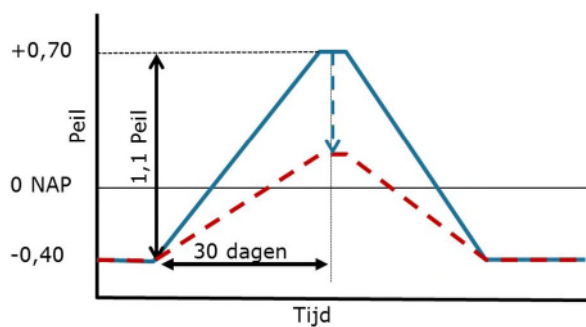




## Syntheserapport pompen Markermeerdijken HWBP2



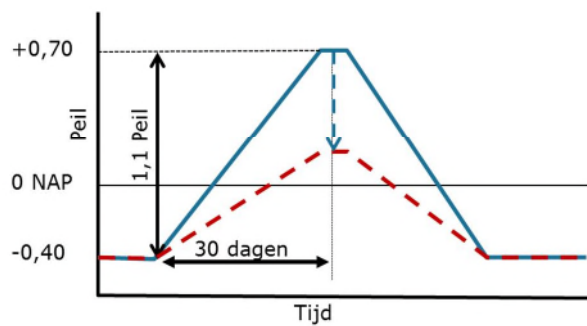
Datum  
Status

15 september 2015  
Definitief





## Syntheserapport pompen Markermeerdijken HWBP2



Datum  
Status

15 september 2015  
Definitief

## Colofon

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat WVL; Hoogheemraadschap Noorderkwartier
Informatie	<a href="http://www.rijkswaterstaat.nl">www.rijkswaterstaat.nl</a>
Telefoon	0800 - 8002
Opdrachtgever	Min. IenM - DGRW
Uitgevoerd door	RWS en HHNK
Auteurs	Harold van Waveren (RWS), Alex Roos (HHNK),
Met bijdragen van	HKV <u>Lijninwater</u> RHDHV Kennisplatform Risicobenadering FUGRO
Opmaak	Rijkswaterstaat
Datum	15 september 2015
Status	Definitief
Versienummer	1.0

## Voorwoord

Dit rapport is geschreven op verzoek van de minister van Infrastructuur en Milieu naar aanleiding van vragen van omwonenden van de Markermeerdijk tussen Hoorn en Amsterdam. Zij wilden weten of het mogelijk was de omvang van de geplande dijkversterking te verminderen door met pompen op de Houtribdijk het meerpeil van het Markermeer beter te reguleren. Op verzoek van de minister heeft het Directoraat-Generaal Ruimte en Water (DGRW) van IenM opdracht gegeven aan Rijkswaterstaat voor het uitvoeren van dit onderzoek.

Aan deze studie is vervolgens door veel partijen en personen bijgedragen. Rijkswaterstaat heeft de studie uitgevoerd samen met Hoogheemraadschap Noorderkwartier en diverse andere partijen: HKV Lijninwater (hoofdstuk 3, met uitzondering van paragraaf 3.7), RH-DHV (hoofdstuk 4 en paragraaf 5.2), FUGRO (hoofdstuk 4) en het Kennisplatform Risicobenadering (paragraaf 5.3).

De kwaliteitsborging is verzorgd via diverse collegiale toetsen bij RWS en HHNK. Daarnaast heeft ir. Joop Weijers bijgedragen aan de kwaliteitsborging van het grondmechanisch onderzoek. Ir. C. Vroege en ir. F. Spaargaren hebben belangrijke informatie aangedragen over het ontwerp en de kosten van de gemalen (paragraaf 3.7). Tot slot is ook het advies van het Expertise-Netwerk Waterveiligheid (ENW), dat in zeer korte tijd tot stand moest komen, een belangrijke kwaliteitstoets geweest voor het onderzoek.

Het onderzoek heeft plaatsgevonden onder begeleiding van een begeleidingsgroep onder voorzitterschap van Bart Parmet (Directeur staf-Deltacommissaris). Leden van de begeleidingsgroep waren verder Matti Busch (DGRW), Wim van der Weijden (HHNK), Ard Wolters (RWS), Carla Zuiderwijk (DGRW, secretaris) en drie vertegenwoordigers namens de Adviesgroep: Wouter de Hollander, Wim Tuijp en Jaap Hoekman. De minister is hen zeer erkentelijk dat zij namens alle omwonenden tijd hebben willen steken in de begeleiding van dit onderzoek. Met hun praktijkkennis van de dijk hebben zij een waardevolle bijdrage geleverd.

De studie is uitgevoerd onder leiding van een kernteam bestaande uit Harold van Waveren (RWS), Alex Roos (HHNK) en Arthur Kors (RWS). Daarnaast hebben bijgedragen (in de vorm van adviezen, reviews, communicatie en/of het aanleveren van informatie): Bregje van der Steeg (HHNK), Renie Hylkema (HHNK), Hester Faber (HHNK), Maarten Poort (HHNK), Robert Slomp (RWS), Marcel Bottema (RWS), Albert Remmelzwaal (RWS), Siemen Prins (RWS), Deon Slagter (RWS/KPR), Hans Heilen (HWBP2), Rob Willems (RWS), Jos van Alphen (staf-DC), Inge Lardinois (DGRW) en Koos Poot (DGRW).

De auteurs en de opdrachtgevers bij DGRW zijn iedereen die heeft bijgedragen aan deze studie zeer erkentelijk.

DIRECTEUR-GENERAAL RUIMTE EN WATER,

Drs. P.R. Heij



# Inhoud

<b>SAMENVATTING .....</b>	<b>1</b>
<b>1 INLEIDING.....</b>	<b>12</b>
1.1 AANLEIDING ONDERZOEK .....	12
1.2 ONDERZOEKSVRAGEN .....	13
1.3 DOELSTELLING .....	13
1.4 OP TE LEVEREN RESULTAAT .....	13
1.5 VERTREKPUNTEN .....	13
1.6 AFBAKENING .....	14
1.7 PROGRAMMA VAN EISEN .....	14
1.8 DEELONDERZOEKEN EN ACTIVITEITEN .....	15
1.9 WERKWIJZE.....	16
1.10 LEESWIJZER .....	17
<b>2 HET WATERSYSTEEM MARKERMEER EN OMGEVING.....</b>	<b>18</b>
2.1 MEERPEIL EN WIND BEPALEN DE MAATGEVENDE OMSTANDIGHEDEN .....	18
2.2 MAATGEVENDE OMSTANDIGHEDEN VOOR HET FAALMECHANISME ‘STABILITEIT’ .....	18
2.3 MAATGEVENDE OMSTANDIGHEDEN VOOR HET FAALMECHANISME ‘GOLFOPLOOP EN –OVERLOOP’ .....	19
2.4 KAN VIA REGULERING VAN HET WATERPEIL DE HYDRAULISCHE BELASTING WORDEN VERMINDERD? ....	19
2.5 HET WATERBEHEER VAN HET MARKERMEER EN DE OMGEVING .....	19
2.6 RELATIE TUSSEN PEILBEHEER MARKERMEER EN IJSSELMEER .....	22
2.7 INVLOED VAN WIND OP HET PEIL VAN HET MARKERMEER .....	23
2.8 GEMETEN OMSTANDIGHEDEN VERSUS MAATGEVENDE OMSTANDIGHEDEN .....	24
2.9 MOGELIJKHEDEN OM HET PEIL VAN HET MARKERMEER BETER TE BEHEERSEN .....	26
2.10 INVLOED KLIMAATVERANDERING.....	29
2.11 EFFECT MEERPEILVERLAGING OP ONTWERP MARKERMEERDIJKEN HOORN-AMSTERDAM EN OVERIGE KERINGEN RONDOM HET MARKERMEER.....	30
2.12 CONCLUSIES EN SAMENVATTING ANALYSEVRAGEN .....	30
<b>3 EFFECT VAN POMPEN HOUTRIBDIJK OP MHW’S.....</b>	<b>31</b>
3.1 INLEIDING .....	31
3.2 UITGANGSPUNTEN BEREKENINGEN .....	32
3.3 VARIANTEN .....	33
3.4 RESULTATEN .....	33
3.5 CONCLUSIES OP BASIS VAN DE BEREKENINGEN .....	34
3.6 OVERSCHRIJDINGSFREQUENTIELIJNEN .....	40
3.7 ANALYSE KOSTEN POMPEN. ....	40
<b>4 ANALYSE EFFECT MHW-VERLAGING OP ONTWERP MARKERMEERDIJKEN HOORN- AMSTERDAM.....</b>	<b>44</b>
4.1 OPZET ONDERZOEK .....	44
4.2 UITGANGSPUNTEN .....	45
4.3 TOEPASSING LAGERE KRUINHOOGTE VANWEGE POMPEN .....	47
4.4 IMPACT OP ONTWERP .....	48
4.5 ANALYSE ONTWERPUITKOMSTEN .....	55
4.6 ONZEKERHEDEN .....	56
4.7 EFFECT OP KOSTEN .....	57
4.8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....	59

<b>5</b>	<b>ANALYSE OVERIGE EFFECTEN .....</b>	<b>61</b>
5.1	INLEIDING .....	61
5.2	EFFECTEN VAN EEN MHW-VERLAGING OP HET ONTWERP VAN DE HOUTRIBDIJK.....	61
5.3	EFFECTEN VAN EEN MHW-VERLAGING OP DE OPGAVE VOOR DE OOSTVAARDERSDIJK EN ENKELE ANDERE DIJKTRAJECTEN .....	66
5.4	OVERIGE KOSTEN/BATEN.....	69
<b>6</b>	<b>SYNTHESE, CONCLUSIES EN AANDACHTSPUNTEN.....</b>	<b>71</b>
6.1	SYNTHESE .....	71
6.2	CONCLUSIES.....	73
6.3	AANDACHTSPUNTEN .....	74
<b>7</b>	<b>LITERATUUR.....</b>	<b>76</b>

## Samenvatting

### Aanleiding onderzoek

In de tweede toetsronde op de primaire waterkeringen (2006) is ruim 33 kilometer van de Markermeerdijken tussen Amsterdam-Noord en Hoorn afgekeurd (IVW, 2006). Het overgrote deel van de dijken (90%) is afgekeurd op het faalmechanisme binnenwaartse stabiliteit. Daarnaast zijn de dijken op een gering aantal plekken niet hoog genoeg, niet stabiel aan de buitenzijde of voldoet de bekleding niet.



