (kwantitatief),
- De laatste stap die leidt tot een keuze, is stap 5 uit het framework: deze is vanwege tijdgebrek niet uitgevoerd.
- De meerwaarde van ROBAMCI-tools ligt in het kunnen toevoegen van informatie over consequenties van veroudering en klimaatverandering middels stochasten en statistische uitbreidingen aan de scan.
- Het helpt dus bij het verkrijgen van inzicht in het gesteld zijn voor na het "nu". Het helpt strategieën af te kunnen wegen, en de periode waarover maatregelen effectief zijn te kunnen bepalen.

9.2 Aanbevelingen

Deze studie heeft een verkennend karakter en geeft vooral inzicht in de methode en de oplossingsrichting. Hierbij verdient het een aanbeveling om de scenario's te herformuleren, de prestatie en risico component beter op elkaar af te stemmen en de kostencomponent toe te voegen. Hiermee kan uiteindelijk een maatschappelijk verantwoorde keuze gemaakt worden voor de aanschaf en inzet van assets rondom hoogwaterbescherming.

Voor het beoordelen van de prestaties worden de volgende aanbevelingen meegegeven:

- Werk aan verdere analyse van de inzet van flexpompen en bergingsgebieden ten behoeve van optimalisatie van de inzet:
 - Voor bergingsgebieden is het van belang te beschouwen wat het doel is. Een bergingsgebied dat dient als overloop voor de boezem moet vele malen groter zijn dan een bergingsgebied dat alleen water uit een of enkele specifieke polders opvangt om significant effect te kunnen hebben.

- Formuleer voor de barriers een voorkeursstrategie: beschermen van de bebouwing alleen, halveren van het overloopgebied, etc.
 - Beschouw hierbij ook de impact van waterdiepte bij de mogelijke schade.
 - In de huidige scenario's worden maximaal twee flexpompen ingezet, terwijl er zes beschikbaar zijn bij het waterschap. De flexpompen staan hierbij onder alle beschouwde neerslagevents op dezelfde vaste plek, het zijn als het ware vaste pompen. Onderzoek of het mogelijk is om in de hydraulische berekeningen een flexibele locatie van de pomp mee te nemen.
 - Omdat lokaal de waterstanden en bijbehorende overschrijdingsduren verhoogd kunnen worden d.m.v. de inzet van flexpompen, moeten deze locaties met zorg worden bepaald.
- In eerste instantie volgt uit het feit dat de bergingsgebieden in deze verkenning een hoog risico en een zeer beperkt effect hebben, en daaruit volgt de aanbeveling om niet te kiezen voor de inzet van bergingsgebieden. Het risico kan mogelijk worden verkleind door nog meer ervaring, aandacht te besteden aan materiaalkeuze en wijze van installatie. Afhankelijk van het specifieke doel kan het effect bij de juiste inzet wel significant zijn.
 - Hiernaast is de capaciteit van de bergingsgebieden zeker niet ten volle benut. Zeker bij extremere neerslag zouden grotere pompen of meer pompen (al dan niet gecombineerd met andere mogelijkheden om onder vrij verval een polder te inunderen) een effect van betekenis kunnen hebben. Deze mogelijkheden zullen zeker voor de 2050 statistiek en voor clusterbuien moeten worden meegenomen.
 - Bij zo'n inzet van bergingsgebieden als bovengenoemd dient het minimaliseren van de lengte (en daarmee de kosten) van de inzet van barriers ook te worden meegenomen in de beschouwingen.
 - Onderzoek de effectiviteit van flexpompen voor een zomergebeurtenis. Daar wordt meer effect verwacht dan de nu beschouwde winterperiode, omdat in zomergebeurtenissen vaker niet het hele stroomgebied belast zal worden en er dus meer ruimte is op de boezem. De inzet van flexpompen is in deze situaties waarschijnlijk effectiever van in situaties dat de boezem vanuit grotere delen van het stroomgebied belast wordt.
 - Het uitvoeren van een kwantitatieve risicoanalyse. Hierbij hoort ook een nadere beschouwing van de inundatieschade in de diverse polders.
 - Onderzoek de effectiviteit van flexpompen ook voor de toekomstige situaties bijvoorbeeld op basis van de statistiek van 2050. Hiermee kan het verschil tussen de huidige situatie en die met verwachte klimaatverandering worden gekwantificeerd. Idealiter wordt er gebruik gemaakt van de vertaalslag gemaakt moeten worden van "foto" naar "film". Door meerdere tijdstippen (foto's) te bekijken, kan een film worden afgespeeld en kan gezocht worden naar de economisch meest gunstige oplossing in de tijd. De ROBAMCI tools kunnen hiervoor worden ingezet.

10 Referenties

CMS, 2019

Advies beheersmaatregelen tijdens hoge waterstanden op basis van risico afweging
Casus Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, S. Marell, CMS asset management, 31-5-2019, 18110_ROB1_ROBAMCI_v1.0, Definitief.

DHV, 2010

Veiligheidstoetsing dijkkring 36 - Land van Heusden/ De Maaskant. 's-Hertogenbosch: Waterschap Aa en Maas.

HDSR, 2108

Inzet mobiele pompen (bij wateroverlast), L. van den Bosch, HDSR-memo, 2 juli 2018

Hydrologic, 2014

Bepaling wateropgave en wateroverlast – Eindrapportage- Bijlage C Stochastenmethode.

Maaskant & Knoef, 2016

Consequentieanalyse Nieuwe Normering & WBI2017. B. Maaskant & H. Knoef, 2016, Lelystad: Rijkswaterstaat.

Rinsema, 2018

Informatie Kwaliteit Model; Rapportage Fase 3 Robamci. J. Rinsema, N. Pals, W. Zomer & H. Korving, 2018, Delft: ROBAMCI.

Stowa, 2004

Statistiek van extreme neerslag in Nederland, Stowa rapport 2004-26.

Van der Zon, 2013

Kwaliteitsdocument AHN2. N. van der Zon, Amersfoort: Het Waterschapshuis.

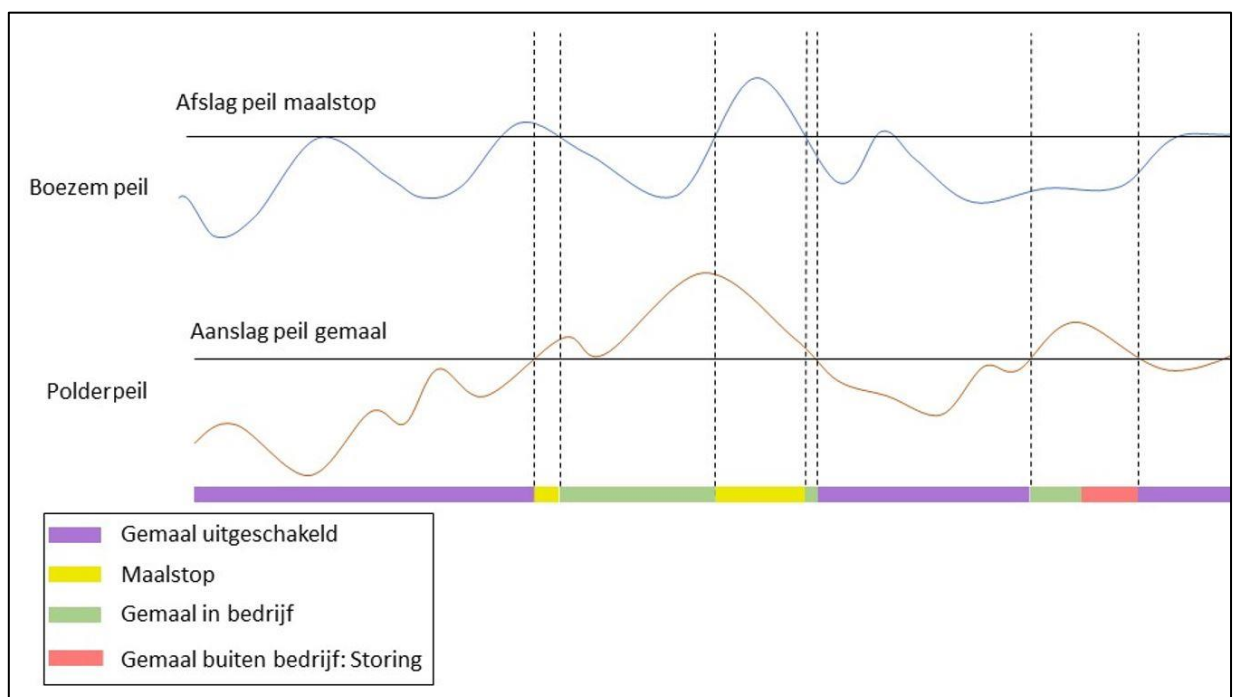
A Bijlage IKM

De toepassing van het IKM geschiedt in verschillende stappen die hieronder nader zijn toegelicht.

Stap 1: Bepaal de relevante variabele

Ten behoeve van het bepalen van het effect van beheersmaatregelen, zoals het effect van de inzet van flexibele maatregelen, is de parameter betrouwbaarheid van de gemalen geselecteerd om te analyseren met behulp van het IKM.

Onder betrouwbaarheid wordt verstaan: “Het in werking zijn van het gemaal, wanneer dit met betrekking tot peilbeheer noodzakelijk is”. Hiervoor is het van belang om te bepalen wanneer de gemalen in werking zouden moeten zijn, en wanneer dit wel of niet het geval is. Dit is te bepalen aan de hand van waterpeilen boven en benedenstrooms van het gemaal, streefpeilen en draaitijden van de gemalen. In Figuur 10.1 is weergegeven op welke manier de verschillende variabelen relevant zijn.



Figuur 10.1 Voorbeeld t.b.v. uitgangspunten voor draaitijden gemalen.

In Figuur 10.1 is te zien dat gesteld wordt dat het gemaal in werking dient te zijn wanneer het polderpeil zich boven het aanslagpeil van het gemaal bevindt, mits het peil in de boezem niet op een dergelijke hoogte bevindt zodat er een maalstop aannemelijk is. Voor de analyse zijn de gestelde criteria tevens weergegeven in een stroomschema (Figuur 10.2, stap 3A).

Samengevat zijn dus volgende variabelen over een gegeven tijdreeks van belang voor de bepaling van de betrouwbaarheid in deze analyse:

- Polderpeil: waterpeil benedenstrooms van het gemaal over de tijd;

- Boezempeil: waterpeil bovenstrooms van het gemaal over de tijd;
- Streefpeil benedenstrooms van het gemaal (kan fluctueren over de tijd);
- Aanslagpeil van het gemaal;
- Afslag peil bij maalstop;
- Draaiduur van gemalen over de tijd.

Stap 2: Beschikbaarheid gegevens

Het Hoogheemraadschap heeft data van de draaiduur en omstandigheden (peilen) van 22 verschillende gemalen over de tijd beschikbaar gesteld, welke ongeveer 86,2 miljoen datapunten omvatten. Deze data betreft draaitijden in seconden, gemeten over elk kwartier, 10 jaar lang. Daarnaast zijn gelijktijdig metingen beschikbaar boven en benedenstrooms (op verschillende plekken) van het gemaal in combinatie met streefpeilen.

De beschikbare data is door het waterschap geverifieerd. Hierbij is aan elk datapunt een kwaliteitsvlag gekoppeld die de betrouwbaarheid van de verschillende datapunten aangeeft. Deze kwaliteitsvlaggen zijn onderverdeeld in: betrouwbaar, onbetrouwbaar en onwaarschijnlijk.

Na een *quick scan* van de data blijkt dat voor 2 gemalen data over draaitijden of waterhoogten mist, er is daarom gekozen om de analyse voor de 20 gemalen met complete datasets voort te zetten.

Ter bepaling van de betrouwbaarheid van de gemalen kan aan de hand van de beschikbare data afgeleid worden wanneer de gemalen in bedrijf zouden moeten zijn, en of dit ook daadwerkelijk het geval is. Om te bepalen bij welke waterstanden de gemalen zouden moeten draaien is gebruik gemaakt van expert schattingen. Hierbij zijn afstanden tot streefpolderpeil, waarbij het gemaal in werking zou moeten treden van belang, en omstandigheden waarin een maalstop zich kan voor doen door een te hoog boezempeil.

