

Opdrachtgevers:
**Rijkswaterstaat,
Hoogheemraadschap van Rijnland,
Waternet / Waterschap Amstel, Gooi en Vecht,
Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en
Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden**

Slim Watermanagement

Faalkansanalyse Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal
bij wateroverlast
Hoofdrapport

HydroLogic



Opdrachtgevers:
Rijkswaterstaat
Hoogheemraadschap van Rijnland,
Waternet / Waterschap Amstel, Gooi en Vecht,
Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en
Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Slim Watermanagement

Faalkansanalyse Noorzeekanaal/Amsterdam Rijnkanaal
bij wateroverlast
Hoofdrapport

*Hydro***Logic**



Auteurs

C. Vermeulen
R. Versteeg
M. van den Brink

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding en achtergrond	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Beschrijving gebied	2
1.4	Werkwijze	3
1.5	Leeswijzer	3
2	Faalkansanalyse Noordzeekanaal / Amsterdam-Rijnkanaal bij wateroverlast	5
2.1	Waterstanden Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal	5
2.2	Waterstanden op de boezem Amstel, Gooi en Vecht	7
2.3	Klimaat effecten	9
2.4	Effecten op waterkeringen	10
3	Slim Watermanagement	13
3.1	Inleiding	13
3.2	Beoordelingscriteria	13
3.3	Slim Watermanagement strategieën	15
3.3.1	Quick wins in verkleinen faalkans en herstelduur IJmuiden	16
3.3.2	Voormalen Noordzeekanaal en maximaal afvoeren naar Markermeer	18
3.3.3	Maximaal anticiperen	21
3.3.4	Regionaal maatwerk	22
4	Conclusies en aanbevelingen	27
4.1	Conclusies	27
4.1.1	Faalkansanalyse	27
4.1.2	Slim Watermanagement	29
4.2	Aanbevelingen	30
4.2.1	Faalkansanalyse	30
4.2.2	Slim Watermanagement	31

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en achtergrond

Slim Watermanagement is onderdeel van het Deltaprogramma Zoetwater en heeft tot doel om watertekort en wateroverlast te verminderen door de beschikbare capaciteit van het Nederlandse watersysteem beter en duurzamer te benutten. Het is een optimalisatie van het operationele waterbeheer waarbij vaak een transitie noodzakelijk is van verantwoordelijkheid in het eigen beheergebied naar een gezamenlijke verantwoordelijkheid over beheergebieden heen.

De regio Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal (Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal) is één van de zes regio's die in het kader van het programma Slim Watermanagement is benoemd. De hoogheemraadschappen Stichtse Rijnlanden, Rijnland, Hollands Noorderkwartier, het waterschap Amstel, Gooi en Vecht (Waternet) en Rijkswaterstaat werken in deze regio samen aan de uitwerking en implementatie van Slim Watermanagement.

Als onderdeel van deze uitwerking is inzicht nodig in 'de grenzen' van het huidige watersysteem bij wateroverlastsituaties: onder welke omstandigheden is de afvoer- of bergingscapaciteit ontoereikend en ontstaat wateroverlast en/of schade? Daarbij is ook relevant wat, in kader van Slim Watermanagement, gedaan kan worden om die grenzen op te rekken: is er optimalisatie mogelijk in het beheer, bijvoorbeeld door onderlinge samenwerking, of door meer en beter gebruik te maken van weersverwachtingen? Deze studie geeft op hoofdlijnen antwoord op deze vragen.

1.2 Doelstelling

De doelen van de uitgevoerde studie zijn:

1. Het vergroten van het inzicht in de werking van het watersysteem onder extreem natte omstandigheden, door overschrijdingskansen of herhalingstijden te berekenen voor kritieke waterstanden. Deze waterstand-kansrelaties worden bepaald voor zowel de huidige als toekomstige situaties voor zowel het Noordzeekanaal, het Amsterdam-Rijnkanaal als voor tien locaties op de boezem van het waterschap Amstel, Gooi en Vecht. Dit inzicht in de kans op hoge waterstanden is nodig om het effect van (Slim Watermanagement) maatregelen te kwantificeren en af te wegen op basis van berekende risico's;
2. Het kwantificeren van de effecten van een aantal Slim Watermanagement maatregelen, waarmee inzichtelijk wordt welke aanpassingen in het operationeel beheer in het gebied effectief kunnen zijn om, nu en in de toekomst, slimmer of beter te anticiperen op (bijna)wateroverlastsituaties over de beheergrenzen van de waterbeheerders heen.

1.3 Beschrijving gebied

Het boezemsysteem van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal wordt gevormd door de onderstaande watersystemen (zie Figuur 2).

- Amsterdam-Rijnkanaal (excl. het Betuwepand);
- Lekkanaal;
- Boezem van Amstel, Gooi en Vecht;
- Stadswateren van Amsterdam;
- Het IJ;
- Noordzeekanaal met de aangrenzende havens.

Deze watersystemen staan onder normale omstandigheden in open verbinding met elkaar. De gemiddelde waterstanden van deze waterlopen worden bepaald door het beheer op het Noordzeekanaal waar een streefpeil van NAP-0,40 m wordt gehanteerd.



Figuur 1: Overzicht watersysteem Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal met de belangrijkste kunstwerken.

In Figuur 1 zijn ook de kunstwerken aangegeven, met uitzondering van de waterkeringen tussen de Amstellandboezem en het Amsterdam-Rijnkanaal.

De hoogheemraadschappen Stichtse Rijnlanden, Rijnland, Hollands Noorderkwartier en het waterschap Amstel, Gooi en Vecht (Waternet) voeren water af naar en/of onttrekken water aan het Amsterdam-Rijnkanaal en het Noordzeekanaal om het waterbeheer in hun gebieden doelmatig te kunnen uitvoeren.

1.4 Werkwijze

Voor het bepalen van de kans op hoge waterstanden op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal en de aanliggende boezem van Amstel, Gooi en Vecht is gebruik gemaakt van een rekeninstrument dat in hoofdzaak bestaat uit twee onderdelen: DEZY en SOBEK.

- DEZY is een probabilistisch model waarmee de waterstand-kansrelaties van de gemiddelde waterstand op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal worden berekend. Dit houdt in dat het model niet probeert de waterbeweging in detail exact te beschrijven, maar juist de nadruk legt op de bepaling van de kans van voorkomen van de situaties die wateroverlast veroorzaken, als gevolg van combinaties van neerslag, buitenwaterstand, aanvoer, storm, en het falen van kunstwerken.
- Met het Sobek-model van de boezem van Amstel, Gooi en Vecht kan de waterbeweging in detail worden berekend. Met dit model is de variatie in de waterstand in het gebied, als invloed van de wind en de afvoer, in beeld gebracht.

Samen geven de instrumenten inzicht in te verwachten hoogwaterstanden en hun kans of herhalingstijd, rekening houdend met de relevante meteorologische en hydrologische omstandigheden, de kans op uitval van cruciale kunstwerken en de stuurmogelijkheden in het beheer van het watersysteem.

Met het rekeninstrument zijn in eerste instantie de waterstand-kansrelaties bepaald voor de huidige situatie (referentiejaar 2015) en de huidige praktijk van sturing van kunstwerken. Om goed inzicht in de werking van het watersysteem te krijgen, is een groot aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Voorbeelden zijn de invloed van neerslagspreiding (wat als het slechts in een deel van het gebied regent) en de invloed van de kans van falen van het gemeal- en spuicomplex IJmuiden op de kans op hoge waterstanden op het Noordzeekanaal.

Vervolgens zijn de waterstand-kansrelaties bepaald voor 2030, 2050 en 2085 op basis van de klimaatscenario's, zoals die zijn gepubliceerd door het KNMI (KNMI, 2015).

Voor het kwantificeren van de effecten van Slim Watermanagementmaatregelen is ook gebruik gemaakt van de hierboven beschreven aanpak met het rekeninstrument, gevoeligheidsanalyses en klimaatscenario's.

1.5 Leeswijzer

Dit rapport is de samenvatting van de resultaten van de faalkansanalyse en de uitwerking van maatregelen voor Slim Watermanagement voor het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal. De rapportage bestaat uit twee delen:

1. Hoofdrapport (dit document);
2. Technisch achtergrondrapport.

Dit hoofdrapport is de samenvatting van uitgebreide analyses naar de faalkansen van het watersysteem onder verschillende omstandigheden. Het doel van deze rapportage is de uitkomsten van de technische analyses compact en zo toegankelijk mogelijk te verwoorden, zodat de opgedane kennis zo breed mogelijk gebruikt kan worden.

De achtergronden en onderbouwing van de analyses zijn opgenomen in het Technisch Achtergrondrapport.

Na deze inleiding worden in hoofdstuk 2 de resultaten van de faalkansanalyse van het huidige watersysteem behandeld. Hierbij wordt gekeken naar zowel het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal als geheel als naar de boezem van Amstel, Gooi en Vecht waar ook hydraulische invloeden en wind een belangrijke rol spelen. De berekende faalkansen van het watersysteem worden getoetst aan de uitgangspunten voor de normering van de keringen in het watersysteem. De faalkansanalyse is uitgevoerd voor de huidige situatie (2015) en toekomstige situatie (2030, 2050 en 2085) waarin klimaatveranderingen een rol spelen. Hoofdstuk 3 is gewijd aan de effectiviteit van Slim Watermanagement strategieën. Hierin zijn een viertal strategieën doorgerekend en beoordeeld. De conclusies en aanbevelingen staan in Hoofdstuk 4.

2 Faalkansanalyse Noordzeekanaal / - Amsterdam-Rijnkanaal bij wateroverlast

Dit hoofdstuk presenteert de faalkansanalyse van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal bij wateroverlast. De faalkansen dienen als uitgangspunt voor de bepaling van de effectiviteit van Slim Watermanagement maatregelen. In paragrafen 2.1 en 2.2 komen de waterstanden voor de huidige situatie aan de orde. In de daaropvolgende paragrafen worden de klimaateffecten en de toetsing van de regionale waterkeringen besproken. De sturing van het watersysteem wordt uitgevoerd volgens de bestaande regels voor het peilbeheer.

Falen van het watersysteem

De faalkans is uitgedrukt als de kans dat een bepaalde kritische waterstand wordt bereikt of overschreden. Om deze faalkans te kunnen bepalen is per situatie en per locatie een relatie (een grafiek) opgesteld tussen de waterstand en de overschrijdingskans of herhalingstijd.

Het beheer van het watersysteem van Noordzeekanaal, Amsterdam-Rijnkanaal en de boezem van Amstel, Gooi en Vecht is zo ingericht, dat de waterstand de kritische grens van NAP+0,00 m niet mag overschrijden. Zodra dit op enig moment of op enige locatie in het watersysteem dreigt te gebeuren, wordt ingegrepen door een gedeeltelijke of gehele maalbeperking in te stellen in de beheergebieden van de waterschappen.

In deze context spreken we van 'falen van het watersysteem van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal' wanneer de waterstand van NAP+0,00 m wordt bereikt. Overigens kunnen ook de op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal afwaterende boezemsystemen zelf falen, afhankelijk van lokale boezemwaterstanden en omstandigheden, zonder dat het watersysteem van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal faalt.

2.1 Waterstanden Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal

De waterstand op het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal wordt bepaald door een groot aantal factoren (zie technisch achtergrondrapport, paragraaf 3.1), die in allerlei combinaties leiden tot waterstanden op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal met bijbehorende overschrijdingskansen of herhalingstijden. In Tabel 1 is voor een aantal waterstanden de resulterende herhalingstijd weergegeven. Ter vergelijking zijn in Tabel 1 ook de resultaten weergegeven van de vorige faalkansanalyse (HKV 1999).

Waterstand	Faalkansanalyse 2017 Herhalingstijd [jaar]	Faalkansanalyse 1999 Herhalingstijd [jaar]
NAP-0,30 m	< 1	1
NAP-0,25 m	1	6
NAP-0,20 m	5	30
NAP-0,15 m	12	37
NAP-0,10 m	25	412
NAP+0,00 m	72	> 1000

Tabel 1: Waterstanden en berekende herhalingstijden op het Noordzeekanaal. Ter vergelijking zijn de resultaten opgenomen van de faalkansanalyse uit 1999.

Uit Tabel 1 blijkt dat een gemiddelde waterstand op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal van NAP-0,20 m eens per 5 jaar wordt overschreden. Dit is de waterstand waarbij het IJ-front en ARK-front wordt gesloten en zo de Amstellandboezem en het stadswater van Amsterdam

wordt afgesloten van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal watersysteem (bron: Waterakkoord). Een waterstand van NAP+0,00 m op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal wordt eens per 72 jaar overschreden. Dit is de waterstand waarbij in overleg met de omliggende waterbeheerders een maalstop of maalbeperking naar het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal watersysteem wordt afgekondigd om verdere stijging van de waterstand te voorkomen. Verdere stijging van waterstanden wordt voorkomen om de keringen langs het Noordzeekanaal, Amsterdam-Rijnkanaal en de boezem van Amstel, Gooi en Vecht te beschermen.