**Fig. 0.1: Verlies van stabiliteit in het binnentalud  
(bron: [www.markermeerdijken.nl](http://www.markermeerdijken.nl))**

In de Waterwet (MinVenW, 2009) is vastgelegd dat afgekeurde primaire keringen worden opgenomen in het Hoogwaterbeschermingsprogramma ([www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl](http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl)). Zo wordt ervoor gezorgd dat de dijken versterkt worden en weer het noodzakelijke beschermingsniveau bieden voor het achterliggende gebied.

De aanpak van het traject Hoorn-Amsterdam is opgenomen in het HWBP2. Hoogheemraadschap Noorderkwartier (HHNK) heeft het voortouw in het project. HHNK is onder meer een omgevingsproces gestart waarin ook omwonenden en andere belanghebbenden worden meegenomen. Daarbij is een Adviesgroep samengesteld, waarin enkele tientallen maatschappelijke groepen zijn vertegenwoordigd.

Op 17 maart 2015 is tijdens een bijeenkomst van de Adviesgroep met de Deltacommissaris (Wim Kuijken), de Directeur-Generaal Ruimte en Water van IenM (Peter Heij) en de dijkgraaf van HHNK (Luc Kohsiek) gesproken over nut en noodzaak van het HWBP2-project Markermeerdijken. Tijdens deze bijeenkomst zijn diverse vragen van de Adviesgroep besproken. Voor een aantal resterende vragen is afgesproken dat daarvoor een aparte bijeenkomst ('technische sessie') zou worden georganiseerd. Deze is gehouden op 18 mei 2015.

### **Onderzoeksvragen**

Tijdens de technische sessie van 18 mei 2015 hebben de vertegenwoordigers van de adviesgroep gevraagd om een antwoord op de vraag, of de dijkversterkingsopgave niet substantieel kan worden verminderd of zelfs vermeden door het waterpeil in het Markermeer met pompen fors te verlagen.

Voor een afdoende beantwoording van die vragen zijn 2 belangrijke onderzoeksvragen aan de orde:

1. In hoeverre kan met pompen op de Houtribdijk de hydraulische belasting (MHW) van het Markermeer significant verlaagd worden (met 30 tot 90 cm).
  - a. Welke pompcapaciteit is nodig?
  - b. Wat is het effect op de MHW?
  - c. Wat zijn de kosten voor de pompen (gehele levenscyclus, inclusief o.a. beheer en onderhoud en energiekosten)?
2. Wat is het effect van een MHW-verlaging op het ontwerp van de Markermeerdijken?
  - a. Kan daarmee een minder ingrijpend ontwerp worden gerealiseerd?
  - b. Wat zijn de financiële baten (primair van de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam, maar wellicht ook elders langs het Markermeer).

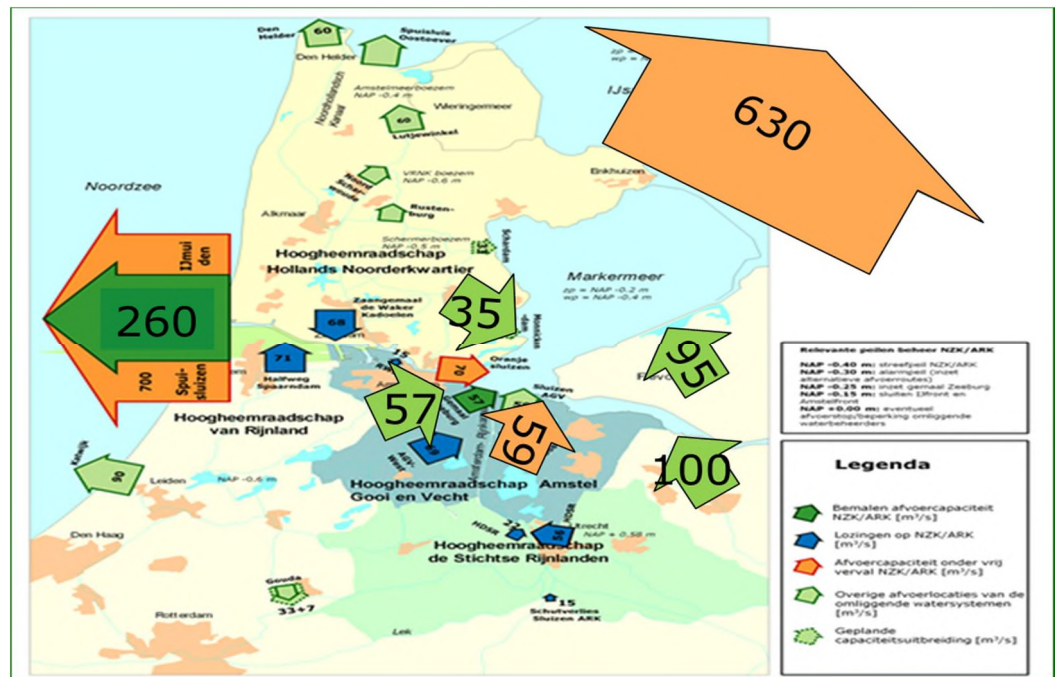
De Minister van IenM heeft opdracht gegeven deze vragen te onderzoeken en in september 2015 verslag uit te brengen. In dit rapport worden de resultaten van dit onderzoek gepresenteerd.

Vertrekpunt bij deze studie waren het Voorlopig Ontwerp (VOPP) en de vigerende modellen. De vertegenwoordigers van de Adviesgroep in de begeleidingsgroep hebben aangegeven dat zij ook graag de huidige dijk als uitgangspunt hadden gezien (met aandacht voor bewezen sterkte, gebaseerd op een werkelijk opgetreden hoogwatersituatie in 1998), het liefst doorgerekend met een model als Plaxis. Dat bleek binnen de scope van deze studie echter niet mogelijk. Aan het eind van dit document wordt hier verder op teruggekomen.

### **Het watersysteem Markermeer en omgeving**

Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden is allereerst achtergrondinformatie verzameld over het watersysteem Markermeer en omgeving (zie fig. 0.2), de hydraulische aspecten en andere relevante achtergrondinformatie met betrekking tot het veiligheidsvraagstuk.





Groene pijlen: gemalen; oranje pijlen: spuisluizen; blauwe pijlen: gemalen op het Amsterdam-Rijnkanaal/Noordzeekanaal.

**Fig. 0.2: Aan- en afvoerroutes (maximum debieten) van water rond het Markermeer (Bron: Waterakkoorden IJsselmeergebied, RWS, waterschappen).**

### Maatgevende omstandigheden voor macro-stabiliteit

Het overgrote deel van de dijken tussen Amsterdam en Hoorn is afgekeurd op de stabiliteit van de binnenzijde. De maatgevende omstandigheden (behorend bij de norm van 1:10.000 jaar) die bij deze afkeuring bepalend zijn, zijn een meerpeil van +0,70m NAP in combinatie met windkracht 4 à 5 Beaufort uit oostelijke richting.

Dergelijke omstandigheden kunnen ontstaan bij gestremde afvoer in de Afsluitdijk, waardoor het IJsselmeerpeil stijgt. Het Markermeerpeil stijgt vervolgens mee, omdat het Markermeer niet meer kan afvoeren via de spuisluizen op het IJsselmeer, terwijl de poldergemalen nog wel op het Markermeer blijven afwateren. Het is niet de bedoeling dat hoogwater van het IJsselmeer overloopt in het Markermeer. De wind in deze situatie is niet echt doorslaggevend, het gaat voor stabiliteit met name om de lange duur van de hoge meerpeilstand.

#### Intermezzo: verschil tussen toets- en ontwerppeil

Het maatgevende meerpeil voor macrostabiliteit waar bij de toetsing mee wordt gerekend is +0,70m NAP (dus een peil dat 1,1m hoger is dan het winterstreefpeil van -0,40m NAP). Bij ontwerp wordt ook rekening gehouden met onzekerheid voor toekomstige wijzigingen. Het ontwerppeil is daarom hoger, in dit geval is het ontwerpmeerpeil +1,00m NAP. Dat is een verschil van 1,4 meter met het winterstreefpeil.

### Pompen

Een pomp kan helpen om de waterstand niet te ver te laten oplopen. Zo is bijvoorbeeld berekend dat met een pomp van 100 m³/s op de Houtribdijk een waterschijf van ongeveer 1 centimeter per dag kan worden weggepompt. Op die manier kan het waterpeil beter gereguleerd worden.

De vraag of het waterpeil beter gereguleerd kan worden, valt uit te splitsen in een aantal sub-vragen:

- De huidige situatie (zonder pompen)
- De toekomstige situatie:
  - Met pompen op de Afsluitdijk
  - Met pompen op de Houtribdijk
- De aard van een eventuele peilverlaging:
  - Permanent
  - Incidenteel (op basis van kritieke weersverwachting)

Dit levert een aantal opties op, die in het onderzoek verder zijn uitgewerkt.

### Het effect van pompen op het meerpeil

In het onderzoek is gekeken naar het effect op het meerpeil van het Markermeer en het IJsselmeer van pompen op de Houtribdijk (met een pompcapaciteit variërend van 50 tot 450 m<sup>3</sup>/s) en op de Afsluitdijk (idem). Uit de modelberekeningen blijkt dat een pompcapaciteit van 150 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk leidt tot een kleinere hydraulische belasting (overeenkomend met ongeveer 0,3 m MHW-verlaging voor het traject Hoorn-Amsterdam). Een pompcapaciteit van 300 m<sup>3</sup>/s levert 0,6 m verlaging op, een pomp van 450 m<sup>3</sup>/s levert 0,75 m op. Door het pompen stijgt de MHW van het IJsselmeer met een kleine decimeter. Het vigerende beleid schrijft voor dat een MHW-stijging moet worden gecompenseerd. Om MHW-verhoging op het IJsselmeer te voorkomen, is een vergelijkbare pompcapaciteit nodig op de Afsluitdijk als op de Houtribdijk.

#### Intermezzo: verschil tussen MHW-Markermeer en MHW-IJsselmeer:

Uit de berekeningen blijkt dat in piekperiodes een pompcapaciteit op de Afsluitdijk van 2000 m<sup>3</sup>/s vrijwel geen effect heeft op de MHW van het Markermeer. Het gaat om centimeters verschil. Kennelijk is deze pompcapaciteit nog onvoldoende om de MHW van het Markermeer te beïnvloeden. Of andersom geredeneerd: er stroomt in piekperiodes aanzienlijk meer water het IJsselmeer in dan een pomp van 2000 m<sup>3</sup>/s kan wegpompen. Op zich kan de beperkte invloed op het Markermeer wel verklaard worden: in de referentie is het meerpeil van het IJsselmeer in een 1:10.000-situatie +1,21m NAP. Een pomp van 2000 m<sup>3</sup>/s kan daar bijna 50 cm afhalen, maar dan resteert nog steeds een peil dat hoger is dan dat van het Markermeer.