Door de combinatie van expert schattingen en grote hoeveelheden data van de gemalen wordt aan de eerste datavraag ten behoeve van de bepaling van betrouwbaarheid voldaan. In Tabel 10.1 zijn de beschikbare gegevens voor de verschillende variabelen weergegeven.

Relevante variabele	Beschikbare informatie	Type
Polderpeil	10 jaar lang, elk kwartier een datapunt voor 20 gemalen per meetpunt in geval van meerdere meetpunten.	Sensormetingen met data kwaliteitsvlag
Boezempeil	10 jaar lang, elk kwartier een datapunt voor 20 gemalen per meetpunt in geval van meerdere meetpunten.	Sensormetingen met data kwaliteitsvlag
Streefpeil benedenstrooms	10 jaar lang, elk kwartier een datapunt voor 20 gemalen	Sensormetingen met data kwaliteitsvlag
Aanslagpeil van het gemaal	10cm + streefpeil	Expert schatting
Afslagpeil bij maalstop	-0,20m NAP	Expert schatting
Draaiduur van gemalen	10 jaar lang, elk kwartier een datapunt voor 20 gemalen, per pomp in geval van meerdere pompen	Sensormetingen met data kwaliteitsvlag

Tabel 10.1 Beschikbare gegevens per relevante variabele

Stap 3: Visualiseer, kwantificeer en interpreteer data

Het visualiseren en kwantificeren van de data is conform het IKM opgesplitst in 3 stappen, namelijk:

Stap 3A: het visualiseren van de ruwe data en het filteren van uitschieters

Stap 3B: het visualiseren van de resterende dataset

Stap 3C: het interpreteren van de data.

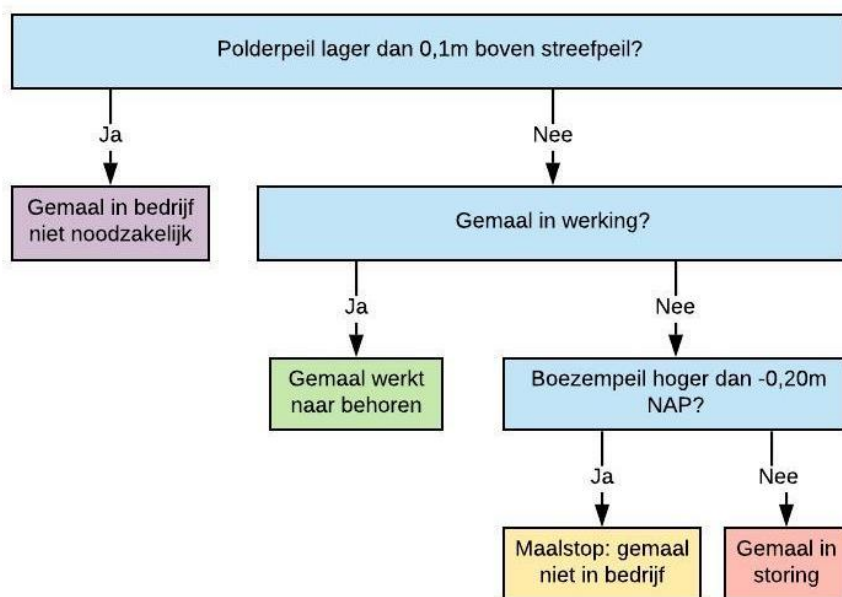
Stap 3A: Plot ruwe data en filter op uitschieters

Door de grote hoeveelheid data is de ruwe data zelf niet duidelijk te visualiseren. Voor visualisatie dient de data te worden gefilterd. Het filteren van de dataset kan bij de beschikbare dataset worden uitgevoerd op basis van de kwaliteitsvlaggen per meetpunt. In de analyse is enkel gebruik gemaakt van de tijdstappen waar zowel voor de waterpeilen beneden- en bovenstrooms als de draaiduur van het gemaal de kwaliteitsvlag “betrouwbaar” hebben (zie stap 2). Wanneer in een tijdstap één van de drie parameter niet betrouwbaar kan worden afgeleid, is deze uitgesloten in de analyse. Voor de 20 gemalen is in Tabel 10.2 het aantal tijdstappen gegeven waarbij voor alle benodigde parameters waarden met de kwaliteitsvlag “betrouwbaar” zijn gevonden.

Gemaal	Tijdstappen met voldoende betrouwbare data
Barwoutswaarder	162405
Grechtkade	92252
Groot Hekendorp	128254
Haanwijk	128349
Kamerik	185754
Lange Wiede	170905
Meijepolder	171038
Middelland	175079
Molenvliet	142406
Noord Linschoten	235335
Noordzijderpolder	171446
Oud Kamerik	29194
Oudeland en Indijk	129365
Overvliet	90535
Rapijnen	188449
Rietveld	129110
Snel en Polanen	128070
Snelrewaard	171203
Westeinde van Waarder	181259
Zegveld	142044

Tabel 10.2 Aantal tijdstappen met betrouwbare data

Op basis van de tijdstappen met betrouwbare data is bepaald of een gemaal wel of niet aan heeft moeten staan en of deze daadwerkelijk aan heeft gestaan om overtollig water weg te pompen. Om dit schematisch weer te geven is in Figuur 10.2 een stroomschema te zien met de criteria voor verschillende uitkomsten.



Figuur 10.2 Stroomschema bepaling storingen

Na de analyse van de betrouwbare data (volgens kwaliteitsvlaggen) zijn de gevonden waarden voor de verschillende gemalen weergegeven in Tabel 10.3. Hierbij geven de waarden het aantal datapunten weer (elk datapunt is een waarde per kwartier) welke voldoen aan de criteria zoals aangegeven in het stroomschema.

Gemaal	Polderpeil > dan 10cm+ streefpeil	Gemaal tevens in werking	Buiten werking maar boezempeil > -0,2m NAP (maalstop)	Gemaal toch uit (storing)
Barwoutswaarder	225	225	0	0
Grechtkade	0	0	0	0
Groot Hekendorp	5	4	0	1
Haanwijk	143	87	0	56
Kamerik	608	486	0	122
Lange Wiede	402	401	0	1
Meijepolder	109	131	0	58
Middelland	3	2	0	1
Molenvliet	239	229	0	10
Noord Linschoten	996	464	175	357
Noordzijdorpolder	244	244	0	0
Oud Kamerik	162	46	0	116
Oudeland en Indijk	946	58	0	888
Overvliet	110	73	0	37
Rapijnen	481	370	109	2
Rietveld	79	62	0	17
Snel en Polanen	440	428	0	12
Snelrewaard	80	29	51	0
Westeinde van Waarder	128	111	0	17
Zegveld	204	176	0	28

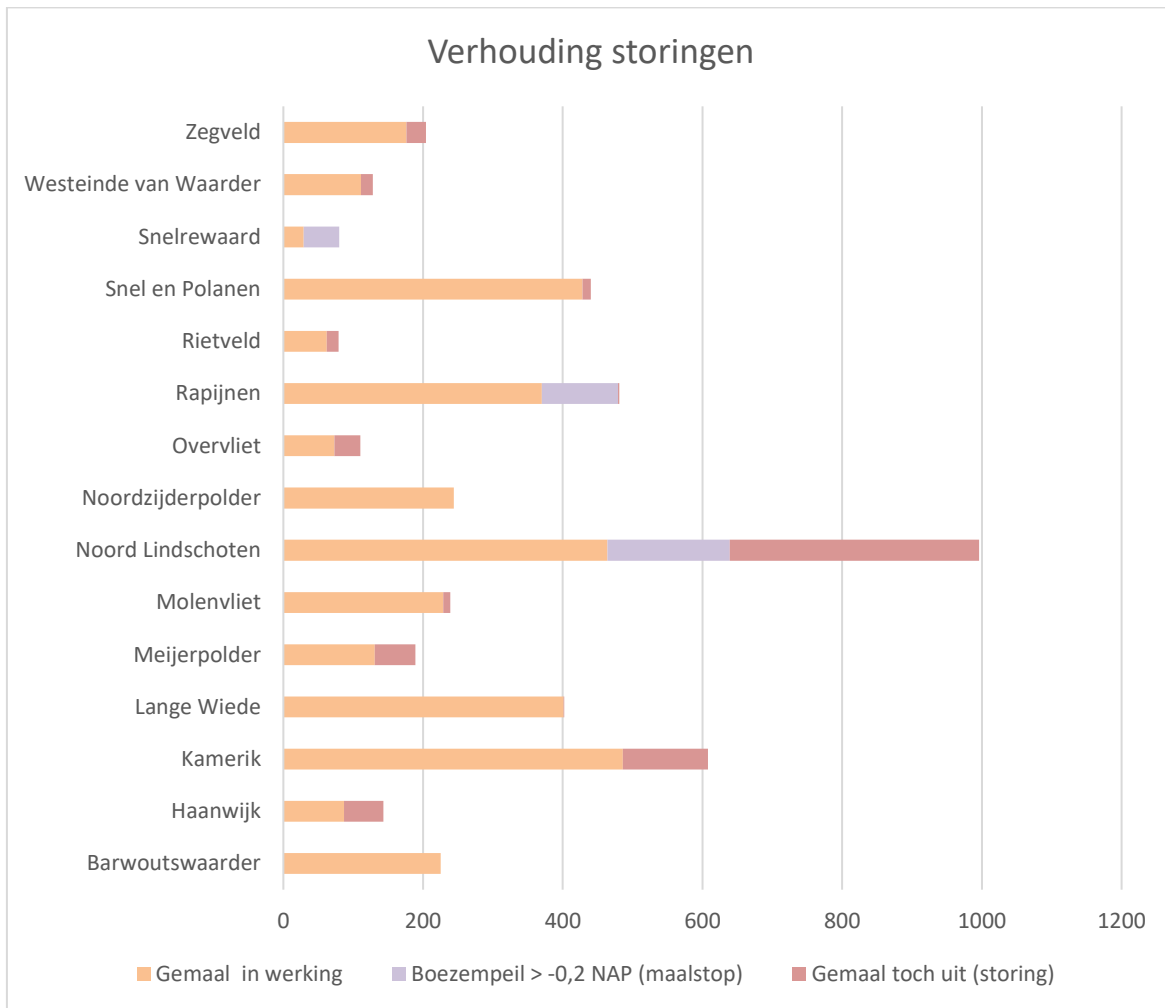
Tabel 10.3 Datapunten uit de uitvoering van de analyse o.b.v. gestelde criteria

Onderdeel van stap 3A is het uitfilteren van uitschieters. Uit deze analyse is te zien dat voor een aantal gemalen uitzonderlijk weinig datapunten een polderpeil hoger dan 10cm + streefpeil hebben. Oorzaak hiervoor zouden kunnen zijn dat het gemaal eerder aan slaat dan bij 10cm + streefpeil waardoor het waterpeil nabij het gemaal niet vaak tot boven het criterium stijgt. Hierin zijn gemalen Grechtgade, Groot Hekendorp en Middelland de uitschieters met slechts enkele datapunten waarbij het polderpeil groter is dan 10cm + streefpeil. Deze gemalen zijn daarom niet gebruikt in de vervolgstappen van de analyse.

Tevens is te zien dat gemaal Oud Kamerik en Oudeland en Indijk extreem vaak buiten werking zijn in verhouding tot het polderpeil. Voor gemaal Oudeland en Indijk is dit te verklaren door de plaatsing van de sensor voor bepaling van het polderpeil. Deze bevindt zich in de gebruikte dataset namelijk op enige afstand van het gemaal, waardoor er een vertekend beeld kan ontstaan. Gemaal Oud Kamerik valt met name op door het relatief lage aantal bruikbare datapunten (minder dan 10% van het beschouwde tijdvak). Op basis van deze gegevens is gekozen om ook deze gemalen niet mee te nemen in de analyse uitgevoerd in de vervolgstappen.