Uit Tabel 1 volgt dat de nu berekende herhalingstijden, met name voor de extremere waterstanden, aanzienlijk kleiner zijn dan in 1999. De belangrijkste verklaringen hiervoor zijn:

- De gehanteerde faalkansen en hersteltijden zijn gebaseerd op recente inzichten van de kans op volledige of gedeeltelijke uitval van het spui- en maalcomplex in IJmuiden (notitie Delta Pi: bijlage HKV (2016b)). De kans op uitval van gemaal IJmuiden is in de huidige berekeningen aanmerkelijk groter dan waar in 1999 vanuit is gegaan. Ditzelfde geldt voor de hersteltijden na uitval. Uit dat rapport volgt bijvoorbeeld dat de uitval van 1 pomp van gemaal IJmuiden met een hersteltijd van 12 uur of langer negen keer per jaar voorkomt. Volledige uitval van het gemaal met een hersteltijd van 12 uur of langer komt gemiddeld bijna anderhalf keer per jaar voor. Omdat het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal watersysteem als geheel bijna volledig afhankelijk is van de afvoermogelijkheden bij IJmuiden via spuien of malen, werken de nieuwe inzichten in deze faalkans sterk door in de faalkansen voor het gehele watersysteem (zie kader);
- In de nu uitgevoerde studie is uitgegaan van het huidig klimaat (2015). Dit vertaalt zich in hogere neerslagsommen (circa 15%) en een hogere zeewaterstand ten opzichte van 1999. Ook dit heeft een ongunstig effect op de herhalingstijden van de waterstanden op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal;
- Andere autonome ontwikkelingen zoals vergroting van de totale afvoercapaciteit van de gemalen die op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal lozen. Overigens is in 1999 ook gerekend met de toenmalige capaciteit van gemaal IJmuiden van 160 m³/s.

Gevoeligheid maal- en spuicapaciteit IJmuiden

Om de gevoeligheid van het falen van het gemaal aan te geven, geven we hier een rekenvoorbeeld:

- Door hoge zeewaterstanden kan niet gespuid worden;
- De regionale systemen voeren ongeveer 15 mm/dag af naar het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal;
- Zeeburg kan met volledige capaciteit afvoeren naar het Markermeer;
- Er zijn geen andere afvoermogelijkheden naar het Markermeer.

In deze situatie:

- Als gemaal IJmuiden faalt stijgt de waterstand op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal met 60 cm per dag. Binnen 8 uur stijgt de waterstand dan van streefpeil (NAP-0,40 m) tot NAP-0,20 m, het peil waarbij het IJ-front en ARK-front gesloten moeten zijn. Zonder sluiting van de fronten wordt 8 uur later het maalstoppeil van NAP+0,00 m bereikt;
- Wanneer de volledige gemaalcapaciteit van IJmuiden wel beschikbaar zou zijn in deze situatie duurt het ruim langer dan een dag voordat NAP-0,20 m bereikt wordt.

In de huidige situatie wordt eens in de 72 jaar NAP+0,00 m bereikt. Als wordt aangenomen dat het gemaal- en spuicomplex IJmuiden nooit faalt gaat de herhalingstijd van NAP+0,00 m van de huidige 72 jaar naar ruim meer dan 2000 jaar. Dit geeft niet alleen aan dat de berekende kans op hoge waterstanden sterk gedomineerd wordt door de afvoermogelijkheden bij IJmuiden, maar ook dat de kans op hoge waterstanden zeer gevoelig is voor de faalkansen en hersteltijden.

Onder falen van het maal- en spuicomplex IJmuiden wordt verstaan dat er inzet van het maal- en spuicomplex wordt gevraagd, maar dat door onvoorziene omstandigheden niet (geheel) aan de vraag kan worden voldaan,

In de berekeningen is onderscheid gemaakt naar zomer- en wintergebeurtenissen. Daaruit is gebleken dat wintergebeurtenissen de grootste bijdrage leveren aan de kans op hoge waterstanden (ongeveer 80% van de overschrijdingskans) als we kijken naar de waterstand rond NAP-0,10 m en hoger. Bij lagere waterstanden wordt de bijdrage van de zomergebeurtenissen belangrijker en neemt toe tot 60% bij NAP-0,20 m.

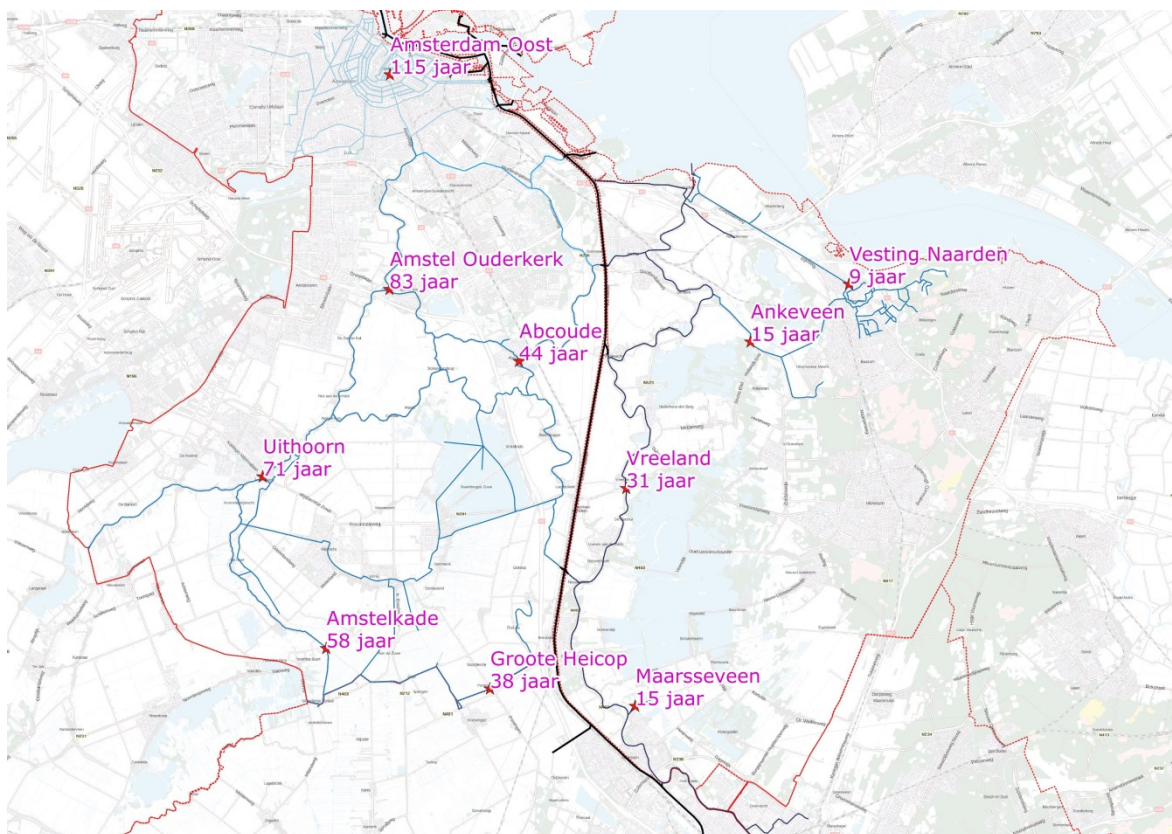
De oorzaak van de grote bijdrage van de wintergebeurtenissen op de herhalingstijd van NAP-0,10 meter en hoger is de veel grotere kans op hoge zeewaterstanden in de winter dan in de zomer en de daarbij horende kans op achtereenvolgende spuistremmingen bij IJmuiden. Zonder die spuistremmingen ontstaan nauwelijks hoge waterstanden op het Noordzeekanaal omdat in een goede spui met een capaciteit van 500 tot 600 m³/s kan worden gespuid en daarmee een groot deel van het waterbezwaar kan worden geloosd.

Concluderend: Hoge waterstanden op het Noordzeekanaal treden vooral op wanneer er langere tijd niet afgevoerd kan worden bij IJmuiden, middels spuikokers of pompen. Het spuicomplex heeft een grote afvoercapaciteit, maar is alleen inzetbaar bij lage buitenwaterstanden. De pompen hebben minder capaciteit dan de spuikokers, maar zijn langer inzetbaar.

2.2 Waterstanden op de boezem Amstel, Gooi en Vecht

Het Noordzeekanaal, het Amsterdam-Rijnkanaal en de boezem van Amstel, Gooi en Vecht staan met elkaar in open verbinding. In rust betekent dit dat de waterstand in het hele watersysteem bij benadering gelijk is. In de praktijk is dit zelden of nooit het geval door de dynamiek van het weer, de aan- en afvoersituatie en het gebruik van het watersysteem. Daarom is het zinvol om naast de herhalingstijden van de gemiddelde situatie ook te kijken naar de variatie die binnen het watersysteem ontstaat door wind en afvoer.

In Figuur 2 is de variatie binnen de boezem Amstel, Gooi en Vecht weergegeven, uitgedrukt in de berekende herhalingstijd van een waterstand van NAP+0,00 meter.



Figuur 2: De berekende gemiddelde herhalings tijden van een waterstand van NAP+0,00 m op tien locaties in het watersysteem (locaties Ankeveen en Vesting Naarden liggen op de 's Gravelandsevaart-boezem en hebben een hoger toetspeil).

In Figuur 2 is te zien dat de variatie over het boezemsysteem vrij groot is. De Amstellandboezem is, door de inzet van het IJ-front en ARK-front, beter beschermd dan de Vechtboezem, ten oosten van het Amsterdam-Rijnkanaal. De locaties Abcoude en Groote Heicop kunnen onder normale omstandigheden afvoeren via het Amsterdam-Rijnkanaal, maar lijken in extreme situaties meer last dan profijt te hebben van de afsluiting van het Amsterdam-Rijnkanaal, omdat zij daardoor een veel langere afvoerweg krijgen naar gemaal Zeeburg in Amsterdam. De locaties Vreeland en Maarsseveen zijn beide gelegen in de Vecht. De hogere waterstanden bij Maarsseveen, en dus de lagere herhalings tijd in Figuur 2, is het gevolg van opstuwung door wind of afvoer in het bovenstroomse deel van de Vecht.

In Tabel 2 is ook voor enkele andere waterstanden de variatie binnen het watersysteem weergegeven.

waterstand	NAP-0,20 m [jaar]	NAP-0,10 m [jaar]	NAP+0,00 m [jaar]
Noordzeekanaal (zie Tabel 1)	5	25	72
Amsterdam Oost	9	37	115
Amstel Ouderkerk	5	27	83
Abcoude	2	12	44
Uithoorn	3	22	71
Amstelkade	2	17	58
Groote Heicop	1	10	38
Vreeland	1	7	31

waterstand	NAP-0,20 m [jaar]	NAP-0,10 m [jaar]	NAP+0,00 m [jaar]
Maarsseveen	1	3	15
Ankeveen	1	3	15
Vesting Naarden	1	2	9

Tabel 2: Waterstanden en berekende herhalingstijden in het beheergebied van Amstel, Gooi en Vecht. Ter vergelijking zijn de herhalingstijden van het Noordzeekanaal opgenomen (locaties Ankeveen en Vesting Naarden liggen op de 's Gravelandsevaartboezem en hebben een hoger toetspeil).

Zoals gesteld treedt er variatie op binnen het watersysteem Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal. Met de uitgangspunten van deze studie, de NAP+0,00 m grens van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal en het boezemmodel van Amstel, Gooi en Vecht ontstaat een onderschatting van het falen van het watersysteem van de Stichtse Rijnlanden. De Leidse Rijn, onderdeel van de boezem van de Stichtse Rijnlanden, staat in open verbinding met het Amsterdam-Rijnkanaal. Hier zijn de waterstanden in een afvoersituatie structureel hoger dan op de locatie Groote Heijcop (gemiddeld 6 cm in afvoersituatie) en treedt een maalstop dus eerder op. De herhalingstijd van NAP op de Leidse Rijn Hiermee is daarom kleiner dan in bovenstaand overzicht voor Groote Heijcop.

2.3 Klimaat effecten

Voor de berekeningen hebben we van alle vier de klimaatscenario's (Gl, Gh, Wl en Wh) de centrale schattingen zoals beschikbaar gesteld door de STOWA (2015) doorgerekend voor zowel het klimaat rond 2050 als 2085. Voor het klimaat rond 2030 is in de KNMI'14 scenario's geen onderscheid gemaakt in verschillende toekomstbeelden (dus geen Gl, Gh, Wl en Wh) en is daarom enkel de centrale schatting doorgerekend. Zowel de toegenomen kans op extreme neerslag als de zeespiegelstijging is in de berekeningen verwerkt.