### Kosten van pompen

Wat betreft de investeringskosten voor pompen wordt in deze studie gewerkt met een kostenkental van 50 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s, en een ondergrens van 25 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s. Het kostenkental van 50 miljoen euro per 100 m<sup>3</sup>/s is gebaseerd op daadwerkelijk gerealiseerde gemalen, en gebaseerd op een uitgebreide database. De investeringskosten van grote gemalen als IJmuiden (260 m<sup>3</sup>/s) en New Orleans (550 m<sup>3</sup>/s) bedroegen eveneens ongeveer 50 miljoen per 100 m<sup>3</sup>/s (prijspeil 2015).

Door ir. Spaargaren en ir. Vroege is een eenvoudig, en daarmee vernieuwend ontwerp ontwikkeld waarvoor het kostenkental van 25 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s wordt gehanteerd (de ondergrens). Het gaat om een samenstel van bewezen technieken, onder meer de pompen en aggregaten. Innovatie kan voordelen hebben, bijvoorbeeld in de investeringskosten. Maar of die qua kostenkental daadwerkelijk een factor 2 lager zijn dan wat tot nu toe aan gemalen is gerealiseerd, moet nog in de praktijk worden bewezen. Dat hangt af van de randvoorwaarden en de uitwerking tot en met de realisatie.

Bij een pomp van 300 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk betekent een kostenkental van 50 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s een investering van 150 miljoen euro. Bij een kostenkental van 25M€ per 100 m<sup>3</sup>/s ontstaat een investering van 75 M€.

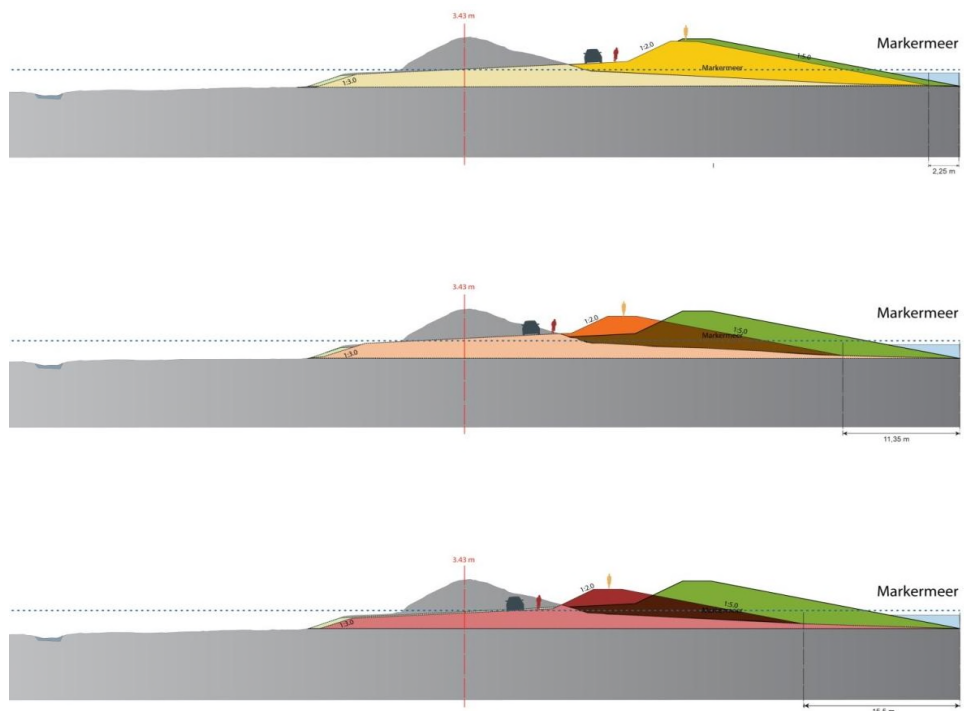
Als er wordt gekozen, conform vigerend beleid, om de MHW-stijging op het IJsselmeer te compenseren is eveneens een pomp van 300 m<sup>3</sup>/s nodig op de Afsluitdijk. De kosten hiervoor zijn hetzelfde als bij de Houtribdijk.

De totale kosten van pompen op de Houtribdijk en Afsluitdijk tezamen komen daarmee op 300 miljoen euro. Bij een kostenkental van 25 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s ontstaat een investering van totaal 150 M€. De operationele kosten zijn ten opzichte van de investeringskosten klein (0,6% per jaar). Omdat de pompen naar verwachting gemiddeld slechts enkele weken per jaar draaien, zullen ook de energiekosten waarschijnlijk kleiner zijn dan 1 miljoen euro per jaar.

### Consequenties voor het dijkontwerp

Vervolgens is gekeken wat het effect is van een MHW-daling van respectievelijk 0,3m, 0,6m en 0,9m op het ontwerp van de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam. Uitgangspunt daarbij was het Voorkeursontwerp (VOPP), omdat alleen daarvoor binnen de beschikbare tijd voor deze studie ontwerpresultaten konden worden gekregen. Een uitgangspunt daarbij was ook dat gewerkt is met de beschikbare modellen. Het ontwikkelen en toepassen van nieuwe modellen was binnen de scope van deze studie niet mogelijk.

Het effect van een MHW-verlaging op het ontwerp van de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam wordt allereerst uitgedrukt in het fysiek ontwerp (bijvoorbeeld minder brede steunbermen of lagere oeverdijken) op in totaal 8 representatieve locaties. Onderstaand een voorbeeld van een resultaat.



**Fig. 0.3: Voorbeeld van een optimalisatie (bij Warder) van het Voorlopig Ontwerp (VOPP, in groen), bij respectievelijk een MHW-daling van 0,3m (in geel), 0,6 m (in oranje) en 0,9 m (in roodbruin).**

Op basis van de effecten voor de 8 representatieve locaties zijn kostenbesparingen berekend ten opzichte van het voorlopig ontwerp, dat op ongeveer 300 miljoen euro is geraamd. De kostenbesparingen variëren tussen de 10 miljoen (ondergrens bij een MHW-daling van -0,3 m) en 150 miljoen euro (bovengrens bij een MHW-daling van 0,9 m). De ondergrens van de besparing bij een MHW-daling van 0,6 m bedraagt ongeveer 40 miljoen euro, de bovengrens 100 miljoen euro. Zie ook onderstaande tabel.

**Tabel 0.1: Onder- en bovengrens van besparingen (in M€, incl. BTW) op de investeringskosten bij diverse varianten (gehele traject Hoorn-Amsterdam)**

Locatie	Variant	Ondergrens besparing investeringskosten in M€ (incl. BTW)	Bovengrens besparing investeringskosten in M€ (incl. BTW)
MMD Hoorn-Amsterdam	ontwerppeil -0,3	9	48
	ontwerppeil -0,6	36	96
	ontwerppeil -0,9	65	148

Een MHW-daling van het Markermeer heeft niet alleen effect op de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam. Ook bij de andere dijktrajecten langs het Markermeer die de komende 50 jaar moeten worden aangepakt kunnen voordelen optreden. Het gaat om de volgende trajecten:

- Houtribdijk (wordt momenteel aangepakt)
- Markermeerdijken Zuiderzeeland
  - a. Oostvaardersdijk (Lelystad-Almere)
  - b. Randmeerdijken (Almere-Nijkerkerbrug)
- Randmeerdijken Noord-Holland (Nijkerk-Oranjesluizen)
- Markermeerdijken Hoorn-Enkhuizen.
- Marken

Voor al deze trajecten geldt dat de hydraulische belasting wind gedomineerd is: West, Zuid, Noord en daartussenin, dit zijn veelvoorkomende windrichtingen in Nederland. Bij de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam is de windbelasting juist uit het oosten, en die is zelden boven 7 à 8 Beaufort. Dit traject is daarom meerpeil gedomineerd.

Voor de wind gedomineerde overige trajecten rondom het Markermeer geldt, dat de hydraulische belasting maar beperkt beïnvloed wordt door het meerpeil. Het gaat vooral om golfoploop en scheefstand. Dit betekent ook dat pompen, met hun effect op het meerpeil, weinig invloed hebben. Op het moment dat er storm in de weersvoorspellingen zit, is dat maximaal 7 dagen vooruit. Dat is ook de tijd die beschikbaar is om het meerpeil te verlagen met pompen. Een pomp van 100 m<sup>3</sup>/s kan het Markermeer 1 cm per dag doen dalen. Om 30 cm meerpeildaling in een week te realiseren is dan ruim 400 m<sup>3</sup>/s aan pompcapaciteit nodig. En voor 60 cm is 850 m<sup>3</sup>/s nodig. En dan nog bestaat de kans dat de storm pas op het laatste moment gezien wordt in de weersvoorspelling. Voor een betrouwbare situatie zou daarom het meerpeil continu verlaagd moeten worden met 30 of 60 cm. Dat heeft echter veel negatieve effecten op andere functies, en leidt tot ongewenste situaties met onder andere paalrot en klink, waardoor huizen op en achter de dijk gaan verzakken.

Pompen werken dus niet goed op de wind gedomineerde overige trajecten rondom het Markermeer. Eventuele dijkversterkingen bij deze trajecten worden niet minder

door met pompen de MHW te verlagen. Alleen verlagen van het gemiddeld meerpeil helpt, maar dat is vanwege neveneffecten op andere functies ongewenst.

### **Synthese**

Op basis van het onderzoek naar hydraulische belastingen, kosten van pompen en de effecten op het dijkontwerp, kan worden geconcludeerd dat van de 3 onderzochte MHW-verlagingen (0,3m, 0,6m en 0,9m) waterstaatkundig gezien een MHW-verlaging van 0,6m het meest effectief is. Een MHW-verlaging van 0,3 m doet weinig op het ontwerp, en voor een MHW-daling van 0,9m is exponentieel meer pompcapaciteit nodig. 450 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk is in ieder geval ruim onvoldoende om dit te bereiken, waardoor de investeringskosten sterk oplopen.

Met een MHW-daling van 0,6 m zou het huidige toetspeil uitkomen op +0,10 m NAP. Dat is een situatie die in 1998 daadwerkelijk is opgetreden. De vertegenwoordigers van de adviesgroep hebben aangegeven dat wat hun betreft een MHW-daling van 0,6 m afdoende is.