Stap 3B: Visualiseren van resterende dataset

In stap 3B van het IKM is de dataset gevisualiseerd, waarbij de uitschieters uit de dataset zijn gefilterd (zie het staafdiagram in Figuur 10.3). In het staafdiagram zijn de verhoudingen te zien tussen de verschillende hoeveelheden datapunten waarbij het gemaal aan, uit of in maalstop staat. In het algemeen is te zien dat de bepaalde draaitijden minder zijn dan totale jaarlijkse draaitijden. Deze bedragen namelijk gemiddeld enkele honderden uren tot 1000 uur per jaar. Meest voor de hand liggende oorzaak hiervoor is dat gemalen over het algemeen eerder in werking treden dan 10cm boven het streefpeil. Echter geeft het uitgangspunt van 10cm+streefpeil wel inzicht in het gedrag van de gemalen tijdens meer kritieke omstandigheden, welke voor deze analyse relevant wordt geacht.



Figuur 10.3 Staafdiagram gefilterde data

Stap 3C interpreteren van de data

Om de betrouwbaarheid van de verschillende gemalen te bepalen is vastgesteld welke tijd het gemaal (conform de gestelde criteria) in storing staat, in verhouding tot het aantal beschouwde datapunten waar het gemaal in werking is geweest en in werking had moeten zijn.

$$\text{Betrouwbaarheid} = 1 - \frac{T_{\text{storing}}}{T_{\text{draaiuren}} + T_{\text{storing}}}$$

Voor de verschillende gemalen zijn betrouwbaarheden gevonden op basis van de gestelde criteria en weergegeven in Tabel 10.4 (let op, dit zijn waarden gebaseerd op de tijdstappen waar voldoende data aanwezig is, dit geeft echter naar rato wel de betrouwbaarheid).

Gemaal	Gemiddelde uren storing per jaar	Gemiddelde draaiuren per jaar	Betrouwbaarheid [%]
Barwoutswaarder	0	532	100
Haanwijk	1,4	1270	99,89
Kamerik	3,1	1031	99,70
Lange Weide	0,3	1190	99,97
Meijepolder	1,5	1053	99,86
Molenvliet	0,3	1208	99,98
Noord Linschoten	8,9	672	98,69
Noordzijderpolder	0	512	100
Overvliet	0,9	162	99,45
Rapijnen	0,1	587	99,98
Rietveld	0,4	316	99,87
Snel en Polanen	0,3	917	99,97
Snelrewaard	0	436	100
Westeinde van Waarder	0,4	965	99,96
Zegveld	0,7	682	99,90

Tabel 10.4 Betrouwbaarheden o.b.v. beschikbare betrouwbare datapunten

De gevonden waarden geven een gemiddelde waarde voor de betrouwbaarheid van 99,8% , wat betekent dat de gemalen gemiddeld 0,2% van de tijd niet hebben gedraaid de afgelopen 10 jaar terwijl dit op basis van de waterpeilen boven en onderstroom wel gewenst was geweest. De standaarddeviatie op de betrouwbaarheid van de gemalen bedraagt 0,34%.

Met name gemaal Noord Linschoten geeft een lage betrouwbaarheid in verhouding tot andere gemalen. Dit gemaal is echter in 2018 vervangen. Mogelijk is de lage betrouwbaarheid in de afgelopen 10 jaar mede oorzaak om over te gaan tot het vervangen van het gemaal. Een ander gemaal met een lagere betrouwbaarheid is gemaal Overvliet, dit gemaal betreft een van de kleinere boezemgemalen in het systeem. Wanneer gemaal Noord Linschoten buiten beschouwing wordt gelaten, bedraagt de gemiddelde betrouwbaarheid 99,9% met een standaarddeviatie van 0,15%.

Daarnaast is het opvallend dat een drietal gemalen op basis van de data en criteria, tijdens maatgevende omstandigheden niet in storing hebben gestaan de afgelopen 10 jaar. Het betreft hier gemalen Barwoutswaarder, Noordzijderpolder en Snelrewaard.

Stap 4: Kwaliteitsoordeel

Op basis van de interpretatie van de data en opgestelde grafieken wordt een kwaliteitsoordeel gevormd. Het kwaliteitsoordeel wordt gebaseerd op 5 criteria:

- 1 **Beschikbaarheid van data; Tijdreeks aanwezig in, of samen te stellen uit beschikbare data:** De beschikbare data betreffen tijdreeksen van 10 jaar voor 22 gemalen waarvan er 20 voldoende meetpunten hebben om de benodigde parameters af te leiden. Tevens is elk datapunt voorzien van een kwaliteitsvlag welke aangeeft of het een betrouwbare meting betreft. Voor het vaststellen van criteria voor het aan- en afslaan van gemalen is gebruik gemaakt van expertschattingen.
- 2 **Uitschieters:** Na de eerste analyse blijkt dat de waarden voor 5 gemalen dermate afwijken van de overige gevonden waarden en het verwachtingspatroon, dat deze als uitschieters zijn geclassificeerd. Oorzaken voor dergelijke anomalieën zijn terug te herleiden naar plaatsing van sensoren, tekort aan betrouwbare datareeksen en gebruikte criteria voor het aan/afslaan van het gemaal.

- 3 **Aantal datareeksen over vergelijkbare periode:** Voor de analyse zijn na filtering, datasets van 15 gemalen gebruikt, welke zich over een vergelijkbare periode strekken.
- 4 **Ruimtelijke verdeling van meetpunten:** De verschillende datareeksen betreffen allemaal poldergemalen die zich verdeeld bevinden over het Oude Rijngebied.
- 5 **Kwaliteit meetmethode:** Doordat er per datapunt een kwaliteitsvlag bekend is, kan er een hoge mate van betrouwbaarheid aan de gebruikte meetpunten worden toegekend. Echter door aanvullend gebruik van expert schattingen kunnen onnauwkeurigheden ontstaan.

De score voor de datakwaliteit van de tijdreeksen is 4 sterren volgens de IKM methodiek. In het IKM is bepaald dat bij een score van 4 Sterren de data een goede beschrijving geeft van het systeem. Echter door het gebruik van expertschattingen voor het aanslag/afslagpeil van het gemaal zullen de afgeleide betrouwbaarheden in combinatie met expert meningen moeten worden geïnterpreteerd. Meer informatie over de toekenning van sterren is weergegeven in Tabel 10.5.

Oordeel	Criteria vanuit datakwaliteit in IKM	Vervolg
☆	1. Beperkte aaneengesloten datapunten 2. Grote onverklaarbare uitschieters 3. Geen datareeksen voor validatie 4. Geen tot beperkte ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 5. onbetrouwbare meetmethode	Data niet bruikbaar
☆☆	1. Voldoende aaneengesloten datapunten 2. Grote onverklaarbare uitschieters 3. Geen datareeks voor validatie 4. Beperkte ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 5. Twijfelachtige meetmethode	Combinatie met expert meningen nodig
☆☆☆	1. Voldoende aaneengesloten datapunten 2. Verklaarbare uitschieters 3. Minimale datareeks aanwezig voor validatie 4. Beperkte ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 5. Meetmethode is voldoende voor beschreven parameter	Data geeft bruikbare beschrijving van het systeem
☆☆☆☆	1. Voldoende aaneengesloten datapunten 2. Verklaarbare uitschieters 3. Voldoende datareeksen voor validatie 4. Voldoende ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 5. Erg betrouwbare meetmethode	Data geeft goede beschrijving van het systeem
☆☆☆☆☆	1. Voldoende aaneengesloten datapunten 2. Uitschieters afwezig 3. Uitgebreide datareeksen voor validatie 4. Goede ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 5. Erg betrouwbare meetmethode	Data geeft volledig inzicht in het systeem

Tabel 10.5 Toekenning score voor datakwaliteit (Rinsema, Pals, Zomer, & Korving, 2018)

Stap 5: expert judgement

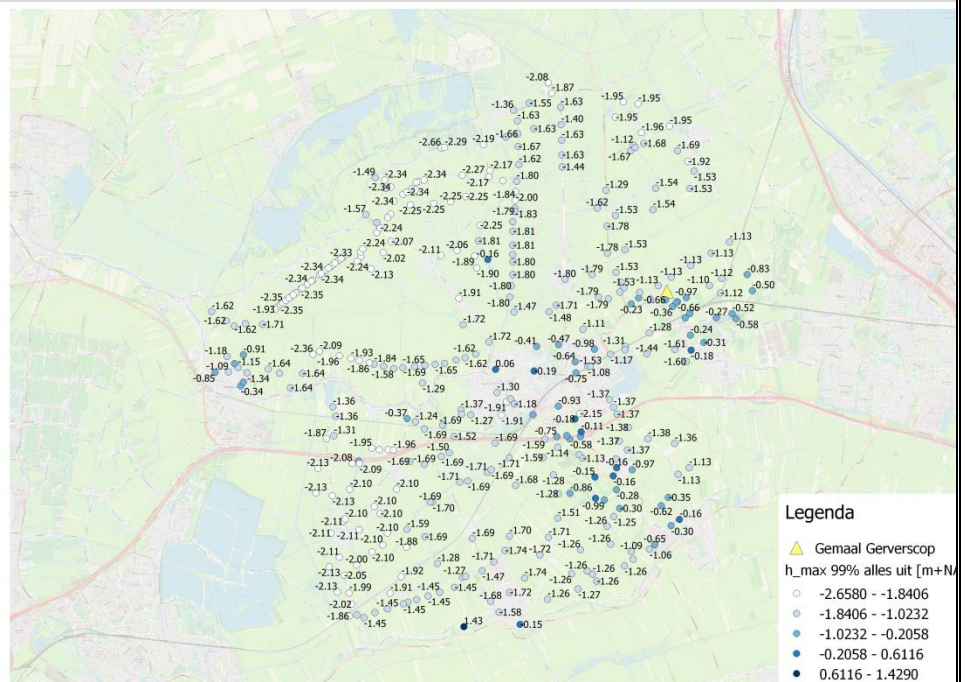
In de analyse is reeds gebruik gemaakt van expert judgement ter bepaling van de criteria over het omslagpunt wanneer de gemalen uit of aan zouden moeten staan. Hoewel voor het aan- en afslagpunt een schatting is gemaakt, is op basis van deze waarden wel iets te zeggen over de mate van stilstand van gemalen wanneer het in bedrijf zijn van het gemaal gewenst is.

Stap 6: kwantificeer onzekerheid

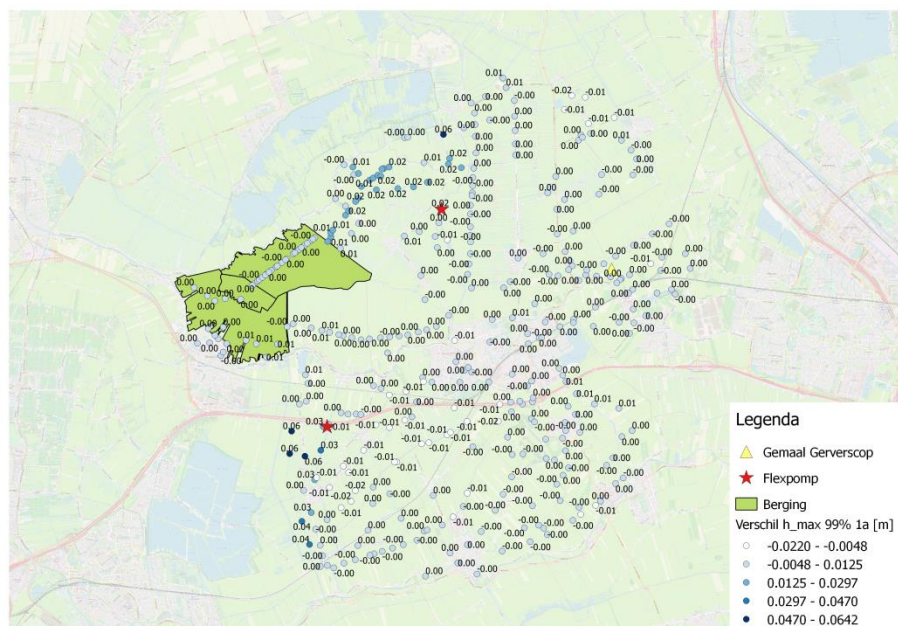
Wanneer gekeken wordt naar uitkomsten van de analyse zijn er tussen de gemalen onderling een aantal grote verschillen te vinden, de grootste uitschieter betreft een gemaal die reeds is vervangen (Noord Linschoten). Deze uitschieter zorgen voor een grote standaarddeviatie van 0,34% op de betrouwbaarheid terwijl de storingstijd gemiddeld slechts 0,2% bedraagt (variatiecoëfficiënt van 1,7). Wanneer gemaal Noord Linschoten echter buiten beschouwing wordt gelaten, stijgt de gemiddelde betrouwbaarheid naar 99,9% met een standaardafwijking van 0,15%.