In deze toekomstscenario's zijn wijzigingen in het beheersgebied (bodemdaling, veranderend bodemgebruik of infrastructurele wijzigingen) niet meegenomen: er is uitsluitend gekeken naar de effecten van klimaatverandering ten opzichte van de huidige situatie, uitgaande van de bestaande beheermiddelen en -regels.

In Tabel 3 zijn de resultaten van de berekeningen samengevat. Voor 2050 en 2085 is de bandbreedte weergegeven als minimum en maximum van de vier scenario's Gl, Gh, Wl en Wh. Een belangrijke conclusie uit de analyse van de berekeningen met de klimaatscenario's is dat de zeespiegelstijging de grootste bijdrage geeft in de kans op hoge waterstanden.

Klimaat	2015	2030	2050	2085
Waterstand	Herhalingstijd [jaar]			
NAP-0,20 m	5	3	2-3	2-3
NAP-0,10 m	25	17	9-14	5-9
NAP+0,00 m	72	50	24-39	10-20

Tabel 3: Waterstanden en berekende herhalingstijden op het Noordzeekanaal voor de klimaatscenario's.

In Tabel 4 zijn de herhalingstijden en het klimaateffect weergegeven voor de tien locaties op de boezem van Amstel, Gooi en Vecht.

Locatie	2015 Herhalingstijd [jaar]	2030 Herhalingstijd [jaar]	2050 Herhalingstijd [jaar]	2085 Herhalingstijd [jaar]
Amsterdam Oost	115	64	24 – 64	8 – 27
Amstel Ouderkerk	83	50	20 – 49	7 – 22
Abcoude	44	28	12 – 28	5 – 14
Uithoorn	71	42	17 – 43	7 – 20
Amstelkade	58	35	15 – 36	6 – 17
Groote Heicop	38	25	11 – 25	5 – 13
Vreeland	31	21	11 – 19	5 – 11
Maarsseveen	15	10	6 – 9	3 – 6
Ankeveen	15	10	6 – 9	3 – 6
Vesting Naarden	9	6	4 – 6	2 – 4

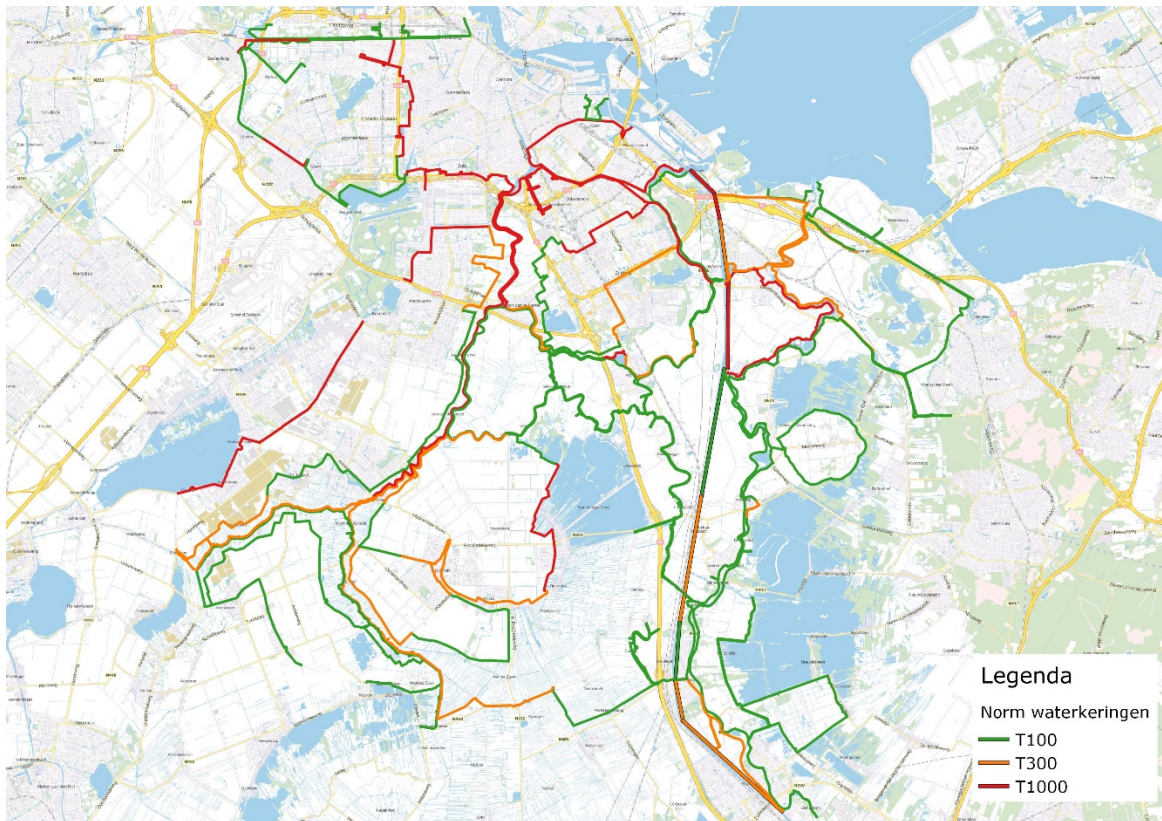
Tabel 4: Berekende herhalingstijden voor een waterstand van NAP+ 0,00 m voor de locaties in de boezem van Amstel, Gooi en Vecht voor de klimaatscenario's.

Als gevolg van de klimaatverandering nemen in de meeste gevallen de waterstandsverschillen op de boezem van AGV toe. Dit wordt veroorzaakt door een toename van de neerslagintensiteit.

2.4 Effecten op waterkeringen

Voor alle boezemkades in het gebied van Amstel, Gooi en Vecht en voor alle regionale waterkeringen langs het Amsterdam-Rijnkanaal is de maatgevende waterstand NAP+0,00 m. Zoals eerder toegelicht wordt door het instellen van een maalbeperving voorkomen dat de waterstand boven deze kritische grens uitstijgt. De in Figuur 2 op pagina 8 weergegeven herhalingstijden voor een waterstand van NAP+0,00 m geven daarbij aan hoe vaak deze bovengrens in de huidige situatie op verschillende locaties bereikt wordt.

De regionale waterkeringen langs het Amsterdam-Rijnkanaal en de boezem van AGV zijn genormeerd volgens de gangbare IPO-systematiek. Hierbij zijn de waterkeringen opgedeeld in (norm)klassen, al naar gelang het gewenste beschermingsniveau van het achterliggende gebied. In Figuur 3 is de normering van de regionale waterkeringen weergegeven.



Figuur 3: Norm voor de regionale keringen langs het Amsterdam-Rijnkanaal en de boezem van AGV.

Locatie	T100 (normklasse 3)	T300 (normklasse 4)	T1000 (normklasse 5)
Hydraulische randvoorwaarde	-0,05	0,00	0,00
Faalkansanalyse 2016	0,00	0,00	0,00

Tabel 5: Maatgevende waterstanden in m+NAP en de vastgestelde toetspeilen uit de hydraulische randvoorwaarden (HKV, 2014) voor de regionale keringen langs dit deel van het Amsterdam-Rijnkanaal.

In Tabel 5 zijn de berekende maximale waterstanden vergeleken, zoals toegelicht in voorgaande paragrafen, met de hydraulische randvoorwaarden voor de waterkeringen langs het Amsterdam-Rijnkanaal (uit HKV, 2014). Hieruit blijkt dat er alleen voor de keringen van normklasse 3 een verschil is ten opzichte van de hydraulische randvoorwaarden. Een vergelijking met de werkelijke hoogte van de waterkeringen –op dit moment niet bekend– moet uitwijzen of deze waterkeringen wel of niet voldoen.

3 Slim Watermanagement

3.1 Inleiding

Als vervolg op de faalkansanalyse is het ontwikkelde rekeninstrumentarium ingezet voor een verkenning naar de effectiviteit van Slim Watermanagement maatregelen. Deze verkenning is in een aantal stappen uitgevoerd. Op basis van een uit de literatuur samengestelde groslijst van maatregelen zijn door de klankbordgroep zes kansrijke individuele maatregelen geselecteerd. Deze maatregelen zijn doorgerekend en geanalyseerd. Op basis hiervan zijn vier Slim Watermanagement strategieën samengesteld. Deze worden in dit hoofdstuk beschreven.

Slim Watermanagement richt zich op het optimaliseren van het bestaande (operationele) beheer van de watersystemen. De maatregelen en daarvan afgeleide strategieën hebben dan ook als uitgangspunt het bestaande watersysteem en de bestaande stuurmiddelen daarin.

3.2 Beoordelingscriteria

De effectiviteit van de strategieën is in beeld gebracht aan de hand van een analyse van:

1. De verandering van herhalingstijd van kenmerkende waterstanden;
2. Het schaderisico;
3. Een kwalitatieve inschatting van de impact op andere gebruiksfuncties.

Deze drie aspecten worden in de volgende paragrafen toegelicht.

Verandering van herhalingstijd van kenmerkende waterstanden

Het effect van de strategieën op de waterstand in het Noordzeekanaal, het Amsterdam-Rijnkanaal en de boezem van Amstel, Gooi en Vecht is in beeld gebracht met het DEZY-Sobek instrumentarium. Als referentie is hierbij het faalkansverloop voor het winterseizoen in de huidige situatie genomen. Hierbij is het winterseizoen gekozen, omdat deze het meest bepalend is voor de statistiek van de hoge waterstanden.

Het effect op de waterstanden is in de meeste gevallen uitgedrukt als een verandering van de herhalingstijden van enkele belangrijke grenswaarden (Tabel 6).

Waterstand	Toelichting
NAP-0,30 m	Signaleringswaarde Hoogwater. Calamiteitenorganisatie worden opgeschaald als verwacht wordt dat de waterstand boven deze waarde stijgt.
NAP-0,20 m	IJ-front en ARK-front moeten gesloten zijn.
NAP+0,00 m	Inzet maalbeperking of maalstop

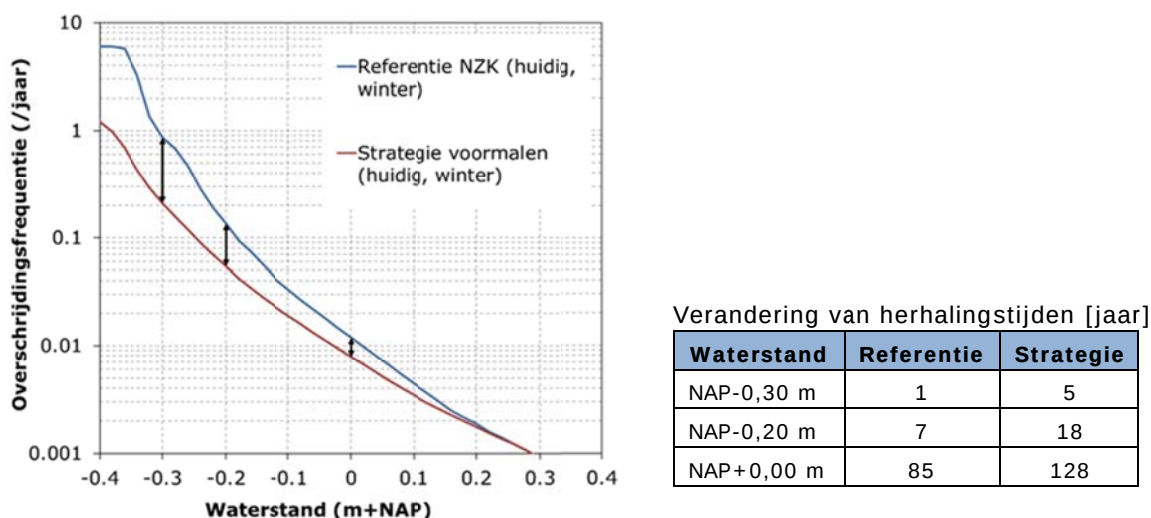
Tabel 6: Grenswaarden in de waterstanden op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal (bron: Waterakkoord).

In Figuur 4 is deze methodiek geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld. De met DEZY berekende overschrijdingsfrequenties zijn voor de drie grenswaarden omgezet naar herhalingstijden en vergeleken met de referentiesituatie.

De strategieën zijn beoordeeld ten opzichte van de referentiesituatie waarin het in waterakkoorden vastgelegde beheer is geschematiseerd. In de praktijk wordt vaak

geanticipeerd op hoogwatersituaties en wordt bijvoorbeeld al eerder begonnen met pompen dan strikt genomen noodzakelijk. Daardoor kunnen de berekende effecten beschouwd worden als een bovengrens. Zo kan het zijn dat in de praktijk al een deel van het voormalen van Figuur 4 wordt gerealiseerd.