Bij een kostenkental van 50 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s zijn de investeringskosten voor pompen op de Houtribdijk en Afsluitdijk samen 300 M€. Hiermee kan 0,6 m MHW-verlaging worden gerealiseerd. De bovengrens voor de baten ligt op 100 M€. Het verschil tussen die twee is dus ongeveer 200 M€ negatief. Ook bij een kostenkental van 25 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s is de bovengrens van de besparing (100 miljoen euro) lager dan de ondergrens van de investering (150 miljoen €).

Naast de mogelijke kostenbesparingen bij de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam zouden er ook andere baten kunnen zijn. Dat kan in geld zijn (bijvoorbeeld vermeden kosten bij andere dijkversterkingen langs het Markermeer), maar ook niet-monetair. Een voorbeeld van dat laatste is dat een aangepast ontwerp ruimtelijk of cultuur-historisch beter inpasbaar is. Dat laatste is overigens op dit moment moeilijk te waarderen in een kosten-batenanalyse. Wel zijn de vermeden kosten bij andere dijkversterkingen onderzocht. Deze blijken ten opzichte van de ondergrens voor de investeringen voor pompen erg klein te zijn (orde grootte enkele miljoenen).

### **Conclusies**

Vertrekpunt bij deze studie waren het VOPP en de vigerende modellen. Dit heeft invloed op de uitkomsten en conclusies van deze studie. In de volgende paragraaf ('aandachtspunten') wordt hier verder op ingegaan. Uitgaande van het VOPP, de vigerende rekenmodellen/rekenregels en het vigerende beleid kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

#### 1. Algemeen:

Het is mogelijk om met pompen op de Houtribdijk de hydraulische belasting op de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam significant te verlagen (zie conclusie 2). Het effect op het ontwerp van de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam is echter zodanig, dat er nog steeds een forse opgave resteert om de dijken te versterken (zie conclusie 4).

#### 2. Pompen en effect op MHW's:

Een MHW-verlaging van 0,6 m lijkt waterstaatkundig gezien het meest effectief. Dan komt de MHW ook in de buurt te liggen van recent opgetreden waterstanden. Om dat te bereiken is een pompcapaciteit nodig van 300 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk.

Hiermee kan per dag orde grootte 3 cm waterschijf van het Markermeer worden weggepompt.

Conform het vigerend beleid mag peilverlaging van het Markermeer niet worden afgewenteld op het IJsselmeer. Dat betekent dat dezelfde pompcapaciteit nodig is op de Afsluitdijk (extra ten opzichte van wat nu gepland is; deze is bedoeld om de vermindering van spuicapaciteit door zeespiegelstijging te compenseren).

Het aanslagpeil van de pompen (het meerpeil waarop de pompen aanslaan) maakt uit voor de MHW-verlaging die kan worden bereikt. In de meeste berekeningen is ingebouwd dat de pompen aanslaan zodra een meerpeil van -0,27 m NAP is bereikt (dat is het gemiddelde winterpeil van het IJsselmeer). Bij een aanslagpeil van -0,37m NAP dalen de MHW's op het Markermeer extra. Bij 150 m<sup>3</sup>/s met 7 cm, bij 300 en 450 m<sup>3</sup>/s 10 cm. Het gemiddelde meerpeil blijft min of meer onveranderd. Het nadeel van een lager aanslagpeil is dat de pompen vaker aan staan (gemiddeld 3 keer langer dan bij een aanslagpeil van -0,27m NAP), en dat het meer op een vrijwel constant peil staat (tussen -0,40 en -0,37m NAP). Voor sommige functies (met name natuur) is dit minder aantrekkelijk.

Neerslag heeft eveneens invloed op de MHW's van het Markermeer. Door klimaatverandering kan de neerslag toenemen. Er zijn berekeningen gemaakt met een neerslagtoename van 10% en 20%. Het MHW stijgt hierdoor met respectievelijk 9 en 19 cm. De stijging van de maatgevende 10-daagse neerslagsom in de KNMI-klimaatscenario's (uit 2014) is 6 tot 17% in 2050, en 8 tot 25% in 2100. Dit kan er toe leiden dat extra pompcapaciteit op de Houtribdijk nodig is om de gewenste MHW-verlaging te bereiken.

### 3. Kosten(kentallen) pompen:

Kostenkentallen voor pompen variëren tussen 25 en 50 miljoen euro per 100 m<sup>3</sup>/s. De raming op basis van de Standaardsystematiek voor kostenramingen in de bouw (SSK) komt uit op een kostenkental van 50 miljoen euro per 100 m<sup>3</sup>/s. Dit is berekend op basis van gemalen die tot nu toe gebouwd zijn. Zoals gebruikelijk in de Standaard-Systematiek Kostenramingen (CROW, 2010), wordt een risico-opslag gehanteerd, in dit geval van 35%. Tevens geldt voor kostenramingen in de verkenningsfase een spreiding van plus of min 50%. Het kostenkental van 50 M€ kent dus een bandbreedte van 25 tot 75 M€.

Een kostenraming op basis van een eenvoudig, vernieuwend ontwerp van ir. Vroege en ir. Spaargaren komt uit op een kostenkental van 25 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s. Hierin is een post onvoorzien opgenomen van 10%.

De investeringskosten voor pompen om een MHW-verlaging van 0,6 m te bereiken op het Markermeer, en tevens de MHW-stijging op het IJsselmeer te compenseren, variëren bij kostenkentallen van respectievelijk 25 en 50 M€ tussen de 150 en 300 miljoen euro (uitgaande van 300 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk en 300 m<sup>3</sup>/s extra op de Afsluitdijk). Daar komen nog operationele kosten bij van 0,6% per jaar. De pompen hoeven hooguit enkele weken per jaar aan te staan, waardoor de energiekosten klein zijn ten opzichte van het investeringsbedrag. Omdat de operationele kosten klein zijn ten opzichte van de investeringskosten en de investeringstermijnen voor pompen en dijkversterkingen vergelijkbaar zijn (ongeveer 50 jaar) is besloten de kosten niet terug te rekenen naar een Netto Contante Waarde. Dat levert geen nieuwe inzichten op.



#### 4. Effect MHW-verlaging op Markermeerdijken Hoorn-Amsterdam:

Een MHW-verlaging met 0,6 m heeft effect op het ontwerp van de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam. Het effect verschilt per deeltraject. Een dijkversterking kan echter niet worden voorkomen.

Financieel gezien varieert het effect op het ontwerp van de Markermeerdijken bij een pompcapaciteit van 300 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk tussen 40 miljoen euro (ondergrens) en 100 miljoen euro (bovengrens). Dit betreft een kostenbesparing ten opzichte van de bestuurlijk vastgestelde voorkeursvariant (VOPP).

Een en ander betekent dat bij een MHW-daling door pompen van 0,6 m en een kostenkental van 50 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s het verschil tussen investeringskosten (300 M€) en de bovengrens van de baten (100 M€) ongeveer 200 M€ is. Als de ondergrens van het kostenkental wordt gehanteerd (25 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s) is de bovengrens van de besparing (100 miljoen euro) kleiner dan de ondergrens van de investering (150 miljoen €). Bij deze ramingen is uitgegaan van 300 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk en 300 m<sup>3</sup>/s op de Afsluitdijk.

#### 5. Indirecte effecten

Naast directe effecten op het ontwerp van de dijk tussen Hoorn en Amsterdam, is ook gekeken naar andere mogelijke baten, bijvoorbeeld de vermeden kosten bij andere dijkversterkingen rondom het Markermeer. Deze blijken ten opzichte van de ondergrens voor de investeringen voor pompen erg klein te zijn (orde grootte enkele miljoenen). Mogelijke baten zijn wellicht ook een betere ruimtelijke of cultuur-historische inpassing, maar die zijn lastig in geld uit te drukken.

#### **Aandachtspunten**

In dit rapport zijn diverse aandachtspunten en onzekerheden aan de orde geweest. Onderstaand worden de belangrijkste samengevat. De meeste hebben te maken met het verkennende karakter van deze studie.

1. ENW geeft in haar advies (zie bijlage 2) op diverse punten en vanuit verschillende invalshoeken aan dat verder onderzoek naar de bewezen sterkte van de huidige dijk een aanzienlijke besparing in kosten en een substantiële reductie van de dijkversterkingsopgave kan opleveren, al dan niet in combinatie met het toepassen van pompen. ENW adviseert om de komende maanden te gebruiken om te verkennen in hoeverre 'bewezen sterkte' een kansrijk concept is om toe te passen bij de Markermeerdijken.
2. Bij de interpretatie van de berekeningen is aangenomen dat een meerpeildaling met een kans van 1:10.000 grosso modo één op één doorwerkt in de MHW en de hydraulische belasting van het traject Hoorn-Amsterdam. Dat is niet helemaal waar, omdat een meerpeildaling ook doorwerkt in scheefstand en golfoploop. Maar gezien het verkennende karakter van deze studie en het feit dat het om een verschilberekening gaat, is aangenomen dat dat in dit geval gerechtvaardigd is. In de onderliggende RHDHV rapportage heeft dit uitgangspunt geleid tot een inschatting van de bovengrens van de optimalisatie. Wel heeft RWS opdracht gegeven aan HKV Lijninwater om een koppeling te realiseren tussen de rekenmodellen DEZY en Hydra, zodat de effecten van meerpeilveranderingen op de MHW direct en preciezer kunnen worden afgeleid.
3. Het niet meenemen van Dijken op Veen en de nieuwe normering in deze studie heeft tot gevolg dat er inzicht ontstaat in enkel het effect van het plaatsen van pompen. Dat was ook de bedoeling. Voor de andere onderwerpen zijn gelijksoortige onderzoeken uitgevoerd. Bij het ontwerp van de dijk spelen al deze aspecten op elkaar in. Bijvoorbeeld: een mogelijke kruinverlaging als gevolg van de nieuwe normering is nog niet meegenomen. We weten echter op basis van de impactanalyse die is uitgevoerd dat het effect van de nieuwe

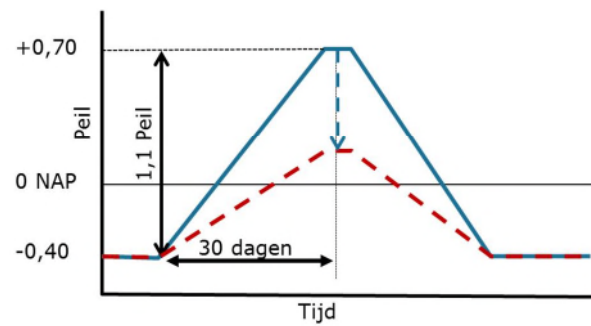
normering nog niet exact duidelijk is, en nog afhankelijk van de ontwikkelingen rondom het nieuwe Ontwerpinstrumentarium. Op basis van de huidige kennis lijkt de impact van de nieuwe normering beperkt. Het lijkt eerder een kruinverhoging dan een kruinverlaging op te leveren. Van Dijken op Veen wordt op basis van de beschikbare kennis op dit moment ingeschat dat de winst beperkt is.