B Bijlage: waterstand

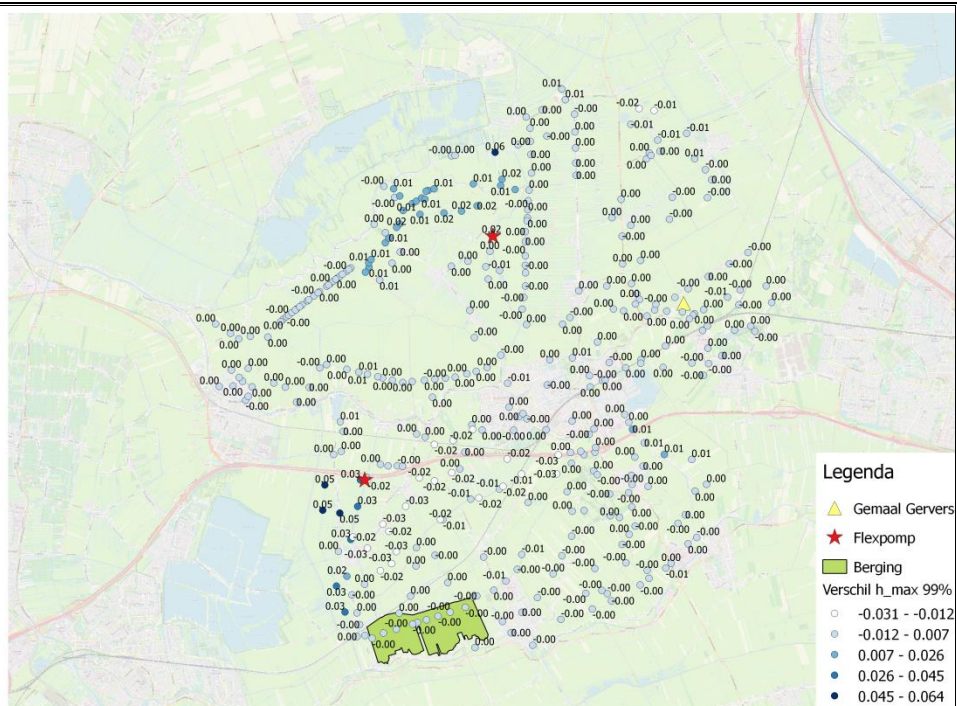
Maatgevende
waterstand
(T=100) bij
scenario 1:
geen
maatregelen



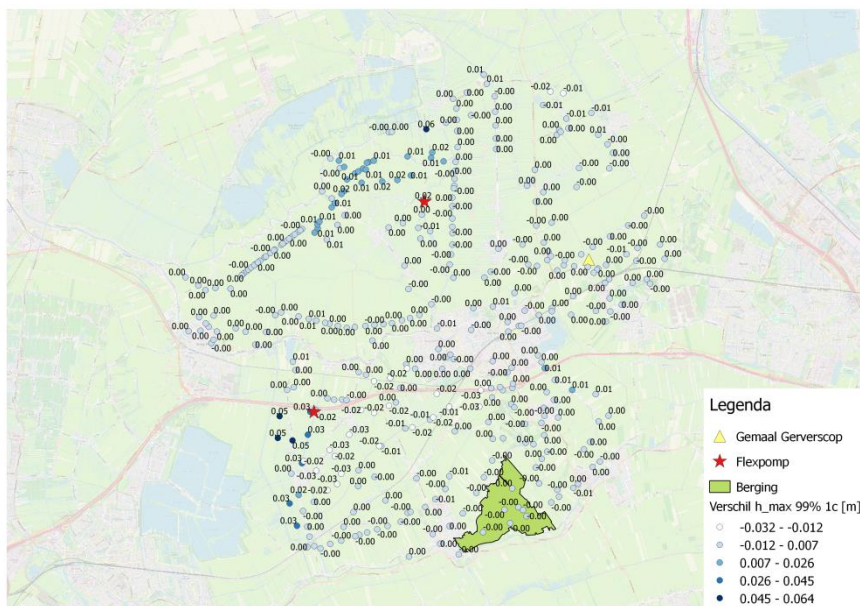
Verskil
maatgevende
waterstand
scenario 1A



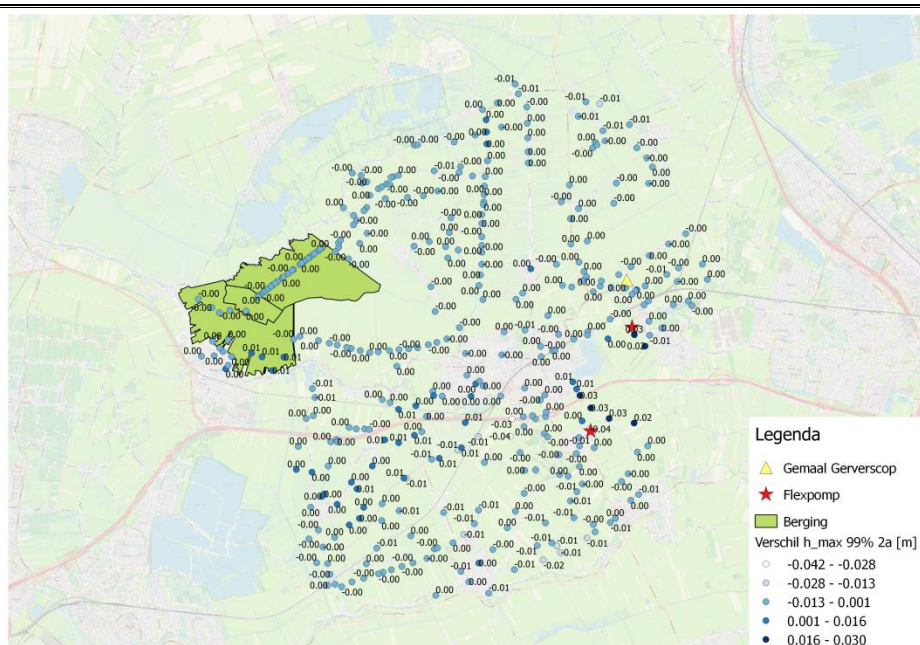
Vershil
maatgevend
e
waterstand
scenario 1B



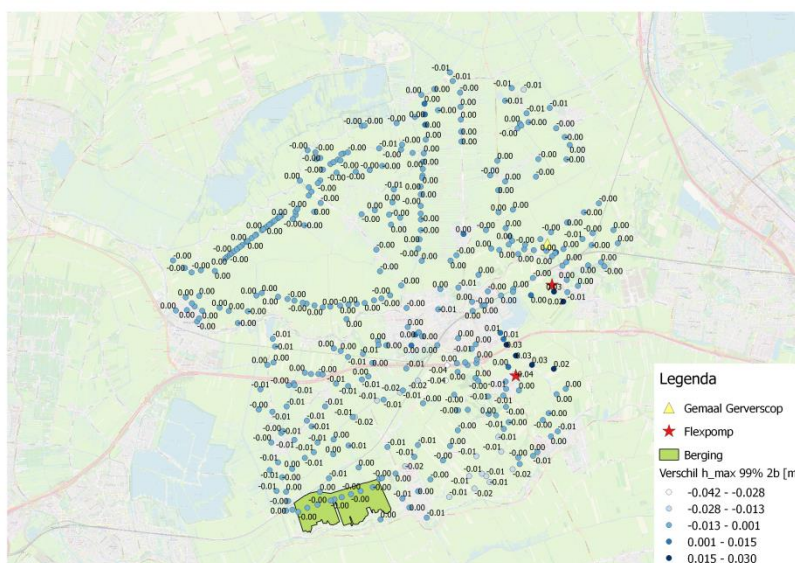
Vershil
maatgevend
e
waterstand
scenario 1C



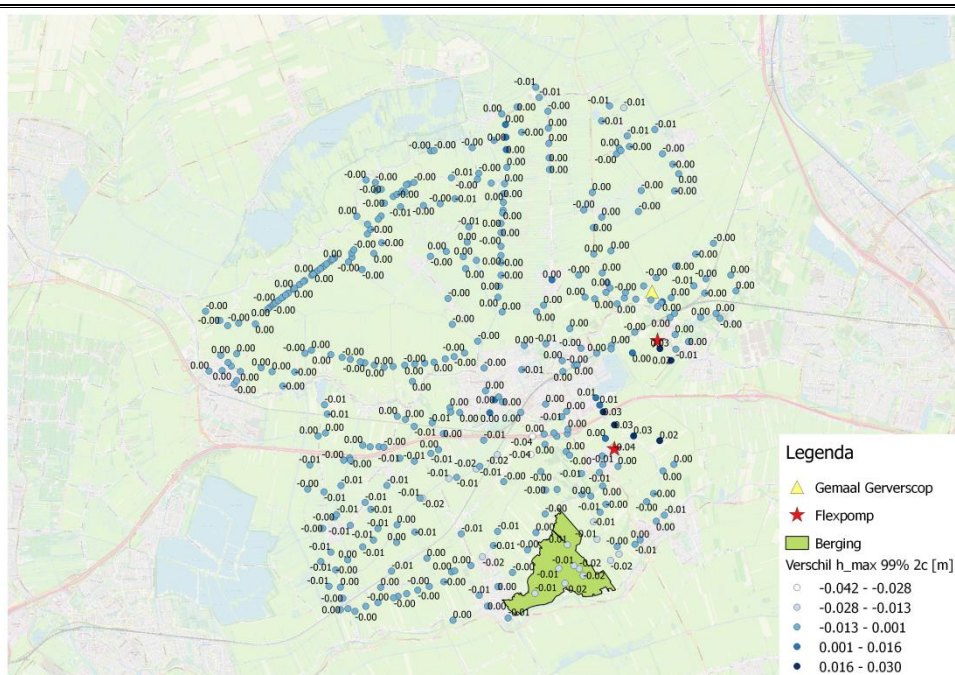
Vershil
maatgevend
e
waterstand
scenario 2A



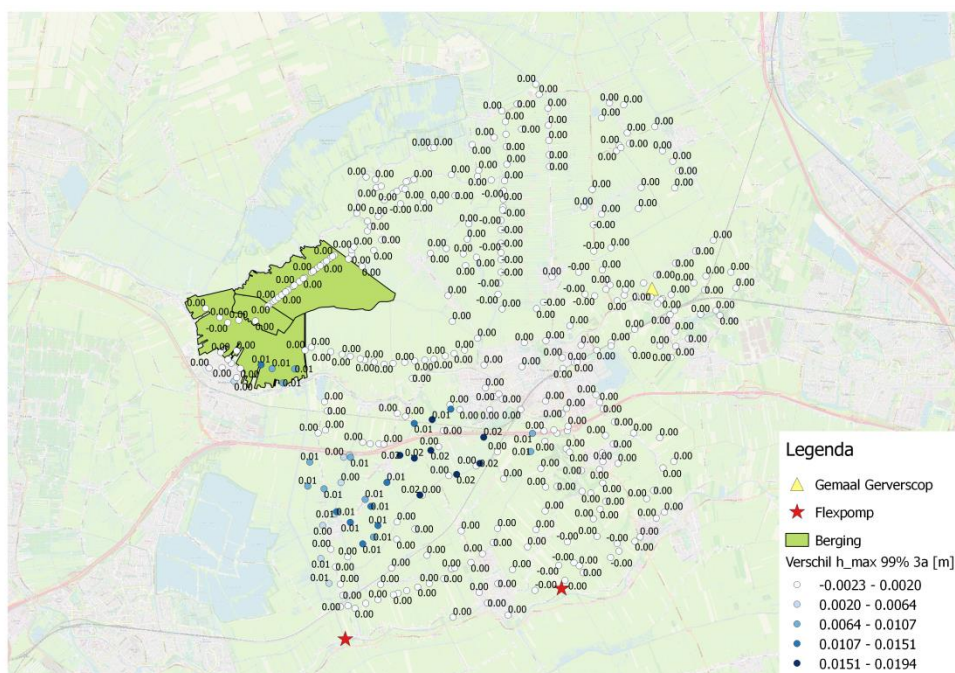
Vershil
maatgevend
e
waterstand
scenario 2B