Tegelijkertijd moet worden opgemerkt dat de berekende effecten zijn opgebouwd uit een groot aantal gebeurtenissen, waarbij het effect van een strategie in de specifieke omstandigheden van een gebeurtenis groter, maar ook kleiner kan zijn dan het gemiddelde.



Figuur 4: Illustratie van de manier waarop de verandering in faalkans voor de Slim Watermanagement strategieën in beeld is gebracht. De berekende overschrijdingsfrequenties zijn voor drie kenmerkende waterstanden uitgelezen, omgezet naar herhalingsstijden en vergeleken met de referentiesituatie.

Risico

In de beoordeling van de Slim Watermanagement strategieën wordt gekeken naar de *extra schade* in het gebied dat afwatert op het Noordzeekanaal door het opleggen van een maalbeperking op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal. In de faalkansanalyse berekenen we de maximaal optredende waterstand (zonder maalbeperking). In de praktijk betekent dit dat het volume boven NAP+0,00 m niet kan worden afgevoerd naar het Noordzeekanaal en dus in het beheergebied van de vier waterschappen moet worden vastgehouden.

Als maat voor de schade wordt aangehouden dat het volume water in polders wordt vastgehouden, waarbij aangenomen is dat polders met stedelijk gebied of hoogwaardige landbouw worden ontzien. Bij een maalbeperking op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal kan een waterschap immers tot op zekere hoogte kiezen aan welke polders een maalbeperking wordt opgelegd. Hierbij merken we op dat als een dergelijke maalstop niet wordt ingesteld en geen water in de polders wordt vastgehouden, de waterstanden op de boezem verder stijgen en ten gevolge daarvan kades worden bedreigd en kunnen bezwijken, met als gevolg dat veel grotere en oncontroleerbare schades kunnen optreden. Afhankelijk van het bedreigde gebied kunnen schades dan oplopen tot honderden miljoenen euro's.

Een maalbeperking - en daarmee de extra schade - komt slechts zelden voor. Het volume water dat moet worden vastgehouden is relatief beperkt. Kleine overschrijdingen van NAP+0,00 m komen vaker voor dan grote overschrijdingen. Eens in de honderd jaar is dit 750 duizend kubieke meter, ofwel € 2 miljoen aan extra schade. Eens in de duizend jaar moet circa 10 miljoen kubieke meter water door maalbeperkingen in de polders worden vastgehouden, overeenkomstig met € 30 miljoen aan extra schade in de polders. Dit is drie euro per kubieke meter en komt overeen met ervaringscijfers van de waterschappen.

Voor de referentiesituatie (huidige situatie, huidig klimaat, winterseizoen) bedraagt de jaarlijks verwachte schade of het schaderisico € 142.000. Dit lijkt een laag getal, maar is opgebouwd uit gebeurtenissen die vele miljoenen euro's schade opleveren – maar met een kleine kans. Bijvoorbeeld: de kans op een schade van € 7.500.000 is 1/200^{ste} per jaar. Dit levert een bijdrage aan het schaderisico van € 37.500. Een schade van € 30.000.000 heeft een herhalingsijd van 1000 jaar en levert een bijdrage aan het schaderisico van € 30.000.

In de berekening van schade is grondwaterschade niet meegenomen. Een maalbeperking treedt alleen op bij extreme neerslaggebeurtenissen waarin de watersystemen van de omliggende waterschappen maximaal belast zijn en zal geen extra grondwaterschade optreden door het instellen van de maalbeperking. Wij zijn ervan uitgegaan dat in die situaties de grondwaterstanden dusdanig hoog zijn dat de maximale grondwaterschade al optreedt door de wateroverlast zonder maalbeperking. Met andere woorden: de grondwaterschade is niet onderscheidend, de schade het opleggen van een maalbeperking levert *extra schade* op.

Kwalitatieve inschatting van de impact op andere gebruiksfuncties

Aanpassingen in het peilbeheer kunnen ook gevolgen hebben voor andere gebruiksfuncties van het watersysteem. Bijvoorbeeld beroepsscheepvaart die rekent op een bepaalde diepgang in de kanalen en kunstwerken, of rondvaartboten die juist een minimale doorvaarhoogte hebben. Daarnaast zijn ook effecten denkbaar voor waterkwaliteit.

In de beoordeling van de strategieën zijn deze aspecten kwalitatief betrokken.

3.3 Slim Watermanagement strategieën

Op basis van de verkenning van de kansrijke strategieën en de bespreking daarvan met de project- en klankbordgroep, zijn vier Slim Watermanagementstrategieën samengesteld:

1. Quick wins in verkleinen faalkans en herstelduur IJmuiden;
2. Voormalen Noordzeekanaal en maximaal afvoeren naar Markermeer;
3. Maximaal anticiperen;
4. Regionaal maatwerk.

Deze worden in de volgende paragrafen toegelicht en geanalyseerd.

3.3.1 Quick wins in verkleinen faalkans en herstelduur IJmuiden

Wat houdt de strategie in?

De faalkans van gemaal IJmuiden, met name de gebeurtenissen waarin het gemaal langdurig faalt, hebben grote invloed op de kans op hoogwaterstanden op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal. Deze strategie is gericht op het verkleinen van de kans op uitval en het beperken van de gevolgen. Concreet betekent dit:

1. Het zoeken en doorvoeren van eenvoudige verbeteringen in beheer en onderhoud waarmee de kans op uitval of de herstelduur van het gemaal IJmuiden verbetert. Voorbeelden zijn het op voorraad houden van cruciale en/of moeilijk verkrijgbare onderdelen, het intensiveren van de monitoring of het dubbel uitvoeren van 'faalgevoelige' onderdelen van de installatie;
2. Het aanscherpen van de calamiteitenprocedure ten behoeve van de inzet van noodbemaling voor Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal. Hierbij wordt vooral gedacht aan de inzet van de (bestaande) noodpompen van het ministerie van Infrastructuur en Milieu. Hierdoor wordt met name het effect van langdurige uitval gereduceerd.

Wanneer is de strategie effectief?

Het doorvoeren van eenvoudige verbeteringen in beheer en onderhoud is onder alle omstandigheden effectief. Zolang gemaal IJmuiden (volledig) beschikbaar is, is de kans op wateroverlast zeer klein.

Uit de gevoeligheidsanalyse is gebleken dat vooral uitval van gemaal IJmuiden van langer dan een week de kans op hoge waterstanden en bijbehorende schade vergroot. Door er voor te zorgen dat er binnen relatief korte tijd noodbemaling aanwezig kan zijn, wordt met name het effect van de langdurige uitval verkleind.

Wat is het te verwachten effect?

De kans op hoge waterstanden door falen van gemaal IJmuiden wordt met name bepaald door de langdurige uitval van meerdere pompen van gemaal IJmuiden. Hierbij spelen de kans op falen van de pomp én de duur dat de pomp na falen niet beschikbaar is een rol. De kans dat twee of meer pompen gedurende 24 uur of langer (oplopend tot een duur van 3 maanden) uitvallen is ongeveer 0,16 per jaar, oftewel eens per ongeveer 6 jaar. Zowel de kans op uitval als de duur van niet-beschikbaarheid kan mogelijk met relatief beperkte aanpassingen worden verkleind. Door het op voorraad hebben van enkele cruciale onderdelen kan voor een aantal faalmechanismen de hersteltijd mogelijk aanzienlijk verkort worden. Hiervoor zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd, zie Tabel 7.

Om het effect van noodbemaling te onderzoeken, zijn twee varianten doorgerekend met een grotere noodcapaciteit, respectievelijk 50 m³/s en 100 m³/s. Het effect op de faalkans is weergegeven in Tabel 7. Op dit moment beschikt het Ministerie van Infrastructuur en Milieu over een set mobiele noodpompen (20 stuks), met een gezamenlijke capaciteit van 22 m³/s¹. Als deze capaciteit relatief snel na de start van een incident volledig beschikbaar is, vergroot dat de herhalingstijd van een waterstand van NAP+0,00 m op het Noordzeekanaal van 72 jaar naar ca. 100 jaar. Hierbij wordt aangenomen dat alle 20 noodpompen beschikbaar zijn en ingezet

¹ <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/vaarwegenoverzicht/maas/aanvaring-stuwcomplex-grave/experts-aan-het-woord/de-pompenspecialist-van-rijkswaterstaat-over-stuw-grave/index.aspx>

kunnen worden. Daarbij zijn we ervan uitgegaan dat enkel bij de faalduren van een week of langer de noodbemalingscapaciteit effectief kan worden ingezet omdat de noodbemaling moet worden geoperationaliseerd.

	Herhalingstijd [jaar]	
	NAP-0,20 m	NAP+0,00 m
referentie	7	72
Variant "Halvering faalkans"	8	130
Variant "Hersteltijd max. 1 week"	8	120
Variant "Hersteltijd max. 1 dag"	8	160
Variant "Noodbemaling 22 m ³ /s"	8	100
Variant "Noodbemaling 50 m ³ /s"	8	110
Variant "Noodbemaling 100 m ³ /s"	8	125
Variant "Hersteltijd max. 1 week + noodbem. 100 m ³ /s"	8	175

Tabel 7: Verandering herhalingstijd van overschrijden van kritieke waterpeilen.

Uit Tabel 7 blijkt dat deze strategie met name effectief is in extremere situaties. Het effect op de herhalingstijd voor een waterstand van NAP-0,20 m is verwaarloosbaar. Het blijkt voor alle varianten mogelijk de herhalingstijd van NAP+0,00 m op of boven 100 jaar te brengen. Op basis van de berekende herhalingstijden lijkt het terugbrengen van de hersteltijd het meest kansrijk, ook omdat naar verwachting het verkleinen van de faalkans of het investeren in noodbemaling grote(re) kosten met zich meebrengt.

In Tabel 8 is het schaderisico weergegeven van de situatie met en zonder toepassing van deze strategie. Het verschil in jaarlijkse verwachte schade varieert tussen € 47.000,- en € 92.000,- afhankelijk van de gerealiseerde reductie van faalkans, hersteltijd of de grootte van de noodbemaling. Hiermee kan dus een aanzienlijk deel van het schaderisico van € 142.000,- worden beperkt.

	Schaderisico	Verskil met referentie
Referentie	€ 142.000,-	
Variant "Halvering faalkans"	€ 95.000,-	€ 47.000,-
Variant "Hersteltijd max. 1 week"	€ 57.000,-	€ 85.000,-
Variant "Hersteltijd max. 1 dag"	€ 50.000,-	€ 92.000,-
Variant "Noodbemaling 50 m ³ /s"	€ 75.000,-	€ 67.000,-
Variant "Hersteltijd max. 1 week en noodbemaling 100 m ³ /s"	€ 63.000,-	€ 91.000,-

Tabel 8: Maximale baten strategie Quick-wins in verkleinen faalkans en herstelduur IJmuiden.

Tegenover deze baten staan kosten. Hierbij kan gedacht worden aan:

- Afschrijving van investeringen die nodig zijn om de strategie te realiseren;
- Extra beheerkosten, bijvoorbeeld in de vorm van personele inzet, extra onderhoud;
- Schade die elders ontstaat, bijvoorbeeld hinder voor scheepvaart, verminderde onttrekkingsmogelijkheden.

Voor deze strategie zijn de volgende kostenaspecten relevant:

Kostenaspect	Omschrijving
Afschrijving	Om de faalkans of de hersteltijd te verkleinen zijn investeringen nodig ter verbetering van de installatie of voor de aanschaf van reserveonderdelen. Een eventuele uitbreiding van de noodbemalingscapaciteit vergt waarschijnlijk een aanzienlijke investering.
Beheerkosten	Meer inspecties, onderhoudsuren aan het gemaal. Vaker inzetten en extra onderhoud van noodbemaling.

Tabel 9: Kostenaspecten strategie Quick-wins in verkleinen faalkans en herstelduur IJmuiden.

Randvoorwaarden en aandachtspunten noodbemaling

Een belangrijk aandachtspunt bij het uitwerken van deze strategie is de vraag hoe snel noodbemaling aanwezig kan zijn na de start van een incident. Hierbij speelt behalve de verplaatsing- en opsteltijd van de pompen ook mee dat eerst opdracht gegeven moet worden voor het inzetten van de noodbemaling, op basis van een eerste inschatting van de hersteltijd. Bij het bepalen van de effectiviteit hebben wij ingeschat dit bij elkaar circa 2 dagen in beslag neemt².

Hierbij merken we op dat de pompen voor de noodbemaling op verschillende locaties in het beheergebied kunnen worden opgesteld, zowel richting het Markermeer, richting de Noordzee als naar de Lek.

3.3.2 Voormalen Noordzeekanaal en maximaal afvoeren naar Markermeer

Wat houdt de strategie in?