Genoemde onderzoekstrajecten zijn echter nog niet afgerond. Mede gezien het advies van ENW lijkt het verstandig een goede analyse uit te voeren van de effecten van Dijken op Veen en de nieuwe normering op de omvang van de benodigde dijkversterking. Daarbij hoort ook een gevoeligheidsanalyse van de parameterinstellingen van het gehanteerde geotechnisch model, inclusief een beschouwing in hoeverre andere instellingen kunnen leiden tot nieuwe inzichten over de omvang van de dijkversterking. Separaat kan ook een beschouwing worden gegeven over de kansrijkheid om een geheel ander model (Plaxis) toe te passen. De komende maanden kan worden uitgezocht wat daar allemaal voor nodig is, en wat de te verwachten optimalisatie is.

4. In dit onderzoek is er voor gekozen om uit te gaan van het gekozen VOPP en de vigerende modellen. Er is hiervoor gekozen, omdat het onderzoek een verkennend karakter heeft en tot doel heeft om een indruk van de impact te krijgen. Optimalisaties in het VOPP zijn voorzien in de eerste fase van de planfase, in samenspraak met de omgeving. Daarop vooruitlopend is in dit rapport op basis van expert judgement een inschatting gemaakt van de locaties waar wellicht optimalisaties mogelijk zijn (zie hiervoor paragraaf 4.5.2 van dit rapport). Ook 'bewezen sterkte' is daarbij een aandachtspunt. Voorgaande aspecten komen terug in het advies van ENW.



## Syntheserapport pompen Markermeerdijken HWBP2



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding onderzoek

In de tweede toetsronde op de primaire waterkeringen (2006) is ruim 33 kilometer van de Markermeerdijken tussen Amsterdam-Noord en Hoorn afgekeurd (IVW, 2006). Het overgrote deel van de dijken (90%) is afgekeurd op het faalmechanisme binnenwaartse stabiliteit. Daarnaast zijn de dijken op een gering aantal plekken niet hoog genoeg, niet stabiel aan de buitenzijde of voldoet de bekleding niet. In de Waterwet (MinVenW, 2009) is vastgelegd dat afgekeurde primaire keringen worden opgenomen in het Hoogwaterbeschermingsprogramma ([www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl](http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl)). Zo wordt ervoor gezorgd dat de dijken versterkt worden en weer het noodzakelijke beschermingsniveau bieden voor het achterliggende gebied.

De aanpak van het traject Hoorn-Amsterdam is opgenomen in het HWBP2. Hoogheemraadschap Noorderkwartier (HHNK) heeft het voortouw in het project. HHNK is onder meer een omgevingsproces gestart waarin ook omwonenden en andere belanghebbenden worden meegenomen. Daarbij is een Adviesgroep samengesteld, waarin enkele tientallen maatschappelijke groepen zijn vertegenwoordigd.

Op 17 maart 2015 is tijdens een bijeenkomst van de Adviesgroep met de Deltacommissaris (Wim Kuijken), de Directeur-Generaal Ruimte en Water van IenM (Peter Heij) en de dijkgraaf van HHNK (Luc Kohsiek) gesproken over nut en noodzaak van het HWBP2-project Markermeerdijken. Tijdens deze bijeenkomst zijn diverse vragen van de Adviesgroep besproken. Zie voor een verslag van de bijeenkomst [http://www.markermeerdijken.nl/markermeerdijken/achtergrond-documenten\\_3263/item/verslag-en-video-gesprek-deltacommissaris-met-adviesgroep\\_3418.html](http://www.markermeerdijken.nl/markermeerdijken/achtergrond-documenten_3263/item/verslag-en-video-gesprek-deltacommissaris-met-adviesgroep_3418.html).

Voor een aantal vragen is afgesproken dat daarvoor een aparte bijeenkomst ('technische sessie') zou worden georganiseerd. Het ging daarbij om de volgende vragen:

- Hoe werkt het watersysteem Markermeer en omgeving?
- Hoe ontstaan maatgevende omstandigheden?
- Kan via regulering van het waterpeil de hydraulische belasting worden verminderd, bijvoorbeeld via pompen op de Houtribdijk en/of Afsluitdijk?
- En zo ja: helpt dit om de dijkversterking te voorkomen/beperken? En wat zijn de voor- en nadelen van diverse opties?

Deze vragen zijn tijdens een technische sessie op 18 mei 2015 behandeld. Presentaties, een notitie en het verslag van de bijeenkomst zijn te vinden op [https://www.hhnk.nl/markermeerdijken/actueel\\_285/item/onderzoek-naar-combinatie-dijkversterking-en-pompen\\_3743.html](https://www.hhnk.nl/markermeerdijken/actueel_285/item/onderzoek-naar-combinatie-dijkversterking-en-pompen_3743.html).

## **1.2 Onderzoeksvragen**

Tijdens de technische sessie van 18 mei 2015 bleek, dat er 2 belangrijke onderzoeksvragen zijn:

1. In hoeverre kan met pompen op de Houtribdijk de hydraulische belasting (MHW) van het Markermeer significant verlaagd worden (met 30 tot 90 cm).
  - a. Welke pompcapaciteit is nodig?
  - b. Wat is het effect op de MHW?
  - c. Wat zijn de kosten voor de pompen (gehele levenscyclus, inclusief o.a. beheer en onderhoud en energiekosten)?
2. Wat is het effect van een MHW-verlaging op het ontwerp van de Markermeerdijken?
  - a. Kan daarmee een minder ingrijpend ontwerp worden gerealiseerd?
  - b. Wat zijn de financiële baten (primair van de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam, maar wellicht ook elders langs het Markermeer).

In beide gevallen zullen ook de kosten en baten in beschouwing moeten worden genomen. Naast de directe kosten en baten op de Markermeerdijken gaat het ook om de effecten op andere dijkversterkingsprojecten langs het Markermeer en eventuele andere baten.

In het plan van aanpak voor dit project wordt aangegeven hoe de beantwoording van de vragen ter hand is genomen (Rijkswaterstaat, juni 2015). Een deel van de vragen is opgepakt door RWS (die met betrekking tot het watersysteem, hydraulische belastingen en pompen), een ander deel door HHNK (met name de gevolgen voor het dijkontwerp). De resultaten van de diverse onderzoeken zijn samengevoegd in voorliggend syntheserapport.

## **1.3 Doelstelling**

De doelstelling van dit project is de beantwoording van de bovenstaande onderzoeksvragen.

## **1.4 Op te leveren resultaat**

Zoals door de Minister aangegeven, dient het onderzoek om de variant met pompen op de Houtribdijk beter uit te werken, en te bezien in hoeverre dit invloed heeft op het ontwerp van de Markermeerdijken (traject Hoorn-Amsterdam).

Hiervoor dient een feitelijk rapport te worden opgeleverd waarin de 2 onderzoeksvragen worden beantwoord, onder begeleiding van een begeleidingsgroep met vertegenwoordigers van de Adviesgroep, Rijkswaterstaat, het ministerie van Infrastructuur en Milieu (DGRW) en HHNK. De begeleidingsgroep staat onder voorzitterschap van de directeur van de staf-Deltacommissaris.

Het onderzoek concentreert zich op het Markermeer, maar uiteraard wordt ook de waterhuishoudkundige omgeving van het Markermeer meegenomen. Het gaat dan onder meer om de omliggende waterschappen, het Noordzeekanaal en het IJsselmeer. Tijdens het onderzoek zal ook aandacht besteed worden aan pompen op de Afsluitdijk.

## **1.5 Vertrekpunten**

Vertrekpunt bij deze studie waren het Voorlopig Ontwerp (VOPP) en de vigerende modellen (HHNK, feb 2015). De vertegenwoordigers van de Adviesgroep in de begeleidingsgroep hebben aangegeven dat zij ook graag de huidige dijk als uitgangspunt hadden gezien (met aandacht voor bewezen sterkte, gebaseerd op een werkelijk opgetreden hoogwatersituatie in 1998), het liefst doorgerekend met

een model als Plaxis. Dat bleek binnen de scope van deze studie echter niet mogelijk. Aan het eind van dit document wordt hier verder op teruggekomen. Andere uitgangspunten voor deze studie waren 'Peilbeheer en hydraulische randvoorwaarden van het Markermeer' (RWS, 2015) en de huidige staat van de dijken (conform toetsing).

## 1.6 Afbakening

Om tegemoet te komen aan de inhoudelijke eisen wordt de volgende afbakening gehanteerd voor het project.

Binnen het project vallen de volgende onderdelen:

- Kwantitatieve uitwerking van opties 2 en 5 (zie par. 1.1 van het plan van aanpak (RWS, juni 2015) en hoofdstuk 2 van dit rapport),
- Pompcapaciteiten: 50-450 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk,
- Mogelijke MHW-verlaging (30 tot 90 cm) op het Markermeer. Binnen deze bandbreedte bevindt zich ook de maximaal opgetreden waterstand sinds de sluiting van de Houtribdijk en Afsluitdijk.
- Mogelijke MHW-effecten op het IJsselmeer
- Kosten van de pompen (LCC; 100 jaar).
- Om kosten goed te vergelijken wordt voor zowel de pompen als de dijkontwerpen omgerekend naar Netto Contante waarden (hierdoor wordt de tijdshorizon vergelijkbaar). In beide gevallen wordt ook gerekend met de standaard risico-opslag.
- Effecten op het dijkontwerp (fysiek in termen van verminderde omvang en financieel; ontwerplevensduur 50 jaar).
- Overige kosten en baten (o.a. op toekomstige dijkversterkingen van dijken elders langs het Markermeer, maar eventueel ook kwalitatief op andere functies in de omgeving van het Markermeer (bijvoorbeeld buitendijks)).

Onder de inhoudelijke uitwerking vallen conform het plan van aanpak niet de volgende onderdelen:

- Aanpassing van de golfhoogtes. Door een MHW-verlaging zal theoretisch ook de golfhoogte veranderen, maar in dit geval is aangenomen dat die verwaarloosbaar klein is op het ontwerp van de Markermeerdijk tussen Hoorn en Amsterdam.
- Impact van nieuwe normering. Hiervoor loopt al een apart traject (resultaten van alle onderzoekstrajecten worden later geïntegreerd).
- Dijken op Veen. Hiervoor loopt al een apart traject.