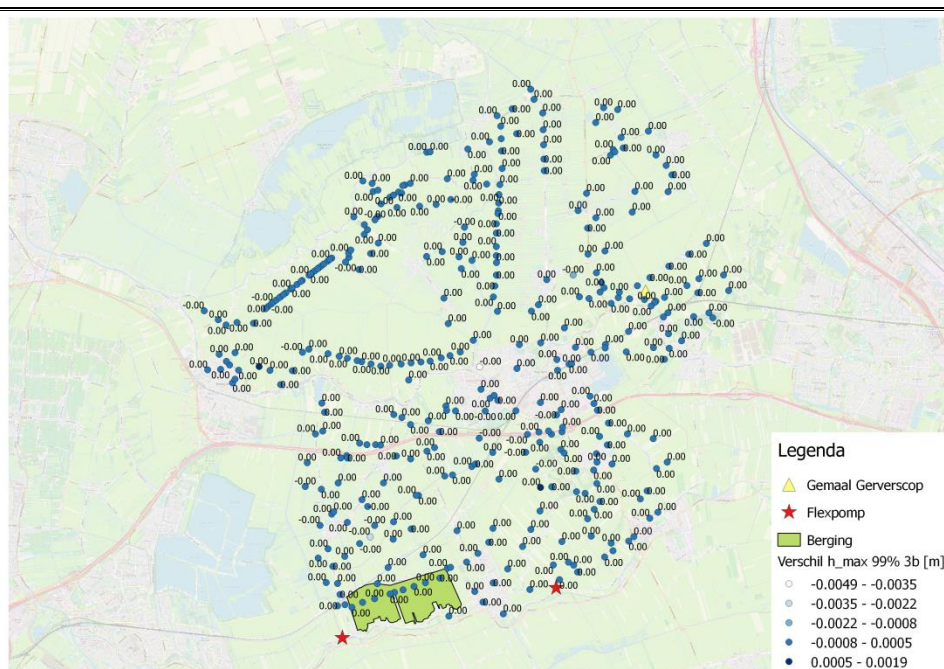
Vershil
maatgevend
e
waterstand
scenario 2C



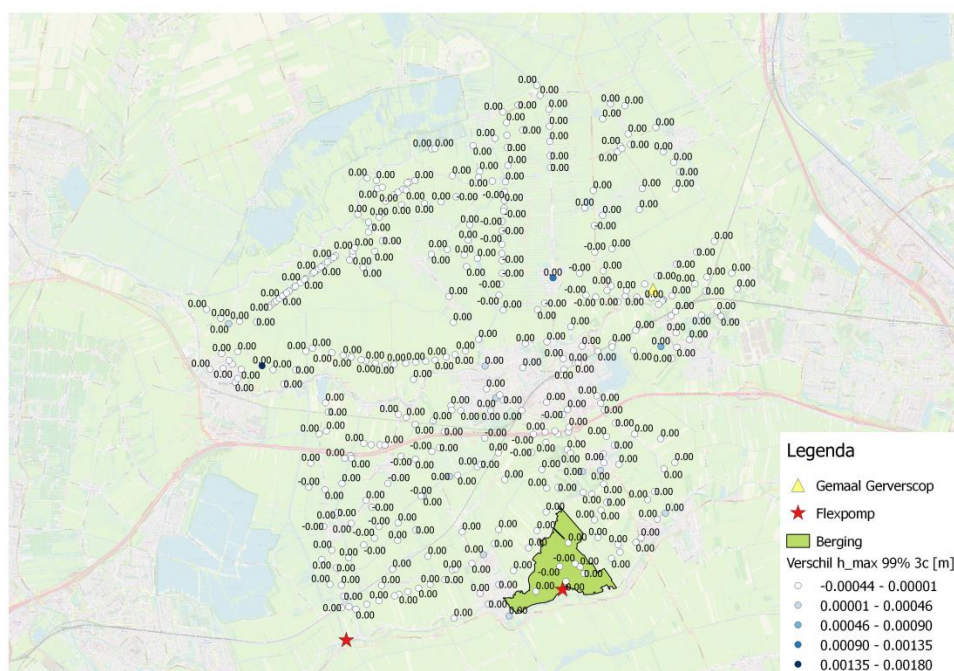
Vershil
maatgevend
e
waterstand
scenario 3A

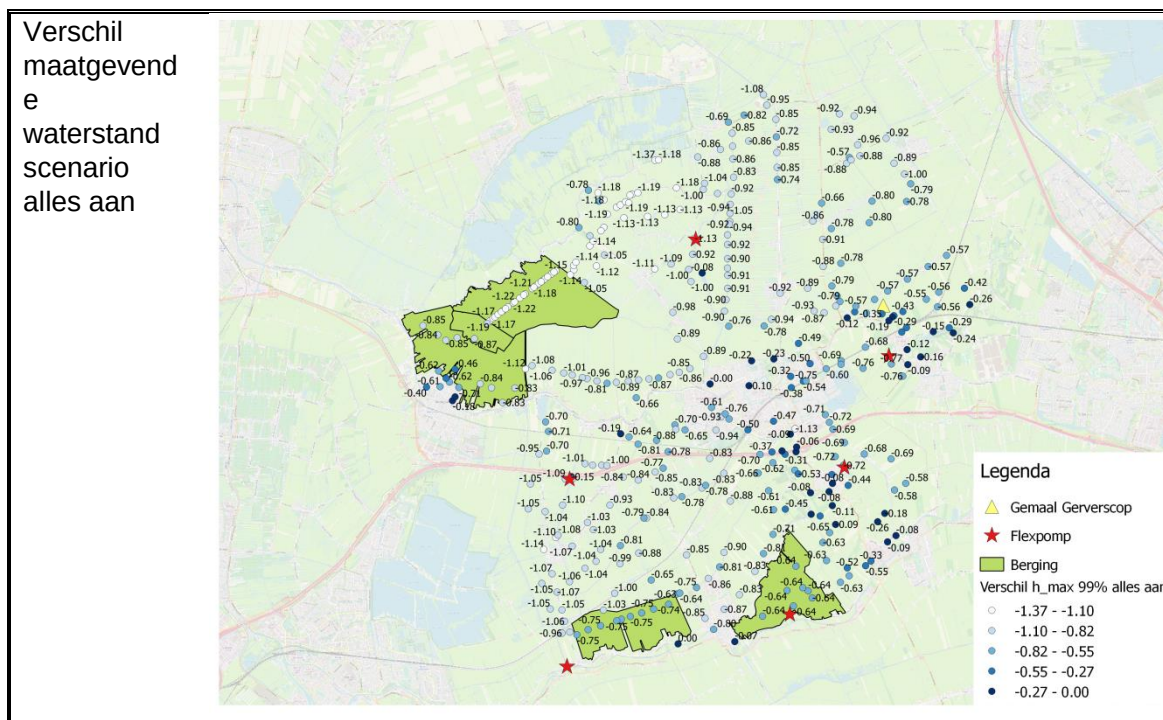


Vershil
maatgevend
e
waterstand
scenario 3B



Vershil
maatgevend
e
waterstand
scenario 3C

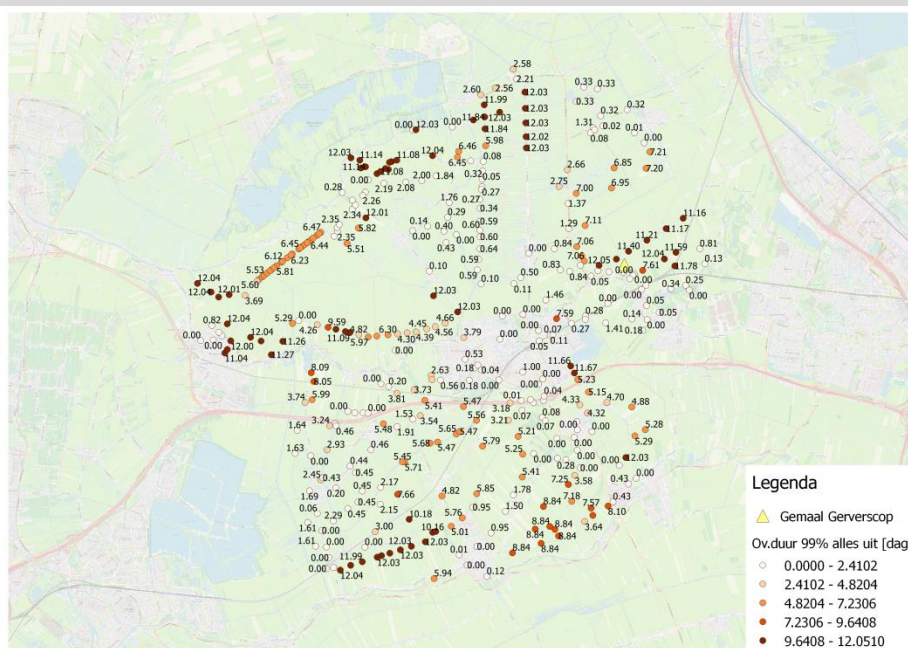




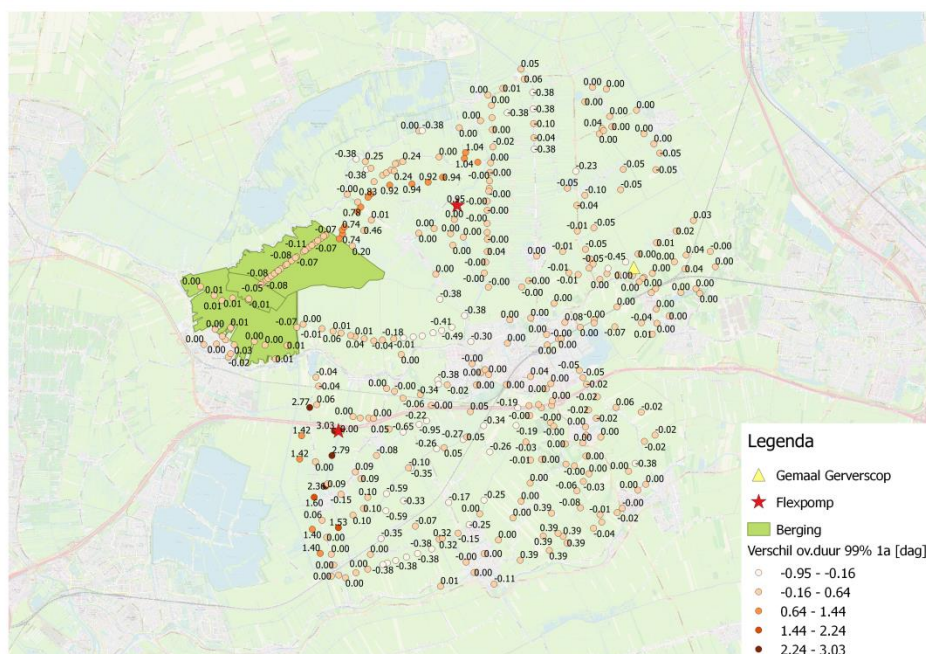
- Het scenario “alles aan” leidt op veel locaties tot hogere waterstanden. Dit kan logisch zijn, omdat de boezem extra belast door inzet van extra (flexibele) pompen. Bepalend is hoeveel water er effectief geborgen wordt in de bergingsgebieden in verhouding tot de bergingsruimte op de boezem, en hoeveel de flexibele pomp van de Enkele Wiericke naar de Gekanaliseerde Hollandse IJssel verpompt (om de boezem te ontlasten).