In deze strategie wordt de waterstand op het Noordzeekanaal voorafgaand aan een waterbezwaarperiode zo lang mogelijk aan de onderkant van de peilgrenzen gehandhaafd. Hierbij worden zo de spuimogelijkheden bij IJmuiden maximaal benut, wordt gemaal IJmuiden zo ingezet dat tussen de spuiperioden de waterstand op het Noordzeekanaal zo lang mogelijk rond NAP-0,50 m wordt gehouden. Daarnaast wordt gemaal Zeeburg ingezet als de waterstand op het Noordzeekanaal toch stijgt ondanks dat de volledige capaciteit van IJmuiden wordt ingezet. Ook wordt, als het verval het toelaat afgevoerd via de Oranjesluizen, Zeesluis Muiden en Ipensloter- en/of Diemerdammersluis. Daarnaast wordt de NUON energiecentrale ingezet om 8 m³/s van het Amsterdam-Rijnkanaal naar het Markermeer te pompen.

Wanneer is de strategie effectief?

Deze strategie wordt ingezet bij een verwachte stijging van de waterstanden op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal. Daarbij merken we op dat het voorspuien of voormalen en maximaal afvoeren naar het Markermeer alleen effectief is als ook daadwerkelijk op tijd wordt voorgemalen én de bemaling zo snel mogelijk met maximale capaciteit wordt ingezet om het peil zo lang mogelijk te handhaven. De effectiviteit van de strategie hangt daardoor sterk af van de voorspelbaarheid van waterbezwaarsituaties en de zeewaterstand. Als de waterstand niet op tijd wordt verlaagd is de strategie niet effectief. Dit betekent ook dat om het maximale effect van deze strategie te kunnen bereiken, gezien de onzekerheid van de voorspellingen van

² Bij wateroverlast in waterschap Hollandse Delta in 2013 waren noodpompen van het ministerie van Infrastructuur en Milieu binnen een dag operationeel (aanvraag, transport en in-bedrijfname).

neerslag (of waterbezwaar) en zeewaterstand, regelmatig zal moeten worden voorgemalen terwijl dit achteraf gezien niet nodig was.

In de praktijk moet voormalen gerealiseerd worden door tijdig te anticiperen op een mogelijke hoogwatersituatie. Het peilbeheer van het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal wordt niet gebaseerd op statische beheerregels in het waterbeheer, maar wordt dynamisch bepaald op basis van de actuele en verwachte situatie in het beheergebied.

Wat is het maximaal te verwachten effect?

De herhalingstijd van een waterstand van NAP+0,00 m op het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal kan met deze strategie worden verhoogd van 72 jaar naar 170 jaar. Als Zeeburg en de NUON centrale niet mede worden ingezet bij het voormalen wordt de herhalingstijd van NAP+0,00 m op het Noordzeekanaal circa 120 jaar.

Het IJ-front en ARK-front worden ingezet bij een waterstand van NAP-0,20 m op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal. De overschrijdingsfrequentie van deze waterstand gaat van eens per 7 jaar in de referentie naar eens per 15 jaar als de strategie wordt aangehouden. Als Zeeburg en de NUON centrale niet mede worden ingezet bij het voormalen wordt de herhalingstijd van NAP-0,20 m op het Noordzeekanaal circa 10 jaar.

Locatie	Herhalingstijd [jaar]	
	NAP-0,20 m	NAP+0,00 m
Noordzeekanaal	15 (7)	170 (72)
Groote Heicop (maatgevend Amstellandboezem)	11 (3)	80 (40)

Tabel 10: Herhalingstijden van kritieke waterpeilen voor strategie "Voormalen en maximaal anticiperen", de herhalingstijd in de referentiesituatie is tussen haakjes vermeld.

Het gemiddeld peil in de Amstellandboezem en stadswateren van Amsterdam wordt ook beïnvloed. Op basis van de relatie tussen het gemiddeld peil en de waterstand bij de Groote Heicop gaat de herhalingstijd van NAP+0,00 m bij de Groote Heicop van 40 jaar naar 80 jaar. Als Zeeburg en de NUON centrale niet mede worden ingezet bij het voormalen wordt de herhalingstijd van NAP+0,00 m op de Groote Heicop circa 50 jaar.

Naast de herhalingstijden zijn in Tabel 11 de jaarlijks verwachte schades weergegeven van de situatie met en zonder toepassing van deze strategie. Het verschil in schade wordt veroorzaakt door de kleinere kans en duur van inzet van een maalstop op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal. Het verschil in jaarlijkse verwachte schade bedraagt € 92.000.

	Jaarlijkse verwachte schade	Verskil met referentie
Referentie	€ 142.000,-	
Variant "Voormalen Noordzeekanaal en maximaal afvoeren naar Markermeer"	€ 50.000,-	€ 92.000,-
Variant "Voormalen NZ Noordzeekanaal K en maximaal afvoeren naar Markermeer" zonder Zeeburg en NUON	€ 76.000,-	€ 66.000,-

Tabel 11: Maximale baten van de strategie "Voormalen Noordzeekanaal en maximaal afvoeren naar Markermeer".

Tegenover deze baten staan kosten. Hierbij kan gedacht worden aan:

- Afschrijving van investeringen die nodig zijn om de strategie te realiseren;
- Extra beheerkosten, bijvoorbeeld in de vorm van personele inzet, extra onderhoud;
- Schade die elders ontstaat, bijvoorbeeld effecten op de waterkwaliteit Markermeer, hinder voor de scheepvaart, verminderde onttrekkingsmogelijkheden.

Voor deze strategie zijn de volgende kostenaspecten relevant:

Kostenaspect	Omschrijving
Maalkosten	Bemaling wordt vaker ingezet (zowel Zeeburg als IJmuiden als de NUON energiecentrale)*
Lager peil	Geregeld en tijdelijk de onderkant van de peilgrens handhaven kan overlast geven voor de beroepsscheepvaart
Implementatie	BOS nodig voor advies voormalen, afleiden optimale regels voor voormalen, beheerders meenemen in advisering

* Uit analyse van de berekeningen blijkt de pompduur van gemaal IJmuiden 2,3% langer te zijn dan in de referentiesituatie. Bij jaarlijkse energiekosten van circa € 500.000,- is een schatting van de toename in kosten voor energie door voormalen € 11.000,-

Tabel 12: Kostenaspecten strategie "Voormalen Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal en maximaal afvoeren naar Markermeer".

Randvoorwaarden en aandachtspunten

Een belangrijk aandachtspunt bij de strategie is de nauwkeurigheid van de verwachtingen van zeewaterstanden en neerslag (of neerslag-afvoer). Omdat die verwachtingen afwijken van de uiteindelijk werkelijk opgetreden zeewaterstanden en neerslag kan het voorkomen dat ofwel onterecht is voorgemalen – omdat de verwachte neerslag niet is gevallen en/of de zeewaterstanden minder hoog zijn geworden dan verwacht –, ofwel onterecht niet is voorgemalen – omdat meer neerslag is gevallen dan verwacht of de zeewaterstanden hoger zijn geworden dan verwacht. In het eerste geval is de waterstand onterecht omlaag gebracht en zijn maalkosten gemaakt zonder dat dit achteraf nodig bleek. In het tweede geval zal de inzet van bemaling te laat zijn en zullen de waterstanden hoger worden dan bij tijdige inzet. Om het maximale effect te bereiken zal, gezien de onzekerheid in de verwachtingen, ook moeten worden voorgemalen in situaties waarbij dit achteraf niet nodig bleek.

Randvoorwaarde voor een succesvolle implementatie van deze strategie is een BOS-systeem dat:

- informeert over de actuele situatie van het watersysteem van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal en de achterliggende watersystemen;
- informeert over de voorspelling van neerslag/waterbezwaar en zeewaterstand, en
- adviseert over de te volgen strategie.

Optimalisatie van de advisering is vervolgens nodig om onnodige maalkosten, onnodige inzet van kunstwerken en verlaging van peilen te beperken. Bij de optimalisatie wordt gedefinieerd bij welke voorspellingen van neerslag en zeewaterstand de strategie dient te worden ingezet.

3.3.3 Maximaal anticiperen

Wat houdt de strategie in?

Deze strategie is gelijk aan de vorige strategie, maar dan in combinatie met het optimaliseren van de alternatieve afvoer van de waterschappen, rekening houdend met optredende meteorologische en hydrologische omstandigheden. Als mogelijk voeren de omliggende waterschappen zo veel mogelijk af richting ander ontvangend water dan het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal. Voor bijvoorbeeld Rijnland betekent dit dat eerst zo veel mogelijk met Katwijk en Gouda wordt afgevoerd en pas daarna worden Halfweg en Spaarndam ingezet om het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal zo vroeg en zo lang mogelijk te ontlasten. Het gaat daarbij enkel om de verdeling van de afvoer: de volledige capaciteit wordt ingezet om stijging van de waterstand in de regionale boezemsystemen te beperken. Dit heeft vooral effect op de hoge waterstanden omdat in de aanloop naar een hoogwater een lagere uitgangswaterstand wordt gerealiseerd. Tijdens het hoogwater is de afvoer van Spaarndam en Halfweg doorgaans maximaal.

Hierbij merken we op dat deze strategie in de praktijk al – indien mogelijk - wordt toegepast. Een mogelijke afwijking van de praktijk bij deze strategie is dat de alternatieve afvoer al direct bij voorspelling van een verhoogd waterbezwaar en hoge laagwaterstanden op zee wordt toegepast. Als dit niet gebeurt is de strategie veel minder effectief.

Wanneer is de strategie effectief?

Deze strategie is effectief als er in de andere gebieden nog ruimte is om de alternatieve afvoerrichting te kunnen gebruiken. Omdat waterstanden op het Noordzeekanaal pas stijgen als alle regionale systemen lozen op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal wordt met name de waterstandstijging aan het begin van de hoogwaterperiode beperkt of voorkomen, en daardoor de piekwaterstand verlaagd. In geval van het falen van één of meerdere pompen van gemaal IJmuiden zal deze strategie helpen om de wateraanvoer op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal zo lang mogelijk lager te houden dan de resterende afvoercapaciteit.

Daarnaast hangt de inzet van deze strategie sterk af van de situatie in het eigen gebied. Bij harde zuidwestenwind zal bijvoorbeeld door scheefstand in het boezemsysteem van Rijnland niet kunnen worden afgevoerd via Katwijk en Gouda. In dat geval zullen Halfweg en Spaarndam wel ingezet moeten worden om het boezempeil te handhaven en kan het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal niet worden ontlast. Overigens zullen in deze situatie de afvoermogelijkheden naar het Noorden voor Hollands Noorderkwartier optimaal zijn en kan de afvoer naar het zuidelijk gelegen Noordzeekanaal worden beperkt.

Wat is het maximaal te verwachten effect?

De herhalingstijd van een waterstand van NAP+0,00 m op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal kan met deze strategie worden verhoogd van 72 jaar naar 300 jaar. Let wel, dit effect wordt niet alleen veroorzaakt door enkel het gebruik van de alternatieve afvoerrichtingen, maar ook door het voormalen van het Noordzeekanaal en maximaal afvoeren naar het Markermeer. Het IJ-front en ARK-front worden ingezet bij een waterstand van NAP-0,20 m op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal. De overschrijdingsfrequentie van deze waterstand gaat van eens per 7 jaar in de referentie naar eens per 40 jaar als de strategie wordt

aangehouden. Bij de Groote Heicop gaat de herhalingstijd van NAP+0,00 m van 40 jaar naar 230 jaar.

Naast de herhalingstijden zijn in Tabel 13 de jaarlijks verwachte schades weergegeven van de situatie met en zonder toepassing van deze strategie. Het verschil in jaarlijkse verwachte schade bedraagt € 108.000,-. Dit is € 16.000,- meer dan de strategie zonder de alternatieve afvoer van de regio.

	Jaarlijkse verwachte schade	Verskil met referentie
Referentie	€ 142.000,-	
Strategie "Maximaal anticiperen"	€ 34.000,-	€ 108.000,-

Tabel 13: Maximale baten van de strategie "Maximaal anticiperen".

Voor deze strategie zijn de kostenaspecten zoals genoemd bij de vorige strategie relevant. Daarnaast voorzien wij de volgende kostenaspecten:

Kostenaspect	Omschrijving
Maalkosten	De pompduur van IJmuiden wordt door de inzet van alternatieve afvoer iets lager. De hoeveelheden die IJmuiden niet afvoert worden met de regionale gemalen weggepompt. Dit levert daardoor alleen 'winst' op als de maalkosten van die gemalen significant lager zijn. De maalkosten zijn vergelijkbaar en zullen naar verwachting hoogstens beperkt dalen.
Waterkwaliteit	Door een tijdelijke en kortdurende (enkele dagen) mogelijke wijziging in de afvoerrichting van de boezemsystemen van de waterschappen kan een waterkwaliteitsprobleem ontstaan. Bijvoorbeeld Halfweg en Spaarndam worden ook gebruikt voor doorspoeling. Wij verwachten dat de effecten beperkt zijn omdat het om tijdelijke en kortdurende veranderingen in de afvoerrichting gaat tijdens omstandigheden van verhoogd waterbezwaar.