## 1.7 Programma van Eisen

Resultaten worden uitgedrukt in:

- Pompcapaciteit Houtribdijk en Afsluitdijk
  - M<sup>3</sup>/s
  - Draaiuren
  - Kosten (LCC en NCW)
- MHW-effecten op Markermeer en IJsselmeer
- Effecten op dijkontwerp Hoorn-Amsterdam
  - Fysiek (dijkontwerp, kaarten)
  - Kosten
- Overige kosten-baten
  - Waterkeringen elders Markermeer
  - Overige effecten (kwalitatief; zie de peilthermometer, par. 2.10, fig. 2.10 in dit rapport).

## 1.8 Deelonderzoeken en activiteiten

Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden, zijn de volgende deelonderzoeken en activiteiten uitgevoerd:

- a. Analyse pompen Houtribdijk en effect op MHW's (pompcapaciteit variërend van 50 tot 450 m<sup>3</sup>/s).
- b. Analyse kosten pompen (investeringskosten, LCC en NCW).
- c. Analyse effect MHW-verlaging op ontwerp Markermeerdijken Hoorn-Amsterdam.
- d. Analyse overige effecten
  - i. Effect van MHW-verlaging op dijkversterkingsprojecten elders langs het Markermeer.
  - ii. overige kosten/baten (kwalitatief).
- e. Integreren deelproducten tot syntheserapport.
- f. Kwaliteitsborging.

Onderstaand een toelichting per onderdeel.

### a. Analyse pompen Houtribdijk en effect op MHW's

Dit onderdeel is door RWS belegd bij HKV Lijninwater. Zij hebben in het kader van een ander project een model ontwikkeld voor het Markermeer, dat de eerste onderzoeksvraag goed en snel kan beantwoorden.

De berekeningen concentreren zich op het effect op de MHW's van het Markermeer en IJsselmeer van de inzet van pompen op de Houtribdijk. Indien de MHW's van het IJsselmeer stijgen, wordt ook onderzocht welke extra pompcapaciteit op de Afsluitdijk nodig is om dit te compenseren. Tevens wordt gekeken naar de effecten van klimaatverandering op de MHW's en naar het effect van een ander aanslagpeil van de pompen.

### b. Analyse kosten pompen

Hiervoor is gebruik gemaakt van een uitbesteding van RWS in het kader van het Sluizenplan voor de Rijnmaasmonding (motie Geurts), begeleid door het ECKB (Expertise-Centrum Kosten en Baten van RWS en waterschappen). De resultaten hiervan kunnen ook worden gebruikt voor dit project. Naast de kostenkentallen die in de standaard systematiek kostenramingen (SSK) worden gebruikt, worden ook de kostenkentallen van ir. Spaargaren/ir. Vroege geanalyseerd.

### c. Analyse effect MHW-verlaging op ontwerp Markermeerdijken Hoorn-Amsterdam

Dit onderdeel is door HHNK belegd bij Royal Haskoning DHV en FUGRO. Kernvraag: wat levert een MHW-daling van 30, 60 en 90 cm op qua dijkontwerp, bijvoorbeeld de benodigde breedte van de binnenberm? En wat zijn vervolgens de financiële besparingen? Dit is voor diverse representatieve locaties gedaan, waarbij ook verschillende typen oplossing (met name buitenwaartse asverschuiving en oeverdijk) beoordeeld worden.

Kosteneffecten worden bepaald door winst in het ontwerp ten opzichte van de meest recente projectraming in te schatten.

### d. Analyse overige effecten (kwalitatief)

Er worden een aantal onderwerpen in aparte notities behandeld:

*Effect van MHW-verlaging op dijkversterkingsprojecten elders langs het Markermeer en overige kosten/baten*

Dit onderdeel is door RWS belegd bij het Kennisplatform risicobenadering. Zij voeren al een impactanalyse uit van de nieuwe normering op de Markermeerdijken.

Die is uitgebreid met een opdracht om de effecten van een MHW-verlaging op het dijkontwerp van de andere dijktrajecten rondom het Markermeer te bepalen. Het gaat onder meer om het traject Lelystad-Almere, waar een nieuwe norm van 1:30.000 is voorzien. Voor dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van de resultaten van Veiligheid Nederland in Kaart-2.

*Overige kosten/baten:*

- Kwalitatief is een beschouwing gegeven over de schade bij buitendijkse gebieden.
- Kwalitatief de mogelijke effecten op wateroverlast in achterliggend gebied, waarbij de ontwikkelingen na 1998 (verbeteringen in het watersysteem) worden betrokken.
- Kwalitatief het effect op schade bij een eventuele overstroming.

#### **e. Integreren deelproducten tot eindrapport**

De deelproducten zijn door RWS en HHNK geïntegreerd tot een eindrapportage (voorliggend syntheserapport). Hierin worden de effecten van de diverse varianten beschreven, inclusief de kosten en baten.

#### **f. Kwaliteitsborging**

Voor elk deelproduct worden de gebruikelijke interne kwaliteitsprocedures doorlopen. Naast kwaliteitsprocedures van opdrachtnemende bureaus wordt ook door opdrachtgevers RWS en HHNK getoetst.

Daarnaast zijn de volgende externe reviews uitgevoerd:

- Ir. Joop Weijers (expert grondmechanica, ZZP-er) heeft continu meegekeken en uiteindelijk een review uitgevoerd op het grondmechanisch onderzoek.
- Deltares heeft op onderdelen meegekeken, maar geen officiële review uitgevoerd.

Naast de inzet van deze verschillende partijen met verschillende expertise is een adviesvraag ingediend bij het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW; zie bijlage 2).

### **1.9**

#### **Werkwijze**

In verband met de korte beschikbare doorlooptijd voor het project, is er voor gekozen de deelactiviteiten min of meer parallel uit te voeren. Voor sommige deelproducten is dat een risico, omdat normaal gesproken gewerkt wordt met output van een ander deelproduct. Dat is met name van belang voor het bepalen van de effecten van een MHW-verlaging op het dijkontwerp. Daarvoor zijn de uitkomsten nodig van het onderzoek naar de relatie tussen pompen en MHW's (eerste deelactiviteit).

Om dit risico te beperken is ervoor gekozen in alle deelonderzoeken te werken met 3 niveaus van MHW-dalingen:

- 0,3 m.
- 0,6 m.
- 0,9 m.

Of dat ook daadwerkelijk met pompen gerealiseerd kan worden, is de vraag. Met name een MHW-verlaging van 0,9 m lijkt op voorhand heel fors, de MHW komt dan uit op het huidige zomerpeil (-0,20m NAP). Het is ook de vraag of dit echt noodzakelijk is, maar daarbij is in ieder geval een bandbreedte gekozen die zeker niet te smal is. Qua pompcapaciteit op de Houtribdijk is eveneens een breed spectrum gekozen: tussen 50 en 450 m<sup>3</sup>/s.

### **1.10 Leeswijzer**

In dit rapport worden per hoofdstuk de uitgevoerde deelonderzoeken beschreven.

- Hoofdstuk 3: Analyse pompen Houtribdijk en effect op MHW's.
- Hoofdstuk 4: Analyse effect MHW-verlaging op ontwerp Markermeerdijken Hoorn-Amsterdam.
- Hoofdstuk 5: Analyse overige effecten.

Voorafgaand daaraan wordt in hoofdstuk 2 een beschrijving gegeven van het watersysteem Markermeer en de (hydrologische) omgeving. In hoofdstuk 6 worden de deelonderzoeken geïntegreerd, en worden overkoepelende conclusies en aandachtspunten geformuleerd. Tevens wordt ingegaan op de onzekerheden die spelen.

## 2 Het watersysteem Markermeer en omgeving

**Samenvatting:** in dit hoofdstuk wordt achtergrondinformatie gegeven over het watersysteem Markermeer en omgeving, hydraulische aspecten en andere relevante achtergrondinformatie met betrekking tot het veiligheidsvraagstuk. Het hoofdstuk sluit af met 5 mogelijke opties om met pompen de MHW van het Markermeer te beïnvloeden. Met enkele van deze opties wordt in de rest van dit rapport verder gewerkt.

### 2.1 Meerpeil en wind bepalen de maatgevende omstandigheden

De belasting op de Markermeerdijken wordt bepaald door het meerpeil en de wind. Naarmate het meerpeil hoger staat, is minder wind nodig om tot maatgevende omstandigheden te komen. Wat betreft de wind gaat het enerzijds om de windkracht, maar uiteraard is ook de windrichting van belang. Voor de Markermeerdijken in Noord-Holland gaat het daarbij vooral om wind uit richtingen tussen Noord en Oost. Hierdoor ontstaat scheefstand, maar ook golfoploop. Onderstaand worden de maatgevende omstandigheden toegelicht voor de faalmechanismen stabiliteit en golfoverloop.

### 2.2 Maatgevende omstandigheden voor het faalmechanisme 'stabiliteit'

Het overgrote deel van de dijken tussen Amsterdam en Hoorn is afgekeurd op de stabiliteit van de binnenzijde. De maatgevende omstandigheden (horend bij een norm van 1:10.000 jaar) die bij deze afkeuring bepalend zijn, zijn een meerpeil van +0,70m NAP in combinatie met windkracht 4 à 5 Beaufort uit oostelijke richting. Dergelijke omstandigheden kunnen ontstaan bij gestremde afvoer in de Afsluitdijk, waardoor het IJsselmeerpeil stijgt. Het Markermeerpeil stijgt vervolgens mee. De wind in deze situatie is niet echt doorslaggevend, het gaat voor stabiliteit met name om de lange duur van de hoge meerpeilstand.

#### Intermezzo: verschil tussen toets- en ontwerppeil

Het maatgevende meerpeil voor macrostabiliteit waar bij de toetsing mee wordt gerekend is +0,70m NAP (dus een peil dat 1,1m hoger is dan het winterstreefpeil van -0,40m NAP). Bij ontwerp wordt ook rekening gehouden met onzekerheid voor toekomstige wijzigingen. Het ontwerppeil is daarom hoger, in dit geval is het ontwerpmeerpeil +1,00m NAP. Dat is een verschil van 1.4 meter met het winterstreefpeil. Hoe dergelijke omstandigheden kunnen ontstaan wordt beschreven in paragraaf 2.8.