C Bijlage Duur

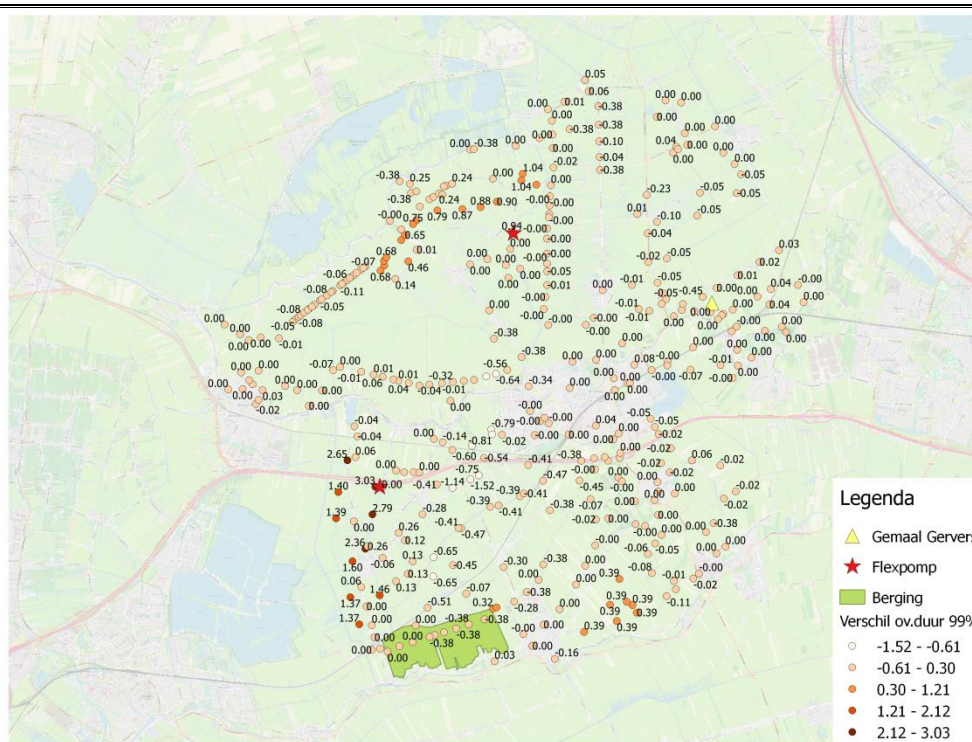
Maatgeven
de duur
(T=100) bij
scenario
:geen
maatregelen.