Tabel 14: Kostenaspecten strategie "Maximaal anticiperen".

Randvoorwaarden en aandachtspunten

Aanvullend op de randvoorwaarden zoals genoemd bij de vorige strategie zal bij de advisering ook rekening moeten worden gehouden met de windsituatie in de regionale watersystemen.

3.3.4 Regionaal maatwerk

Onder regionaal maatwerk worden waterbeheermaatregelen bij wateroverlast in de regionale gebieden verstaan. In deze strategie wordt gekeken naar de effecten van een aangepast sluitregime van het ARK-front op de waterstanden in de Amstellandboezem.

Wat houdt de strategie in?

In de huidige situatie wordt de Amstellandboezem gescheiden van het hoofdwatersysteem wanneer de waterstand op het Noordzeekanaal NAP-0,20 m overschrijdt. In de verkenningsfase is geconstateerd dat dit niet in alle gevallen de beste oplossing is. Wanneer de hoge waterstanden op het Noordzeekanaal veroorzaakt worden door grote neerslagsommen in het beheergebied van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal zelf en niet door (langdurig) gestremde afvoer bij IJmuiden kan het beter zijn de verbinding tussen Amstellandboezem en Amsterdam-Rijnkanaal open te laten.

In praktijk laat Amstel, Gooi en Vecht als het ARK-front wordt gesloten twee afsluitende kunstwerken open totdat water vanaf ARK naar de Amstellandboezem gaat stromen.

Wanneer is de strategie effectief?

De strategie betreft een nuancering van het sluitprotocol het ARK-front. Dit front wordt in deze strategie alleen gesloten in een situatie waarbij gemaal IJmuiden faalt én er beperkt neerslag is in het beheergebied. In deze situaties kan de Amstellandboezem bemalen worden door gemaal Zeeburg.

In deze strategie zijn de criteria voor sluiten van de fronten van NAP-0,20 m en NAP-0,15 m niet aangepast. Hierdoor verandert de inzetfrequentie van het IJ-front en het Amstelfront niet (Tabel 15). Omdat het ARK-front niet meer in alle gevallen gesloten wordt, neemt de inzetfrequentie van dit front af. Ook voor andere belangen dan peilbeheer blijft de situatie gelijk.

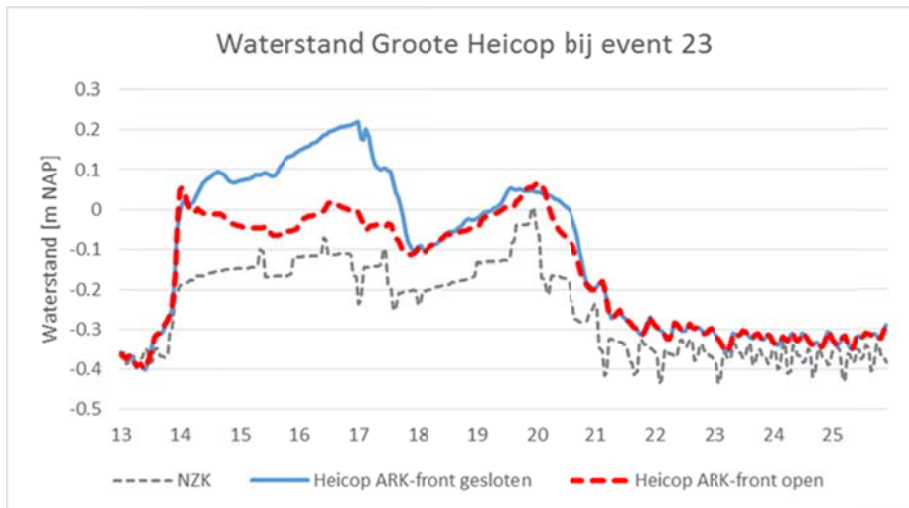
	Herhalingstijd [jaar]			
	Referentie	2030	2050	2085
IJ-front	5	3	2-3	1-2
Amstelfront	13	9	4-7	2-5

Tabel 15: Huidige en verwachte toekomstige terugkeertijden (in jaren) van de inzet van het IJ-front en het Amstelfront, gebaseerd op de berekende terugkeertijden van de waterstanden.

N.B. Bij de berekeningen in zowel DEZY als Sobek is er steeds vanuit gegaan dat de fronten direct gesloten kunnen worden zodra de grenswaarden overschreden worden. In werkelijkheid is het sluiten van de fronten een ingrijpende operatie, die enkele uren in beslag neemt (Mondelinge mededeling Amstel, Gooi en Vecht).

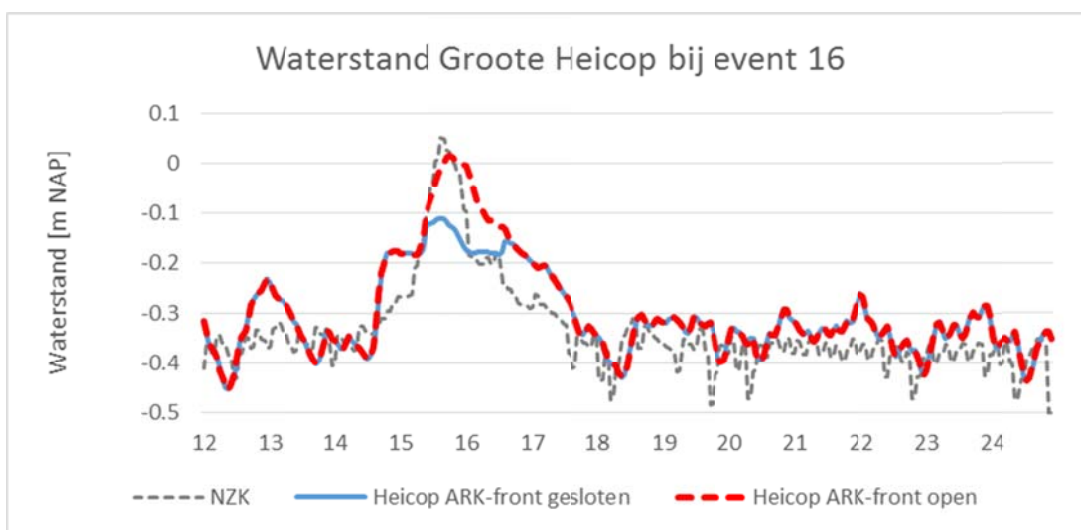
Wat is het maximaal te verwachten effect?

Het doel van deze strategie is het verkleinen van het peilverschil gedurende hoogwatersituaties tussen het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal enerzijds en de Amstellandboezem anderzijds bij gunstige omstandigheden. Een voorbeeld van een dergelijk event is gegeven in Figuur 5.



Figuur 5 Effect van het open houden van het ARK-front voor de locatie Groote Heicop bij een gebeurtenis met veel neerslag (138 mm in 72 uur), waarbij gemaal IJmuiden niet uitvalt. Het open houden van het ARK-front zorgt voor een verlaging van de maximale waterstand van ca. 15 cm.

Het open houden van het ARK-front is niet alle gevallen gunstig ten opzichte van de huidige praktijk van sluiten. In Figuur 6 is een voorbeeld gegeven van een event waarbij de inzet van het ARK-front juist wel effectief is.



Figuur 6: Effect van het sluiten van het ARK-front voor de locatie Groote Heicop voor een situatie waarbij gemaal IJmuiden uitvalt en een beperkte neerslagsom (45 mm in drie dagen). Het open houden van het ARK-front zorgt in dit geval voor een verhoging van de maximale waterstand van ca. 10 cm.

Het te verwachten effect is dus per gebeurtenis sterk verschillend. Ook verschilt het effect per locatie. Het gemiddelde effect van deze strategie, zoals met Sobek berekend, bedraagt ca. 5 cm. Voor het bepalen van het schaderisico is een enigszins afwijkende benadering gevolgd:

- Aangenomen is dat een maalbeperking in de boezem van Amstel, Gooi en Vecht optreedt wanneer de waterstand in het **zuidelijk** deel van de boezem NAP+0,00 m bereikt.

- De waterstand op het Noordzeekanaal is dan meestal lager dan NAP+0,00 m. Op basis van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse (zie het Technisch Achtergrondrapport) is aangenomen dat het verhang 0,1 m is.
- Dit betekent dat in de huidige situatie schade optreedt bij een gemiddelde waterstand op het Noordzeekanaal van NAP-0,10 m. Door het toepassen van de strategie Aangepast sluitregime ARK-front treedt de schade op bij een peil op het Noordzeekanaal van NAP-0,05 m.
- Dit levert een verschil in jaarlijkse verwachte schade, omdat dezelfde schade nu bij een hogere waterstand op het Noordzeekanaal optreedt, met een andere herhalingstijd.

In Tabel 16 zijn de jaarlijkse verwachte schades weergegeven voor de situatie met en zonder toepassen van deze strategie. De vermindering van de jaarlijkse verwachte schade bedraagt € 29.000,-.

	Jaarlijkse verwachte schade	Verskil met referentie
<i>Referentie (schade treedt op bij NAP-0,1 m op het Noordzeekanaal)</i>	€ 72.000,-	
Strategie "Aangepast sluitregime ARK-front" (schade treedt op bij NAP-0,05 m NAP)	€ 43.000,-	€ 29.000,-

Tabel 16: Maximale baten strategie Aangepast sluitregime ARK-front.

Tegenover deze baten staan kosten. Deze zijn voor het invoeren van deze strategie beperkt. De strategie betreft immers een vermindering van de inzet van het ARK-front. Omdat de beslisregels voor het inzetten van de fronten complexer worden dan in de huidige situatie, zijn er naar verwachting wel kosten gemoeid met de implementatie (aanpassen calamiteitenplan, opleiding, realisatie eventueel adviesinstrument/BOS).

Randvoorwaarden en aandachtspunten

Het sluiten van de fronten is een ingrijpende en complexe calamiteitenmaatregel, waarbij de effectiviteit en hinder/schade die optreedt van situatie tot situatie verschilt en maatwerk vraagt bij de uitvoering. In deze verkenning van strategieën is onderzocht of er optimalisatie mogelijk van deze beheermaatregel. Geconcludeerd is dat optimalisatie, op grond van de uitgevoerde modelberekeningen mogelijk lijkt. Om het beschreven effect te kunnen realiseren, is het daarom in elk geval van groot belang dat Waternet beschikt over een accurate waterstandsverwachting voor het Noordzeekanaal met een horizon van minimaal 12 uur. Gegeven de aangescherpte sluitcriteria van het ARK-front, heeft Waternet daarnaast behoefte aan een actueel inzicht in de storingstoestand van gemaal IJmuiden en – in geval van een storing – de verwachte hersteltijd.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

In dit onderzoek is gekeken naar de kans van optreden van hoge waterstanden bij wateroverlast op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal, de mogelijkheden voor Slim Watermanagement en de invloed van klimaatveranderingen op hoge waterstanden. In de huidige situatie en bij het vigerende waterbeheer treedt gemiddeld eens in de 72 jaar een waterstand op van NAP+0,00 m of hoger op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal. De dominante factor bij het optreden van hoge waterstanden op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal is de beschikbaarheid van gemaal IJmuiden. Door het toepassen van Slim Watermanagement, dat in de praktijk al deels gebeurt, kan de herhalingstijd worden teruggebracht tot minder dan eens per honderd jaar. De verwachte klimaatveranderingen zijn op termijn niet te compenseren op basis van Slim Watermanagement maatregelen, maar maken aanpassingen in het watersysteem noodzakelijk.