**Fig. 2.1: Afschuiving door stabiliteitsproblemen aan de binnenzijde van een dijk**

### **2.3 Maatgevende omstandigheden voor het faalmechanisme 'golfoploop en – overloop'**

Maatgevende omstandigheden voor golfoploop en golfoverloop (daar is een klein deel van de dijken op afgekeurd) treden op bij een meerpeil tussen de -0,10 m NAP en +0,20 m NAP en ongeveer windkracht 8 uit een richting tussen Zuidoost en Noordnoordoost (RWS, 2006). Golfoploop en golfoverloop kunnen er toe leiden dat het binnen- of buitentalud van de dijk beschadigd raakt, waardoor de dijk kan bezwijken. Het is dus niet zo dat het water over de dijk stroomt waardoor de polder volloopt. Het gaat om het doorbreken van de dijk als gevolg van beschadiging van de dijk. In het geval van de Markermeerdijken is in de toetsing rekening gehouden met een kritiek overslagdebiet van 1 liter per meter per seconde.

### **2.4 Kan via regulering van het waterpeil de hydraulische belasting worden verminderd?**

De vraag of het waterpeil beter gereguleerd kan worden, valt uit te splitsen in een aantal sub-vragen:

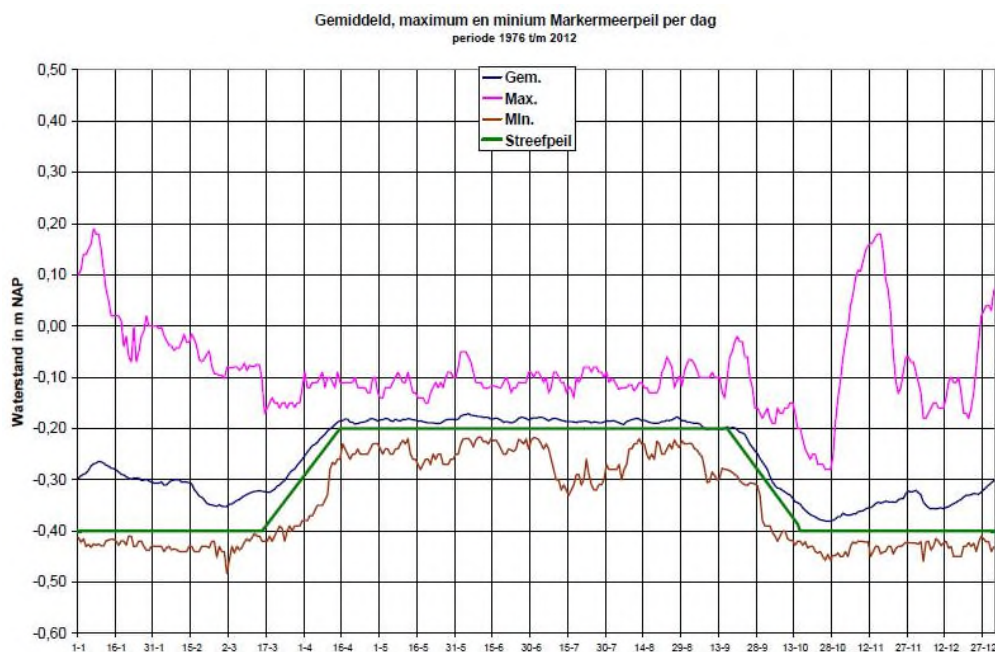
- De huidige situatie (zonder pompen)
- De toekomstige situatie:
  - Met pompen op de Afsluitdijk
  - Met pompen op de Houtribdijk
- De aard van een eventuele peilverlaging:
  - Structureel
  - Incidenteel

Allereerst wordt de huidige situatie beschreven.

### **2.5 Het waterbeheer van het Markermeer en de omgeving**

Het Markermeer is in 1976 ontstaan na sluiting van de Houtribdijk, de dijk tussen Lelystad en Enkhuizen. De Houtribdijk is belangrijk voor de Markermeerdijken, omdat deze een deel van de belasting opvangt. Zonder de Houtribdijk zou de waterstand bij extreme omstandigheden op sommige locaties meer dan een meter hoger kunnen zijn.

Sinds de sluiting van de Houtribdijk, en dus het ontstaan van het Markermeer, wordt het meerpeil gemeten. Dat meerpeil fluctueert dagelijks. Onderstaande figuur toont de daggemiddelde fluctuatie in de periode 1976-2012 (bron: Rijkswaterstaat, database DONAR). Te zien is dat het daggemiddelde peil fluctueert tussen -0,50m NAP en +0,20m NAP. Voor de waterveiligheid is met name het peil in het stormseizoen relevant. Dat loopt van 1 oktober tot 1 april. Dan wordt ook het winterpeil ingesteld. Gemiddeld staat het peil in het stormseizoen (het winterhalfjaar) op -0,33m NAP. Dit zijn gemiddelden voor het gehele Markermeer.



**Fig. 2.2: Gemiddeld, maximum en minimum Markermeerpeil per dag, periode 1976-2012 (bron: RWS, database DONAR).**

Bepalend voor het waterpeil in het winterhalfjaar is allereerst de hoeveelheid water die in en uit het Markermeer stroomt. Wat betreft het instromend water gaat het bij gemiddelde omstandigheden vooral om water uit de omgeving. Water dat wordt afgevoerd uit de polders in Noord-Holland, Flevoland en delen van Gelderland en Utrecht, onder andere de Eem. Daarnaast valt er neerslag direct in het Markermeer.

De gemalen die uitslaan op het Markermeer hebben een maximale capaciteit van 300 m<sup>3</sup>/s (zie fig. 2.3). Voor de neerslag die direct op het Markermeer valt geldt dat 10 mm neerslag per dag een debiet oplevert van 100 m<sup>3</sup>/s. Totaal kan er in natte omstandigheden dus 400 m<sup>3</sup>/s bijkomen in het Markermeer.

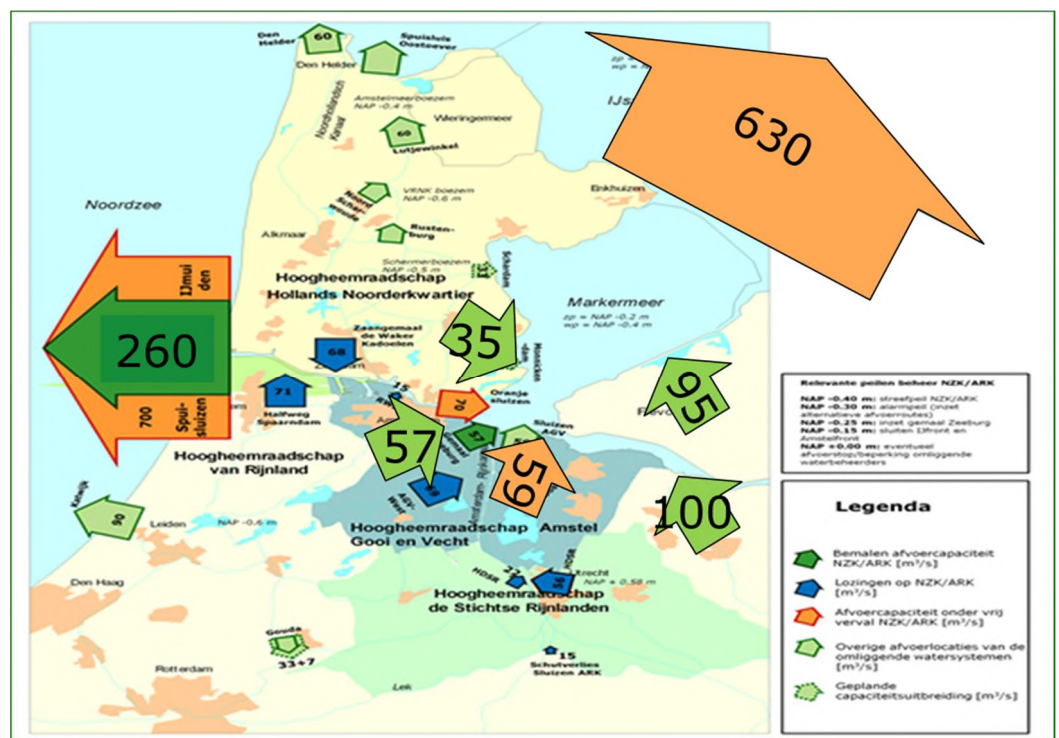
Onder maatgevende omstandigheden zal de maximale pompcapaciteit in de omgeving van het Markermeer volledig gebruikt worden. De gemalen zijn berekend op een situatie die 1:100 jaar voorkomt, vanaf dat moment staan ze voluit aan. Bij de maatgevende omstandigheden gaat het om een situatie van 1:10.000 jaar.

In natte omstandigheden wordt overtollig water zoveel mogelijk richting het IJsselmeer afgevoerd. Dat kan als het water in het Markermeer hoger staat dan in het IJsselmeer, via de sluizen in de Houtribdijk. Bij het IJsselmeer wordt het water uiteindelijk via de spuisluisen in de Afsluitdijk geloosd op de Waddenzee. Theoretisch kan het water van het Markermeer ook worden afgevoerd via het Noordzeekanaal. In het winterhalfjaar staan beide peilen echter gelijk (-0,40m

NAP), waardoor weinig water weg kan. Het alarmpeil van het Noordzeekanaal is bovendien snel bereikt, -0,30m NAP. In de praktijk staat er in het winterhalfjaar dan ook een netto debiet vanaf het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal richting het Markermeer.

Het water in het Noordzeekanaal wordt bij IJmuiden geloosd op de Noordzee via de spui en pompen bij IJmuiden. Hier is 260 m<sup>3</sup>/s aan pompcapaciteit beschikbaar en kan maximaal 700 m<sup>3</sup>/s via de spuisluizen worden geloosd. Die capaciteit is nodig om water af te kunnen voeren dat via het Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal wordt aangevoerd. Die worden op hun beurt weer gevoed met uitslagwater van de omliggende waterschappen, onder andere Rijnland, Hollands Noorderkwartier, Amstel, Gooi en Vecht en Stichtse Rijnlanden. Tezamen kunnen deze waterschappen bij extreem natte omstandigheden 300 m<sup>3</sup>/s lozen op het Amsterdam-Rijnkanaal/Noordzeekanaal. Dat is dus meer dan de pompcapaciteit van gemaal IJmuiden.

Tot slot staat het Markermeer in open verbinding met de Veluwerandmeren, maar via die route kan er geen water worden geloosd. Wel kan er via onder meer de Eem in extreme omstandigheden 100 m<sup>3</sup>/s binnenkomen. In onderstaande figuur is één en ander gevisualiseerd.



Groene pijlen: gemalen, oranje pijlen: spuisluizen, blauwe pijlen: gemalen op het Amsterdam-Rijnkanaal/Noordzeekanaal.