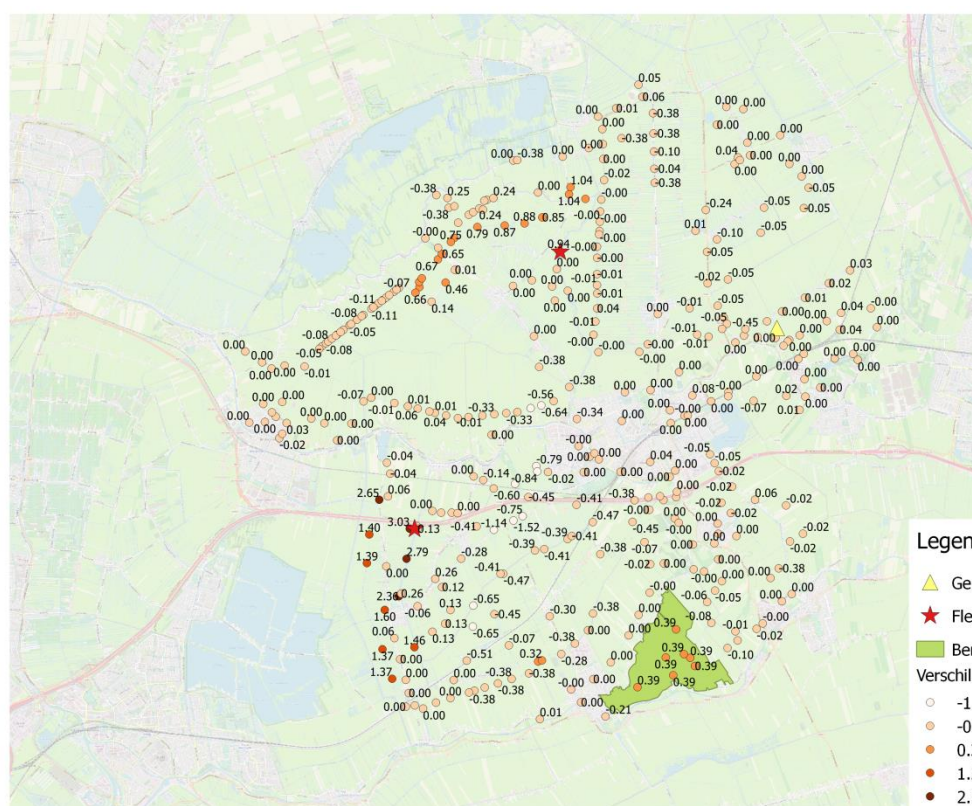
Verskil
maatgeven
de duur
scenario
1A



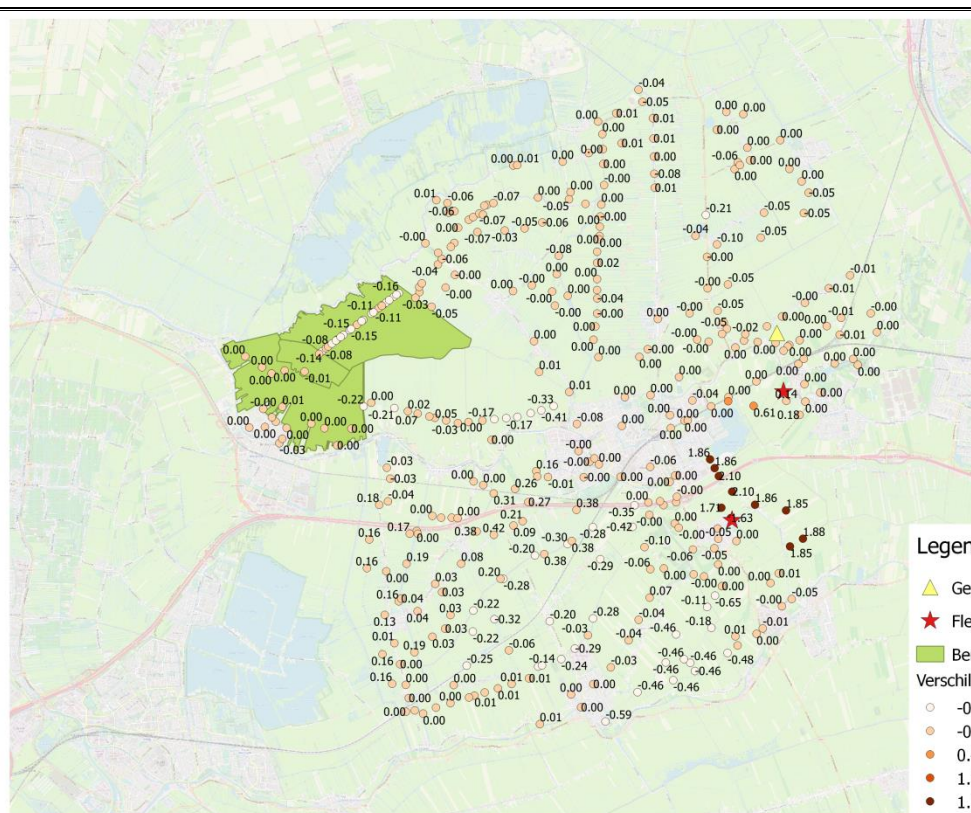
Vershil
maatgeven
de duur
scenario
1B



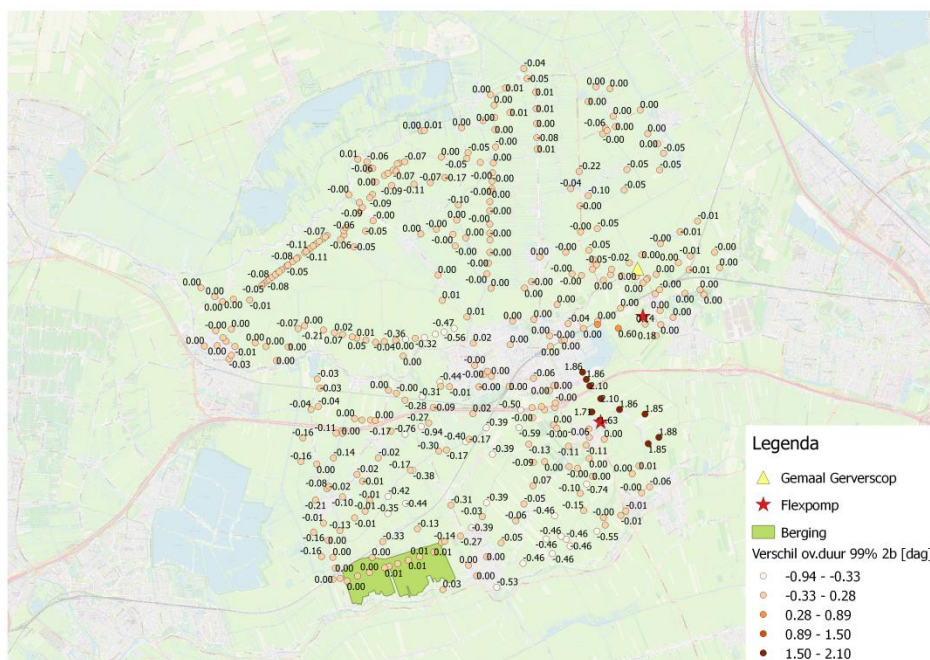
Vershil
maatgeven
de duur
scenario
1C



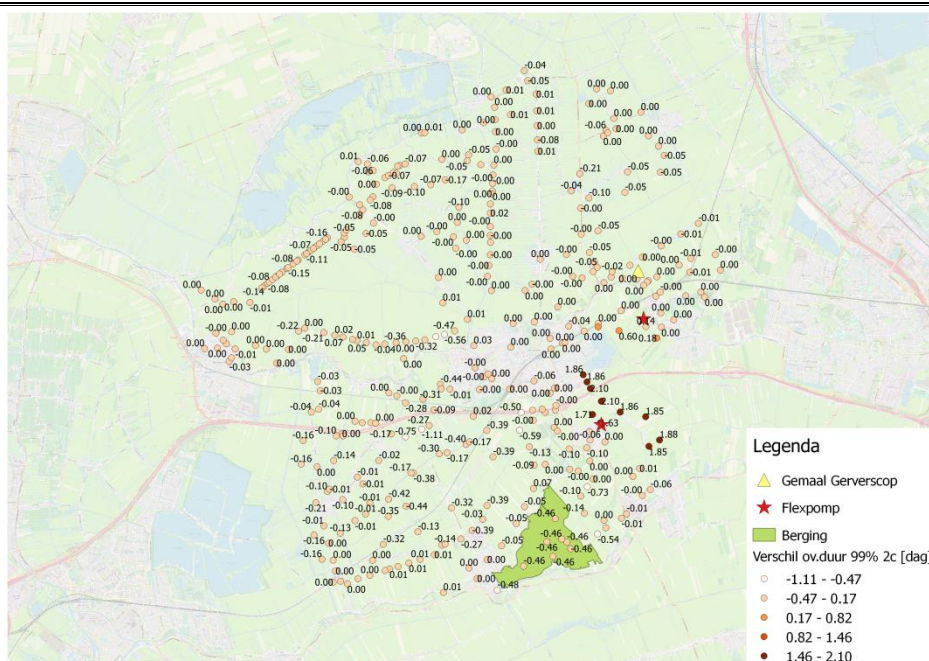
Vershil
maatgeven
de duur
scenario
2A



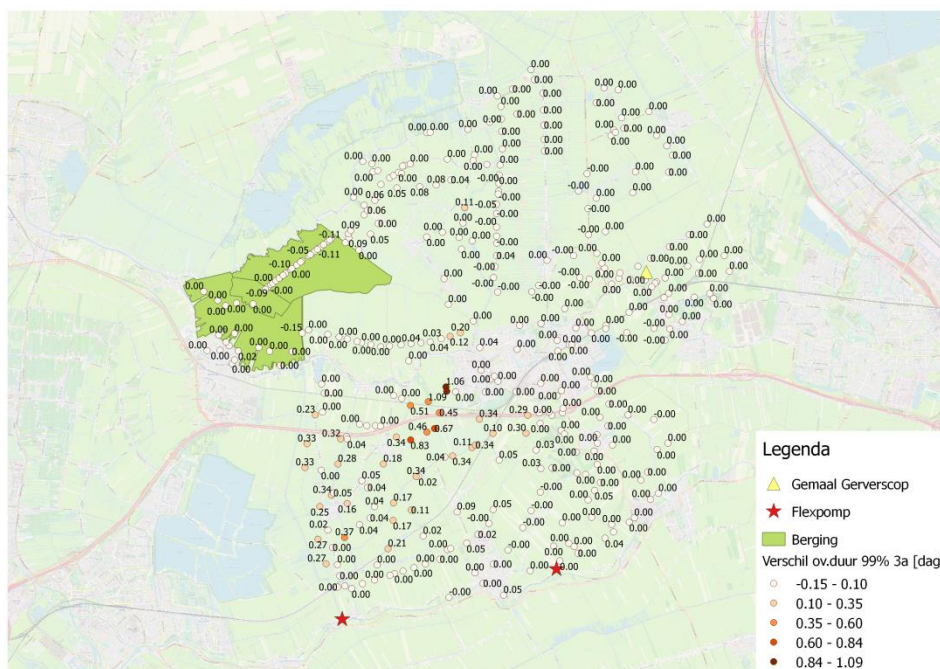
Vershil
maatgeven
de duur
scenario
2B



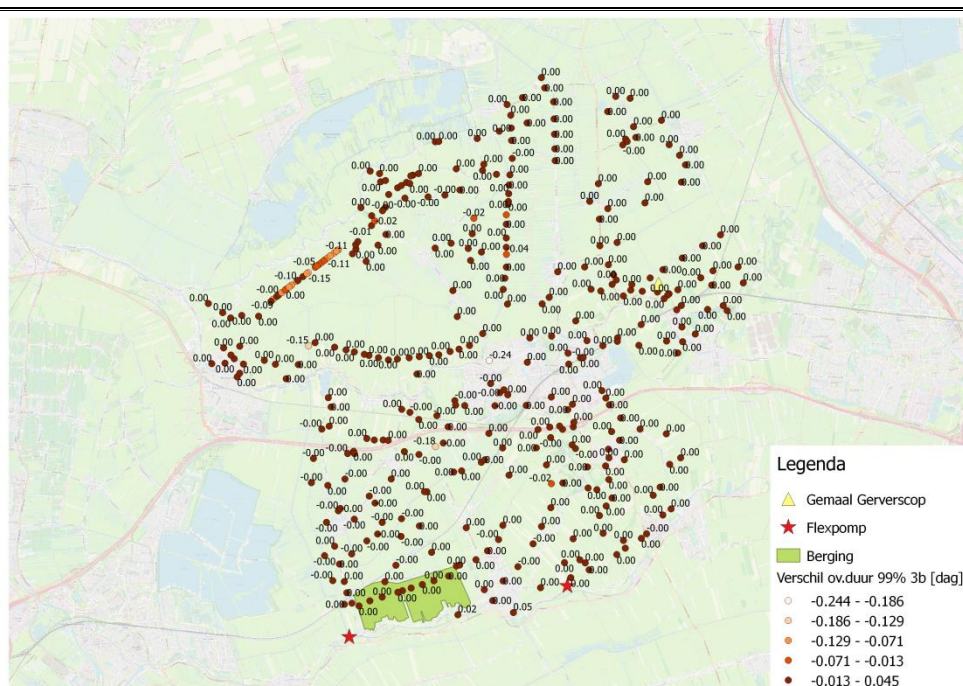
Verskil
maatgeven
de duur
scenario
2C



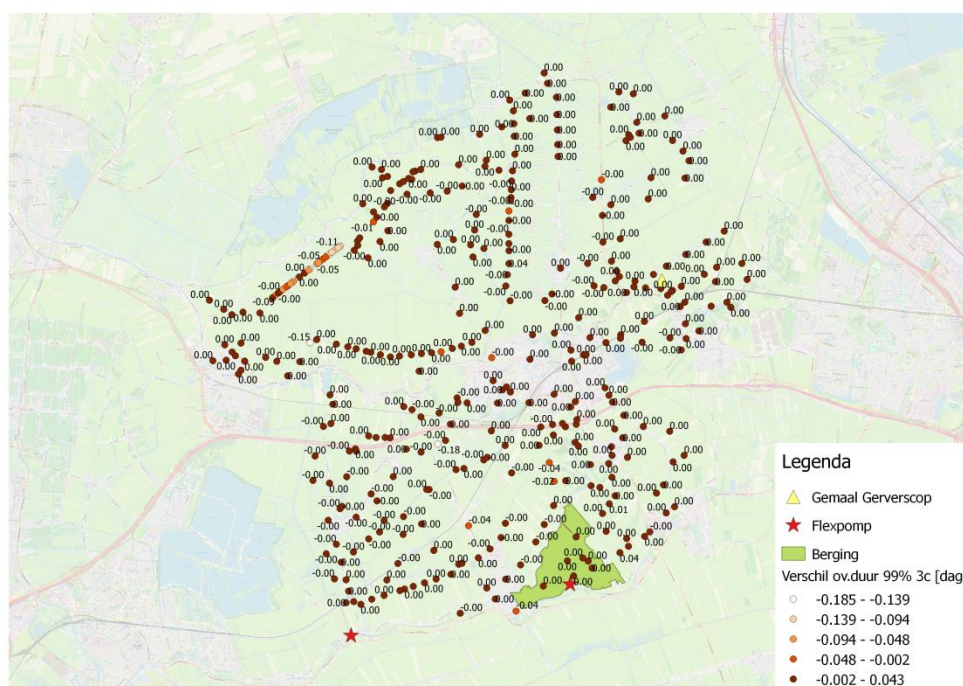
Verskil
maatgeven
de duur
scenario
3A



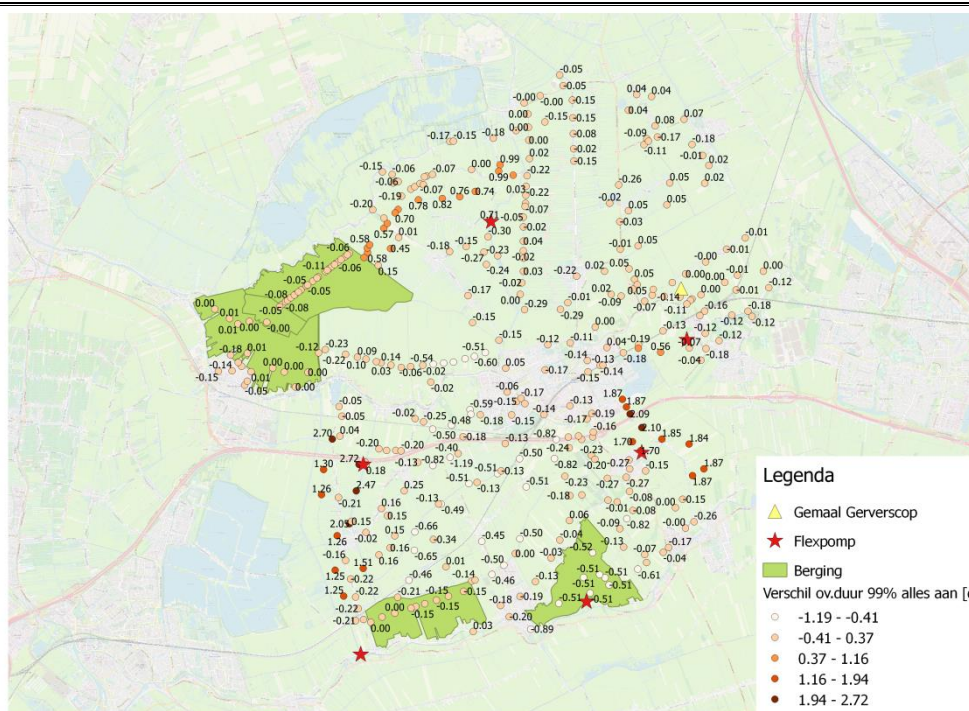
Verskil
maatgeven
de duur
scenario
3B



Verskil
maatgeven
de duur
scenario
3C



Vershil
maatgeven
de duur
scenario
alles aan



D Bijlage: Risicoverdeling per bedrijfswaarde



Overzicht risicoverdeling per bedrijfswaarde uitgesplitst

E Bijlage : Risicomatrix bedrijfswaarden met risicogetallen

Imago	Bedrijfswaarden			Kans	Effect	≤ 1 x / 100 jaar	> 1 / 100 jaar	> 1 / 10 jaar	> 1 / jaar	> 10 / jaar	> 100 / jaar
	Veiligheid	Financieel	Milieu / ecologisch								
Negatieve nationale media aandacht	Dode of zwaar letsel	> €1.000.000	Landbouw en onomkeerbare schade aan het milieu, flora, fauna, (mest op het land, van privé eigendommen dode dieren)	5	Rampzelig	10.000	100.000	1.000.000	10.000.000	100.000.000	1.000.000.000
Negatieve lokale media aandacht	Bepaalde inzet hulpdiensten	€100.000 - €1.000.000	Langdurige schade aan het milieu, flora en fauna. Mogelijkheid tot herstel	4	Ernstig	1.000	10.000	100.000	1.000.000	10.000.000	100.000.000
≥ 10 klachten van omwonenden en/of ontevredenheid van medewerkers	Langere wachttijden (> 1 uur)	€50.000-€100.000	Kortdurige schade aan het milieu, flora en fauna (honderden dode vissen)	3	Groot	100	1.000	10.000	100.000	1.000.000	10.000.000
< 10 klachten van omwonenden en/of ontevreden medewerkers	Langere wachttijden (<= 1 uur)	€10.000-€50.000	Kortdurige schade aan het milieu, flora en fauna (tientallen dode vissen)	2	Matig	10	100	1.000	10.000	100.000	1.000.000
Geen effect op imago	Geen effect op veiligheid	tot €10.000	Geen effect op milieu / ecologie	1	Klein	1	10	100	1.000	10.000	100.000

F Bijlage: Logboek modellering

MEMO

Van: HKV, Susanne Groot en Dorien Honingh
Datum: voorjaar 2019voorjaar 2019
Projectnummer: PR3320.30.02PR3320.30.02
Onderwerp: Logboek modellering

1 Basis

Model: Winter.lit uit PR36980.20.

Met aanpassingen door Hydrologic (4 bestanden) aangeleverd aan HKV voor de boezemstudie HDSR (PR3879.10).

Sobek versie 2.15.002.

Wind op 0 m/s gezet.

Model rekent. Model is erg groot en traag.

2 Aanpassingen

2.1 Opnemen bergingsgebieden

Maaiveldcurves

Op basis van shape bergingsgebieden die is aangeleverd door Deltares (20 februari) maaiveldcurves per gebied gemaakt. Drie van de gebieden (Noordzijderpolder, Meije (hoog) en Meijepolder) fungeren als één bergingsgebied (ze hebben één inlaatlocatie). Van deze drie gebieden zijn de maaiveldcurves samengevoegd.

Inlaten

De bergingsgebieden worden gevuld door middel van pompen. De locaties van de pompen is gegeven in de shape inlaatlocaties_bergingsgebieden_HDSR (Deltares 20 februari).

In Sobek

Noordzijderpolder.

Poldergemaal G4047, Noordzijderpolder gaat uit bij boezemwaterstand NAP-0,33 m. Op dit niveau wordt berging dus ingezet.