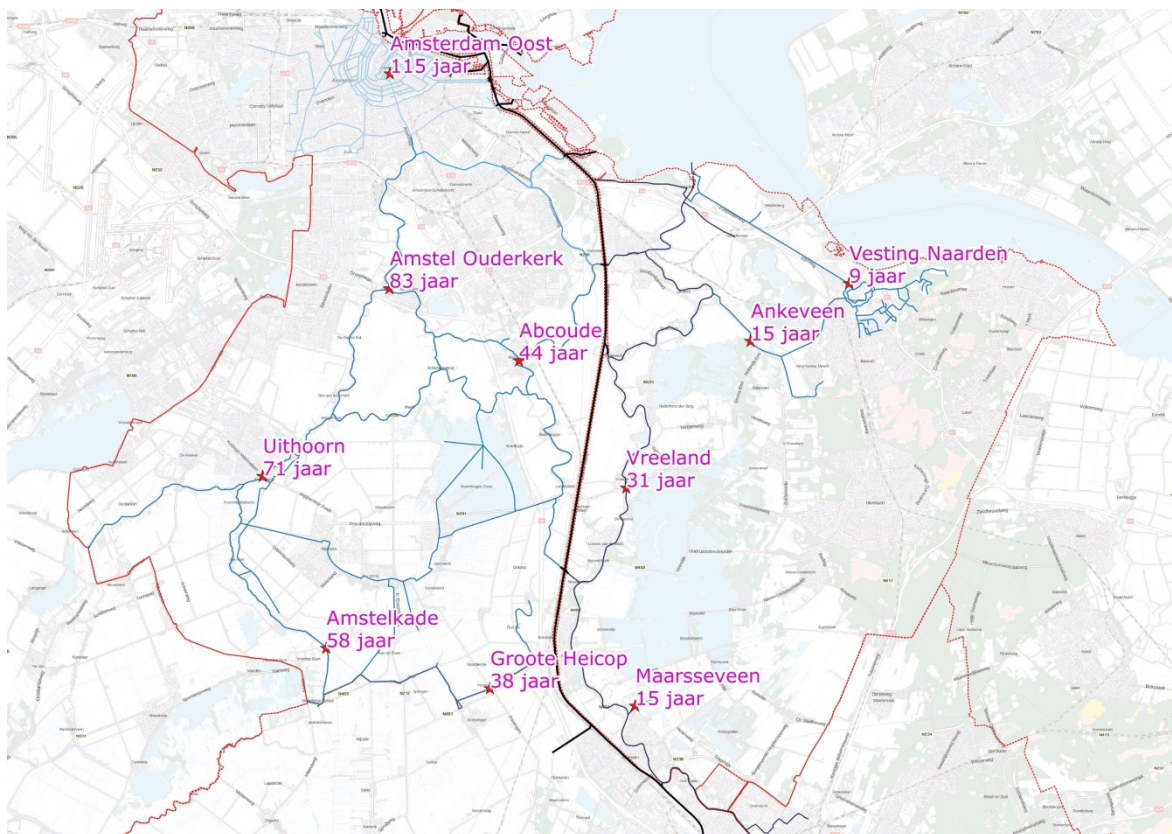
De onderzochte Slim Watermanagementstrategieën geven richting aan verdere optimalisaties van het huidig beheer en bieden handelingsperspectief aan de waterbeheerders voor de korte en lange termijn.

4.1.1 Faalkansanalyse

De uitgevoerde faalkansanalyse geeft inzicht in de herhalingstijden van karakteristieke waterstanden in het Noordzeekanaal, Amsterdam-Rijnkanaal en op de boezem van het waterschap Amstel, Gooi en Vecht in wateroverlastsituatie. In de huidige situatie wordt op het Noordzeekanaal gemiddeld elke vijf jaar NAP-0,20 meter overschreden en eens per 72 jaar NAP+0,00 m. Dit zijn aanzienlijk lagere herhalingstijden (de waterstand treedt vaker op) dan in de vorige faalkansanalyse (in 1999) berekend, waar NAP+0,00 m minder vaak dan eens per 1000 jaar werd bereikt. Verklaringen van deze verslechtering zijn al opgetreden klimaatverandering, andere autonome ontwikkelingen zoals vergroting van de totale afvoercapaciteit van de gemalen die op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal lozen en een verbeterd inzicht in de kans op uitval en daarbij gepaard gaande hersteltijden van gemaal IJmuiden.

Herhalingstijden van waterstanden bij wateroverlast zijn berekend voor het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal, maar ook voor de boezem van Amstel, Gooi en Vecht omdat deze daarmee in open verbinding staat. Voor de overige waterstanden hebben alleen waterstanden vanaf NAP+0,00 meter betekenis omdat dan een maalbeperking/maalslop naar het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal wordt opgelegd. Uitzondering hierop is de Leidse Rijn (De Stichtse Rijnlanden) dat in open verbinding met het Amsterdam-Rijnkanaal staat. Herhalingstijden voor de Leidse Rijn zijn afgeleid van rekenresultaten voor de zuidelijke Amstellandboezem.

Het effect van hoogwatersituaties verschilt per locatie in het watersysteem. De herhalingstijden voor NAP+0,00 m zijn op de Vecht 15 à 30 jaar. Op de Amstellandboezem zijn de herhalingstijden groter, door de inzet van het IJ-front en ARK-front, waarmee dit deel van de boezem afgesloten kan worden van de rest van het watersysteem. De herhalingstijden voor NAP+0,00 m zijn 40 à 60 jaar in het zuidelijk deel van de Amstellandboezem. In de stadsboezem van Amsterdam is de herhalingstijd het grootst: 100 tot 120 jaar.



Figuur 7: De berekende gemiddelde herhalingstijden van een waterstand van NAP+0,00 m op tien locaties in het watersysteem (locaties Ankeveen en Vesting Naarden liggen op de s'Gravelandsevaart-boezem en hebben een hoger toetspeil).

In de context van deze analyse is falen gedefinieerd als het overschrijden van een waterstand van NAP+0,00 meter, omdat in dat geval een maalbeperring wordt afgekondigd voor de waterschappen. Hoewel niet formeel vastgelegd, wordt in de praktijk aan deze gebeurtenis een herhalingstijd van 100 jaar gekoppeld. Op grond van de faalkansanalyse kan worden geconcludeerd dat de kans op een maalbeperring in de huidige situatie voor het Noordzeekanaal groter is dan $1/100^{\text{ste}}$ per jaar.

Het watersysteem van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal is sterk afhankelijk van de afvoermogelijkheden bij IJmuiden. Als bijvoorbeeld wordt aangenomen dat gemaal IJmuiden niet kan falen, wordt de herhalingstijd van NAP+0,00 m meer dan 3.000 jaar.

Hoge waterstanden op het Noordzeekanaal treden vooral op wanneer er langere tijd niet afgevoerd kan worden bij IJmuiden, middels spuikokers of pompen. Het spuicomplex heeft een grote afvoercapaciteit, maar is alleen inzetbaar bij lage buitenwaterstanden. De pompen hebben minder capaciteit dan de spuikokers, maar zijn langer inzetbaar (tot een opvoerhoogte van 2,75 m in plaats van 2,35 meter). Voor de faalkans geldt:

- Het *kortdurend* uitvallen van gemaalcapaciteit – tot maximaal een week – heeft een beperkte bijdrage in de kans op hoge waterstanden;
- Falen van de spuisluis speelt een rol in de faalkans als er minder dan twee van de zeven spuikokers beschikbaar zijn;
- In de winter is de kans op waterstanden op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal hoger dan NAP-0,10 m het grootst (ongeveer viermaal vaker dan in de zomer) omdat

spuistremmingen zich vaker voordoen in de winter. Voor overschrijdingen van NAP-0,20 meter zijn juist met name de zomergeruchten belangrijker.

Klimaat effecten spelen op tweeërlei wijze een rol in de faalkans van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal watersysteem: de zeespiegelstijging zorgt voor verminderde afvoermogelijkheden bij IJmuiden en de toenemende neerslag (hoeveelheden en intensiteiten) leidt tot meer en snellere aanvoer op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal. Door deze toenemende aanvoer neemt ook het verhang in het watersysteem toe, waardoor er lokaal peilverschillen optreden.

De zeespiegelstijging heeft een groter (negatief) effect op de faalkans dan de toename in neerslag omdat de zeespiegelstijging de spuimogelijkheden verder laat afnemen. Daarbij wordt de toename in neerslag gedempt afgevoerd naar het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal watersysteem door de beperking in de gemaaicapaciteit van de achterliggende polder-boezemsystemen.

Door klimaat effecten vermindert de herhalingsstijd van NAP+0,00 m van 72 jaar in de huidige situatie naar 25 à 40 jaar in 2050 en 10 à 20 jaar in 2085. Voor de locaties op de boezem van Amstel, Gooi en Vecht verminderen de herhalingsstijden navenant, tot bijvoorbeeld ca. eens per 5 jaar in 2085 voor de Vecht.

4.1.2 Slim Watermanagement

In overleg met de projectgroep is een viertal Slim Watermanagement strategieën gedefinieerd, waarmee het spectrum aan mogelijke beheermaatregelen wordt afgedekt. Deze strategieën zijn samengesteld op basis van een eerste verkenning naar de effectiviteit van individuele maatregelen.

De doorgerekende Slim Watermanagement strategieën geven een verbetering van de faalkans in termen van de kans op hoge waterstanden en de kans op een maalbeperking/maaltop op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal. Afhankelijk van de Slim Watermanagement strategie betekent dit dat bij dezelfde herhalingsstijd de gemiddelde waterstand in de orde van 0 tot 5 centimeter afneemt. Dit is een gemiddeld effect voor alle denkbare combinaties van neerslagsituatie (volume, spreiding, intensiteit) en afvoersituatie. Voor elke strategie geldt dat deze afhankelijk van de situatie meer of minder effectief is. In specifieke omstandigheden kan met een Slim Watermanagementstrategie een veel groter – of kleiner – effect behaald worden dan het gemiddelde effect op de herhalingsstijd. Het is daarom belangrijk dat elke keer de beste strategie wordt gekozen voor de omstandigheden die zich voordoen en dat die strategie op het juiste moment kan worden ingezet.

Met inzet van de Slim Watermanagementstrategieën is het mogelijk om de herhalingsstijd van een maalbeperking in de huidige situatie te vergroten tot boven de praktijknorm van 1/100^{ste} per jaar. De effecten zijn niet groot genoeg om op termijn alle klimaat effecten, zoals die nu worden voorzien, te kunnen compenseren. Hiervoor zijn aanvullende maatregelen noodzakelijk.

Met behulp van een gemiddelde schadefunctie voor het gehele stroomgebied is een schatting gemaakt van de *extra* schade die ontstaat door het instellen van een maalbeperking. Door de extra schade te combineren met de berekende overschrijdingskansen van de maalbeperking is een schaderisico of jaarlijkse verwachte schade verkregen. Deze bedraagt in de huidige situatie ca. € 142.000 per jaar. Andere schades die kunnen ontstaan bij hoogwatersituaties,

bijvoorbeeld door overbelasting van het regionale afvoersysteem, of hinder voor de scheepvaart, zijn buiten beschouwing gelaten.

Een eerste analyse van de te verwachten schadereductie van Slim Watermanagement strategieën geeft aan dat de extra schade teruggebracht kan worden tot € 40.000 à € 90.000 per jaar. Dit geeft een eerste indicatie van de beschikbare financiële ruimte om de strategieën te implementeren.

4.2 Aanbevelingen

De faalkansanalyse en het uitwerken van Slim Watermanagement strategieën heeft goede inzichten gegeven in de werking van het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal en de omliggende gebieden. Wij stellen voor om deze inzichten te verwerken in een korte promotievideo waarin de werking van het watersysteem wordt samengevat.

De faalkans van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal is niet formeel vastgelegd. In praktijk wordt hiervoor het instellen van een maalbeperking bij het overschrijden van een waterstand van NAP+0,00 aangehouden. Wij bevelen aan de faalkans van het Noordzeekanaal nader te onderbouwen en omwille van de duidelijkheid formeel vast te leggen.

Op basis van de ervaringen uit deze studie doen wij de volgende aanbevelingen.

4.2.1 Faalkansanalyse

De faalkans van het Noordzeekanaal is erg gevoelig voor het falen van gemaal IJmuiden (en Zeeburg). Vooral situaties waarin het gemaal langdurig faalt hebben grote invloed op de faalkans. Het verdient daarom aanbeveling om de faalkans en herstelduur van gemaal IJmuiden (en Zeeburg) te verkleinen. Het falen van het gemaal heeft ook invloed op de herhalingsstijd van waterstanden vanaf NAP-0,20 meter. Door de kans op deze waterstanden kleiner te maken hoeven de fronten (IJ-front en ARK-front) rondom de Amstellandboezem minder vaak te worden gesloten.

Het afsluiten van het ARK-front is niet in alle omstandigheden effectief. In deze studie is een eerste voorstel gedaan voor een aangepast sluitregime voor de fronten rondom de Amstellandboezem. Het verdient aanbeveling dit sluitregime in meer detail uit te werken en in te voeren in het (calamiteiten)beheer.

Hoewel menselijk falen niet expliciet is meegenomen in de faalkansanalyse, is bekend dat menselijk handelen een belangrijke factor is bij het vermijden van hoge waterstanden in het watersysteem. Ervaren waterbeheerders kunnen een potentiële hoogwatersituatie beter inschatten en daardoor effectiever anticiperen op de gebeurtenissen. Het is – en blijft – daarom belangrijk om ervaring in het waterbeheer te behouden door enerzijds een goed personeelsbeleid (capaciteitsplanningen, trainingen, het vasthouden van intrinsieke kennis van het watersysteem in de organisatie, het op tijd inwerken van nieuwe medewerkers zodat er tijd is om deze kennis over te dragen, etc.) en door anderzijds technische hulpmiddelen te bieden zoals kennis- en adviessystemen. Daarnaast speelt ook een effectieve samenwerking tussen de waterbeheerders van en om het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal een grote rol, die gebaat is bij continuïteit in de organisaties en technische hulpmiddelen.

4.2.2 Slim Watermanagement

Om de Slim Watermanagement strategieën doelmatig in te kunnen zetten, is uitwerking van de huidige redeneerlijn gewenst. De analyse van de strategieën toont aan dat deze alleen effectief zijn als de strategieën tijdig worden ingezet. Bijvoorbeeld voor de strategie “Voormalen” moet niet worden gewacht tot de waterstand NAP-0,30 m bereikt, maar moet het streefpeil al veel eerder worden verlaagd met alle beschikbare middelen. Dit betekent dat de redeneerlijn niet moet reageren op een bereikte waterstand, maar moet anticiperen op de verwachte aanvoer die tot deze waterstand zal leiden. Hierbij kan ook in overweging worden genomen dat anticiperend beheer het risico in zich heeft dat het toepassen van een strategie achteraf niet nodig bleek te zijn, omdat de realiteit afweek van de verwachtingen.

Om de operationeel beheerder in staat te stellen de juiste strategie op het juiste moment in te zetten, bevelen wij aan het informatiescherm ARK-NZK uit te breiden. Dit kan worden gerealiseerd in het kader van het project van het informatiescherm ARK-NZK, waarin de waterbeheerders van alle betrokken partijen tijdig en adequaat worden geïnformeerd en geadviseerd over de actuele – en verwachte – situatie op en rond het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal. Een dergelijk systeem kan tevens worden ingezet om het verwachte effect van een of meer beheeringrepen te kwantificeren en basis daarvan de peilbeheerders te adviseren.



HKV lijn in water BV

Postbus 2120
8203 AC Lelystad

Botter 11-29
8232 JN Lelystad

0320 29 42 42
info@hkv.nl
www.hkv.nl

memorandum

PR3393.10 / P832

Project : Slim Watermanagement Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal
Datum : 12 december 2017
Onderwerp : Toelichting faalkansanalyse AGV
Van : C. Vermeulen, M. van den Brink.
Aan : Projectgroep.

1 Inleiding

In de faalkansanalyse is gekeken naar de kans van optreden van hoge waterstanden bij wateroverlast op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal en de daarmee in open verbinding staande boezem van waterschap Amstel, Gooi en Vecht. De conclusies uit de studie zijn voor het gehele beheergebied op een consistente wijze gerapporteerd, waarbij resultaten zijn gepresenteerd voor kenmerkende peilen in het gebied, waarbij is uitgegaan van een waterstand van NAP+0,00 m. Dit is het maatgevend boezempeil, oftewel het waterpeil waar het hoofdwatersysteem aan getoetst wordt. Een hoger boezempeil mag niet optreden, omdat de dijken daar niet op zijn gedimensioneerd. Dit betekent dat als de waterstand boven NAP+0,00 m dreigt uit te komen er een aanvoerstop (naar het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal) wordt afgekondigd en de waterschappen het water in de polders moet vasthouden.

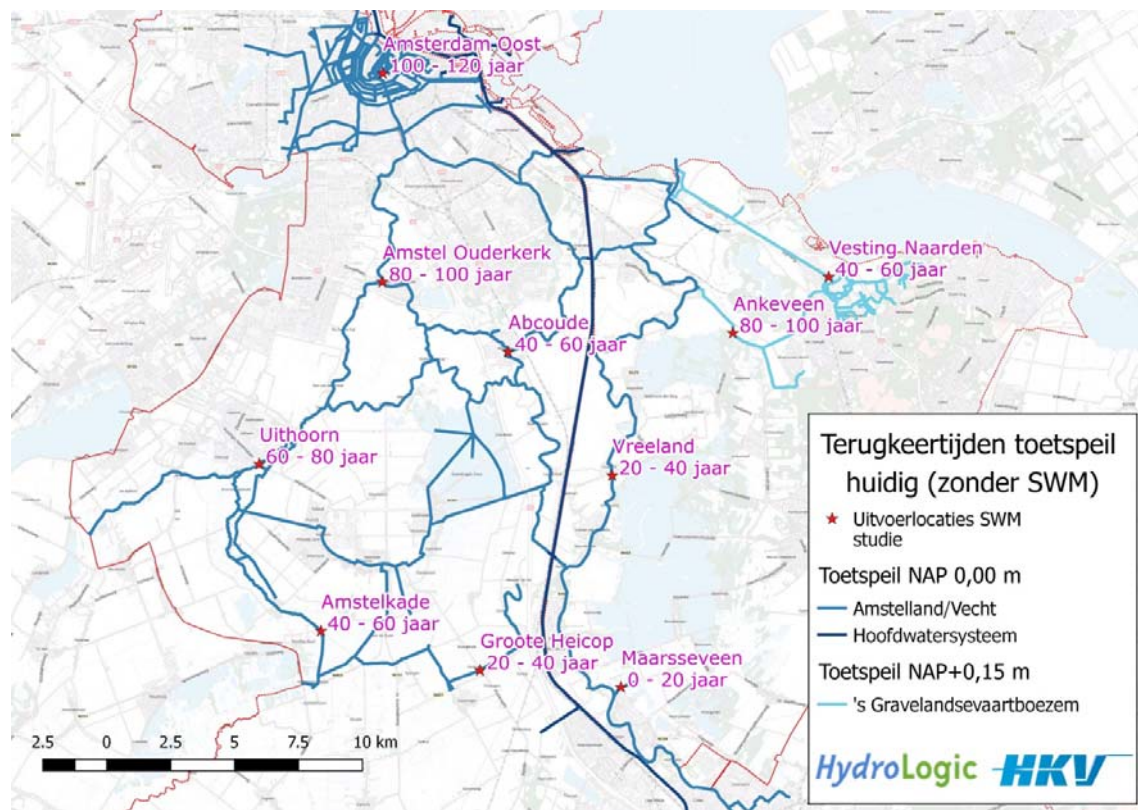
Voor de boezem van Amstel, Gooi en Vecht is dit beeld niet compleet. De 's Gravelandsevaartboezem heeft met NAP+0,15 m een hoger maatgevend boezempeil. Daarnaast kan de zuidelijke Vechtboezem hogere boezempeilen aan, door de natuurlijke ligging en de hogere dijken die daar liggen. Daarvoor is geen hoger maatgevend boezempeil vastgesteld, maar dit zou wel verder onderzocht kunnen worden op wenselijkheid. Deze uitzonderingen zijn wel benoemd in de rapportage van de faalkansstudie, maar het waterschap heeft behoefte om de resultaten te relateren aan het toetspeil (wat dus voor de 's Gravelandsevaartboezem hoger ligt). Deze aanvulling op de rapportage geeft invulling aan deze wens.

2 Conclusies faalkansstudie

De uitgevoerde faalkansanalyse geeft inzicht in de herhalingscycli van karakteristieke waterstanden in het Noordzeekanaal, Amsterdam-Rijnkanaal en op de boezem van het waterschap Amstel, Gooi en Vecht in wateroverlastsituatie. In de huidige situatie wordt op het Noordzeekanaal gemiddeld elke vijf jaar NAP-0,20 meter overschreden en eens per 72 jaar NAP+0,00 m.

In Figuur 1 zijn de terugkeertijden van toetspeil voor de boezem van Amstel, Gooi en Vecht weergegeven. Omdat het uitkomsten van modelberekeningen betreft met bijbehorende onzekerheid, zijn de berekende terugkeertijden geclassificeerd. Voor de Amstellandboezem variëren de terugkeertijden van het toetspeil van NAP+0,00 m tussen 20 à 60 jaar (in het zuidelijk deel) en 100 à 120 jaar in de stadsboezem van Amsterdam. Voor de 's Gravelandsevaartboezem liggen de terugkeertijden van het toetspeil (NAP+0,15 m) tussen 40 en 100 jaar. De terugkeertijd voor de Vechtboezem (NAP+0,00 m) ligt tussen de 15 à 30 jaar. De dijken in het zuidelijk deel van

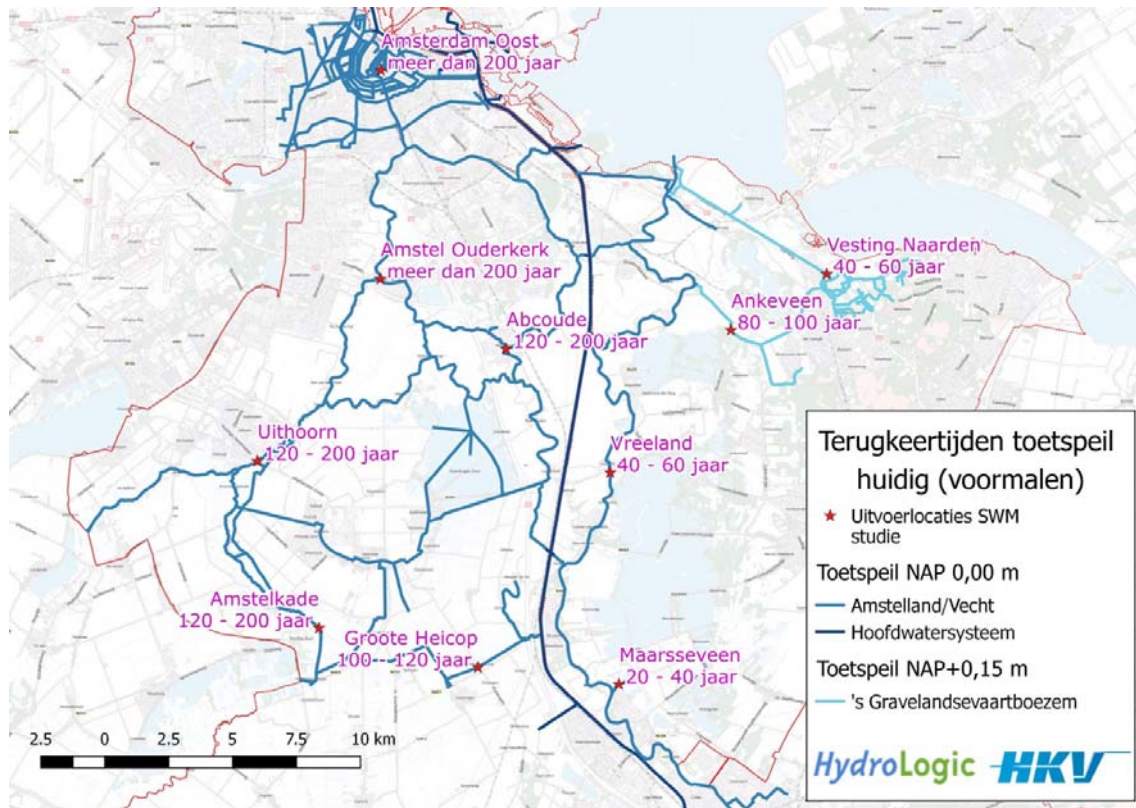
de Vechtboezem zijn echter, door de grondslag van nature wat hoger dan langs de rest van de Vecht. Dit deel van de boezem kan hogere waterstanden aan. Voor een waterpeil van NAP+0,20 m is de herhalingstijd voor het zuidelijk deel van de Vechtboezem, vanaf Maarssen tussen de 100 à 150 jaar.



Figuur 1: Terugkeertijden van toetspeil op de boezem van AGV zonder toepassen Slim Watermanagement.

Met Slim Watermanagement maatregelen kunnen de herhalingstijden worden vergroot. Met de strategie "Voormalen" kunnen de terugkeertijden worden vergroot tot een range van circa 100 a 200 jaar voor de Amstellandboezem. In de strategie "Voormalen" worden voorafgaand aan een waterbezwaarperiode de spuimogelijkheden van IJmuiden maximaal benut en worden gemaal IJmuiden en gemaal Zeeburg maximaal ingezet. Voor de Vechtboezem kunnen de terugkeertijden worden vergroot tot 20 à 60 jaar (bij een waterstand van NAP+0,20 m tussen de 150 à 200 jaar).

De strategie "Voormalen" heeft geen effect op de terugkeertijden op de 's Gravelandsevaartboezem omdat dit een eigen watersysteem is dat 'afwatert' op de Vechtboezem. Het effect van maatregelen op het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal werkt hier dus slechts indirect door.



Figuur 2: Terugkeertijden van toetspeil op de boezem van AGV met voormalen (maatregel Slim Watermanagement).

Als er veel vaker water via IJmeer/Markermeer kan worden afgevoerd, kan de veiligheid van het watersysteem verder worden vergroot. Als er water in de polders kan worden vastgehouden, wordt er minder water afgevoerd naar het hoofdwatersysteem en kunnen de herhalingstijden ook verder worden vergroot.

Tenslotte merken we op dat het voormalen effectief is als ook daadwerkelijk op tijd wordt begonnen met voormalen én als de bemaling zo snel mogelijk met maximale capaciteit wordt ingezet om het peil zo lang mogelijk te handhaven.