- Lateral node id 10. Hierin maaiveldcurve opgenomen.
- Meetlocatie in bergingsgebied id 89
- Culvert id 90. Deze sluit als waterstand in bergingsgebied hoger wordt dan NAP-1,03 m (waterdiepte tov mediaan > 1 m). Standaard profiel (3 m breed en 2 m hoog) en bodemhoogte als dwarsprofiel (NAP-1,5 m). Controller maxwaterdiepte_NZP.
- Gemaal id 87. Gaat aan bij boezempeil NAP-0,37 (ingang maalstoppeil boezem) en uit bij -0,39 m. Capaciteit als flexpompen 0,5 m³/s.
- Dwarsprofiel ID 17, zelfde als bij poldergemaal DWP_BR00002325; YZ profiel DWP_BR00002325 ruwheid BB 33.
- Culvert id 91 bij poldergemaal. Deze sluit als er water het bergingsgebied instroomt, om te zorgen dat poldergemaal dan uit gaat. Zelfde profiel en bodemhoogte als duiker D4256 bij poldergemaal (3,5 m breed en 1,8 m hoog en bodh NAP-1,82 m). Controller NZP_poldergemaal_uit. Stuurt op meetlocatie 90.

(id's van nodes veranderen is te traag omdat het model zo groot is. Daarom geen herkenbare id's gegeven).

Groot Hekendorp.

Poldergemaal G2024, Groot Hekendorp gaat uit bij boezemwaterstand NAP-0,25 m. Op dit niveau wordt berging dus ingezet.

- Rekenpunt C_Boezemmdl_GHIJ_19_5 omgezet naar connection node (split reach at node) en hier lateraal op aangesloten.
- Lateral node id 97. Hierin maaiveldcurve opgenomen.
- Meetlocatie in bergingsgebied id 96.
- Culvert id 100. Deze sluit als waterstand in bergingsgebied hoger wordt dan NAP-0,56 m (waterdiepte tov mediaan > 1 m). 3 m breed en 2 m hoog, zelfde bodemhoogte watergang bij poldergemaal (W-BR00004644_1234; NAP-3,00 m). Controller maxwaterdiepte_GHD.
- Dwarsprofiel ID 98, zelfde als bij poldergemaal W-BR00004644_1234; YZ profiel W-BR00004644_1234, ruwheid BB 33.
- Gemaal id 99. Gaat aan bij boezempeil NAP-0,3 en uit bij -0,32 m (ingang maalstoppeil boezem). Capaciteit als flexpompen 0,5 m³/s.
- Duiker id 102 bij poldergemaal. Deze heeft een valve die sluit als er water het bergingsgebied instroomt, om te zorgen dat poldergemaal dan uit gaat. Zelfde profiel en bodh passend bij omgeving (6 m breed en 2 m hoog en bodh NAP-3,00 m). Controller GHD_poldergemaal_uit. Stuurt op meetlocatie 96.
- Duiker id D_RPS_234 in waterloop aan noordkant (bij stuw ST6502) valve en sturing gegeven. Deze sluit als er water het bergingsgebied instroomt, om te zorgen dat er geen water wegstroomt naar een ander peilvak. Controller GHD_watergang_dicht. Stuurt op meetlocatie 96.

Snelrewaard

Poldergemaal G0065, WAARDSEDIJK gaat uit bij een boezemwaterstand van NAP+0,85 m.

- Lateral node id =103. Hierin maaiveldcurve opgenomen.
- Gemaal id 105. Gaat aan bij boezempeil NAP+0,8 en uit bij 0,78 m (maalstoppeil Waardsedijk). Capaciteit als flexpompen 0,5 m³/s.

- Dwarsprofiel ID 106, zelfde als bij poldergemaal W-H073692; trapezium P03_Default (287), ruwheid BB 33.
- Meetlocatie in bergingsgebied id 109.
- Culvert id 108. Deze sluit als waterstand in bergingsgebied hoger wordt dan NAP-0,42 m (waterdiepte tov mediaan > 1 m). 6 m breed en 2 m hoog, beetje passend bij dwarsprofiel. Bodh NAP-4 m). Controller maxwaterdiepte_SW.
- Culvert id 112 bij poldergemaal. Deze sluit als er water het bergingsgebied instroomt, om te zorgen dat poldergemaal dan uit gaat. Zelfde profiel en bodemhoogte als duiker 108 bij en bodh NAP-4. Controller SW_poldergemaal_uit. Stuur op meetlocatie 109.

2.2 Opnemen flexpompen

19, G0665 WAARDESEDIJK

Parallele watergang opgenomen langs gemaal, met exact zelfde kunstwerk en dwarsprofiel als gemaal-watergang.

- ID flexpomp: 115
- Capaciteit 0,5 m³/s. Gaat aan 5 cm boven bij tweede inzetniveau poldergemaal bij NAP-1,96 m en uit bij NAP-2,06 (tweede inzetniveau is NAP-2,01 m en uit bij NAP-2,11 m, eerste inzetniveau poldergemaal is NAP-2,06 en -2,16 m).
- maalstop opgenomen bij flexpomp: controller Waardse Dijk flexpomp, measurement station MS_G4066, water level 0.8 → 0,5 m³/s; 0.85 → 0 m³/s
- Dwarsprofielen id 117 en 118; P03_Default (287), bedlevel -4
- Duiker id 119; bodh -4, met valve, 6 m breed en 2 m hoog; controller SW_flexgemaal_uit, meetpunt 109, dicht bij wl NAP-4 m.

185, G4053 ZEGVELD

Op rekenpunt C_BR00005007_s2 reach gesplit en flexpomp in parallelle watergang opgenomen.

- ID flexpomp: 124
- Capaciteit 0,5 m³/s. Gaat aan 2 cm boven twee inzetniveau poldergemaal bij NAP-2,42 en uit bij NAP-2,51 (twee inzetniveau poldergemaal: NAP -2.44 en uit bij -2.53; eerste inzetniveau poldergemaal NAP-2,46 m en uit bij NAP-2,55 m).
- Maalstop dmv controller: G4053 flexpomp, meetpunt MS_G4053; wl -0.15 → 0,5 m³/s; wl -0.1 → 0 m³/s.
- Dwarsprofiel id 123; YZ profiel DWP_BR00005007

74, G4058 RAPIJNEN

Op rekenpunt C_BR00004657_s3 reach gesplit en flexpomp in parallelle watergang opgenomen.

- ID flexpomp: 122
- Capaciteit 0,5 m³/s. Gaat aan bij NAP-1,83 en uit bij NAP-1,95 (5 cm boven inzetniveau poldergemaal van NAP-1,88 m en uit bij NAP-2,00 m).
- Maalstop dmv controller: G4058 flexpomp, meetpunt MS_G4058; wl -0.1 → 0,5 m³/s; wl -0.05 → 0 m³/s.
- Dwarsprofielen id 120 en 121; YZ profiel W-BR00002176_816 ruwheid BB33 (standaard)

200, G4056 HAANWIJK

Op rekenpunt C_BR00001202_s2 reach gesplitst en flexpomp in parallelle watergang opgenomen.

- ID flexpomp: 126
- Capaciteit 0,5 m³/s. Gaat aan bij NAP-1,94 en uit bij NAP-2,03 (2 cm boven tweede inzetniveau poldergemaal van NAP-1,97 m en uit bij NAP-2,06; tweede inzetniveau -1,96 en -2,05).
- Maalstop dmv controller: G4056 flexpomp, meetpunt MS_G4056; wl -0.18 → 0,5 m³/s; wl -0.14 → 0 m³/s.
- Dwarsprofielen id 127 en 128; YZ profiel N-BR00001202_497

LOS1 EW naar GHIJ

Tussen Boezemmdl_GHIJ_2 en Boezemmdl_GHIJ_1 reach getrokken, daar pomp in.

- ID flexpomp: 134
- Capaciteit 4 m³/s. Gaat aan 5 cm voor maalstopniveau -0.25, dus op NAP -0.3 m. Uit bij NAP -0.35 m.
- Maalstop dmv controller: EW_GHIJ flexpomp, meetpunt MS_G3025; wl 0.8 → 4 m³/s; wl 0.85 → 0 m³/s.
- Dwarsprofielen id 132 en 133; YZ profiel P01_y-z tableBR4360_0

LOS 2 Lange Weide naar DW

Tussen lat_PG0268-04 en lat_PG0714-02 reach getrokken, daar pomp in.

- ID flexpomp: 130
- Capaciteit 0,5 m³/s. Gaat aan bij NAP-2,39 en uit bij NAP-2,46 (2 cm boven tweede inzetniveau poldergemaal G5004, Lange Weide van NAP-2,42 m en uit bij NAP-2,50; tweede inzetniveau -2,41 en -2,48).
- Maalstop dmv controller: G5004 flexpomp, meetpunt MS_G5004; wl -0.3 → 0,5 m³/s; wl -0.25 → 0 m³/s.
- Dwarsprofiel id 129; YZ profiel W-BR00005075_1292

3 Verbetering aanpassingen

- Bergingsgebieden staan initieel al vol --> profielhoogtes aanpassen.
- Sturing als berging vol is aanpassen, niet op culvert maar op gemaal om rare waterstanden tussen culvert en gemaal te voorkomen. Culvert kan niet verwijderd worden uit schematisatie omdat deze schematisatie al is verwerk voor PTK door Deltares.

Aanpassingen Noordzijderpolder

- Dwarsprofiel ID 17, cross section level shift van 2.25m (zodat de polder niet vol staat door de initiële waterstand).
- Culvert id 90. Controller weg. Invert level NAP-3.7m
- Gemaal id 87. Controller toegevoegd → water level -1.05 → 0,5 m³/s; -1.03 → 0 m³/s Capaciteit als flexpompen 0,5 m³/s. Controller: nzp_gemaal_uit. Meetlocatie 89.
- Culvert id 91 bij poldergemaal. Aangepast vanwege error → Invert level NAP-3.3

Aanpassingen Snelrewaard

- Gemaal id 105. Controller toegevoegd → water level -0.44 → 0,5 m³/s; -0.42 → 0 m³/s. Controller: gemaal_snelrewaard_uit, meetloc 109
- Dwarsprofiel ID 106, bed level NAP-3.0 m, surface level NAP-1.0 m (zodat de initiële waterstand in het bergingsgebied niet te hoog is).
- Culvert id 108 Bodh NAP-3 m). Controller weggehaald door valve uitklikken.

Aanpassingen Groot Hekendorp.

- Rekenpunt C_Boezemmdl_GHIJ_19_5 omgezet naar connection node (split reach at node) en hier lateraal op aangesloten.
- Lateral node id 97. Hierin maaiveldcurve opgenomen.
- Culvert id 100. Controller weggehaald.
- Gemaal id 99. Controller toegevoegd, water level -0.58 → 0,5 m³/s; -0.56 → 0 m³/s. Controller: gemaal_GHekendorp_uit. Meetlocatie id 96

Node DWP_BR00002325 → cross-section W-BR00000280_8 (zodat gekke sprong met negatieve diepte als gevolg eruit is)

Duiker met node id D4256 → invert level NAP-3.3m (zelfde reden)

Connection node

Boezemmdl_GHIJ_87 → NAP+0.2m i.p.v. NAP+1.0m

Boezemmdl_236 → NAP-0.64m

Cases met aanduiding van de bijbehorende locaties:

case	Geen pompe n aan	Zegveld : 124 Lange Weide: 130	Haanwijk : 126 Rapijnen: 122	Waardsedijk : 115 FW: 134	Noordzijderpolde r Gemaal 87	Groot- Hekendor p Gemaal 99	Snelrewaard -west Gemaal 105
ref	x						
Alles aan		x	x	x	x	x	x
1a		x			x		
1b		x				x	
1c		x					x
2a			x		x		
2b			x			x	
2c			x				x
3a				x	x		
3b				x		x	
3c				x			x

4 PTK

Orginele Sobek case van Deltares gebruikt. Hierin aangepast:

- Per case:
 - Struct.def
 - Struc.dat
 - Control.def
- Eenmalig voor alle cases:
 - Profile.dat
 - Profile.def
 - Boundary.dat
 - Input.xml:
 - Controller id 108, 100, 90 vervangen door id 87, 105,99
 - Zie voor uitleg bovenstaande omschrijving over weghalen controllers bij culverts + toevoegen controllers gemalen