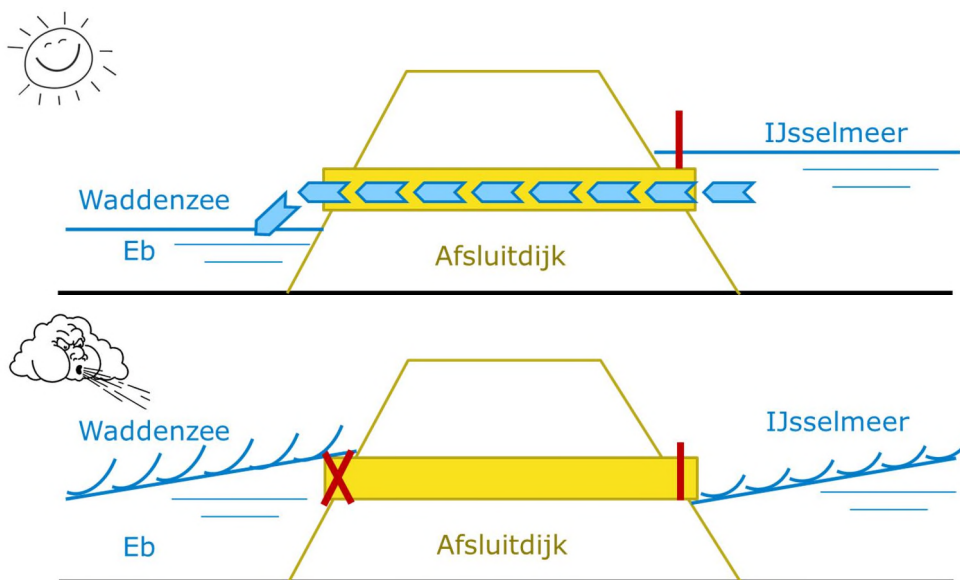
**Fig. 2.3: Aan- en afvoerroutes (maximum debieten) van water rond het Markermeer (Bron: Waterakkoorden IJsselmeergebied, RWS, waterschappen).**

De afvoerroute via het IJsselmeer is in het winterhalfjaar verreweg de belangrijkste. Deze route is echter niet altijd beschikbaar. Zodra het peil op het IJsselmeer hoger staat dan het peil van het Markermeer, kan bijna geen water meer worden afgevoerd.

## 2.6

### Relatie tussen peilbeheer Markermeer en IJsselmeer

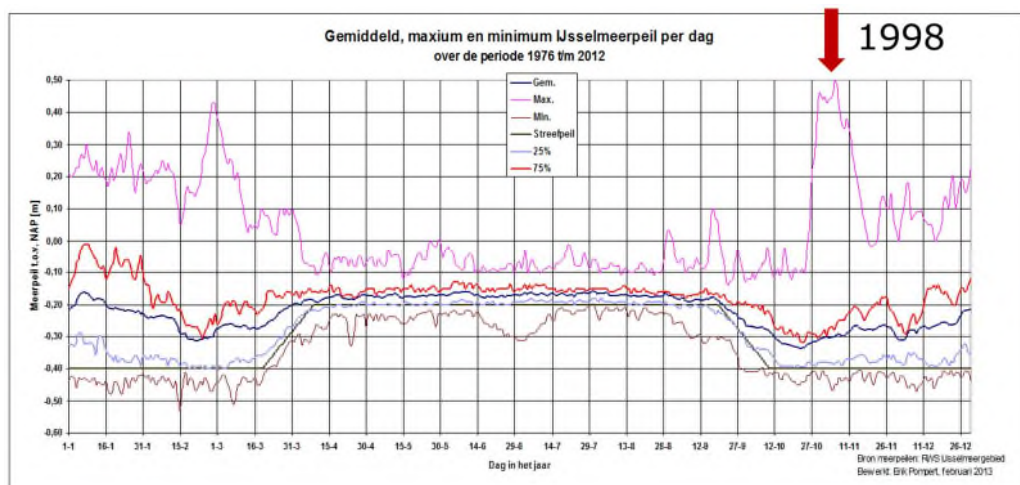
Onder extreem natte omstandigheden stijgt het peil van het IJsselmeer meestal sneller dan dat van het Markermeer. Want op het moment dat het Markermeer veel water krijgt, is dat vaak ook het geval bij het IJsselmeer. Met name de IJssel, maar ook de Overijsselse Vecht kan een grote hoeveelheid water aanvoeren, samen oplopend tot ongeveer 3000 m<sup>3</sup>/s in extreme omstandigheden. Daarnaast lozen ook de omliggende polders in Noord-Holland, Friesland, Flevoland en Overijssel hun water op het IJsselmeer. In totaal gaat het hier om maximaal 350 m<sup>3</sup>/s. Tot slot kan het gebeuren dat er minder spuicapaciteit beschikbaar is richting Waddenzee, met name bij aanhoudende wind uit het Noordwesten of Noorden. Hierdoor wordt het water in de Waddenzee tegen de Afsluitdijk geblazen en stijgt het peil ter plekke. Aan de IJsselmeerzijde wordt het water juist van de dijk afgeblazen, waardoor lokaal de waterstand daalt. Hierdoor vermindert het peilverschil tussen IJsselmeer en Waddenzee, en kan minder water worden geloosd.



**Fig. 2.4: Schematische weergave van geblokkeerde spui (situatie onder) bij de Afsluitdijk bij Noordwestenwind. N.B: Een vergelijkbare situatie kan ook ontstaan bij de Houtribdijk**

Soms kan het gebeuren dat er wekenlang niet of veel minder gespuid kan worden. In het najaar van 1998 liep het peil van het IJsselmeer daardoor op tot +0,50 NAP. Dit leidde gedurende enkele weken tot verhoogde peilen van het IJsselmeer. Zie onderstaande piek in de rechterzijde van onderstaande figuur.





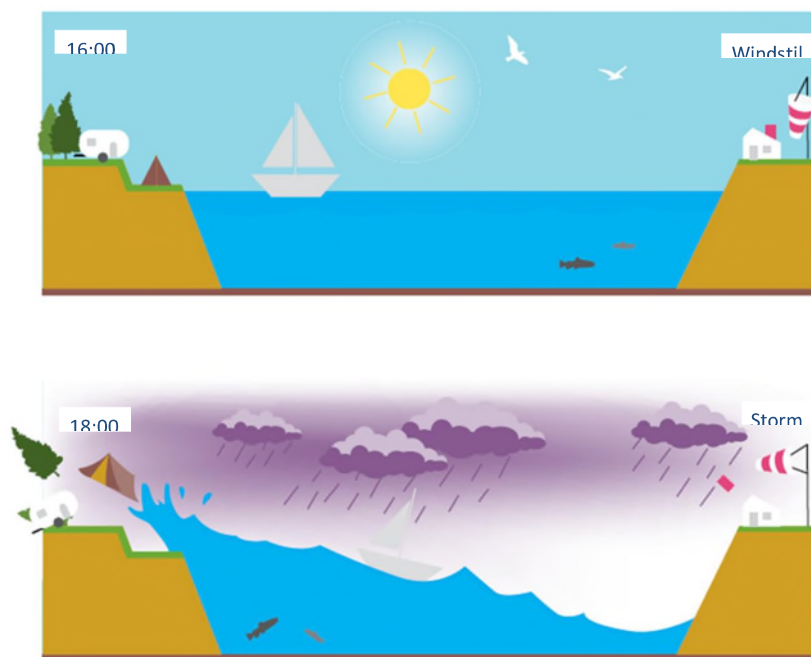
**Fig. 2.5: Gemiddeld, maximum en minimum IJsselmeerpeil per dag, periode 1976-2012 (bron: RWS, database DONAR)**

In de figuur is ook te zien dat het peil van het IJsselmeer meer fluctueert dan dat van het Markermeer (vergelijk fig. 2.5 met fig. 2.2). Dat wordt vooral veroorzaakt doordat de instroom van water, via IJssel en omliggende polders, meer fluctueert, en de afvoercapaciteit soms beperkt is.

## 2.7

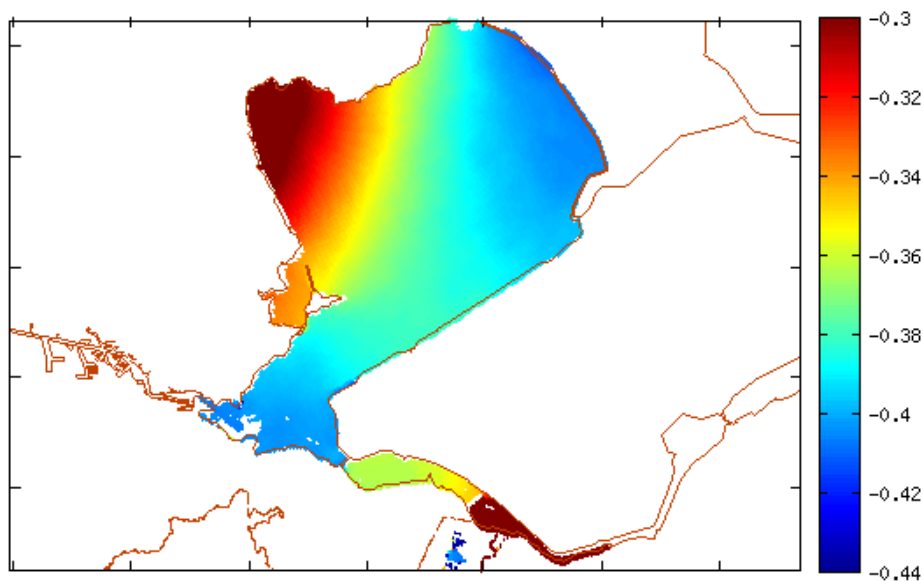
### Invloed van wind op het peil van het Markermeer

Figuur 2.2 laat zien dat het gemiddelde peil van het Markermeer behoorlijk fluctueert. Lokaal varieert de waterstand echter nog veel meer. Door windinvloed ontstaan golven die tegen de dijk oprollen ('golfoploop'), maar ontstaat ook scheefstand van het Markermeerpeil (zie figuur 2.6). In korte tijd kan de waterstand daardoor snel oplopen.



**Fig. 2.6: Scheefstand Markermeer door wind.**

Ter illustratie: bij de oktoberstorm van 2013 (Zuidwest, windkracht 9, lokaal 10) ontstond een scheefstand waarbij binnen een periode van 6 uur in het zuidwestelijk deel van het Markermeer de waterstand ruim een halve meter daalde, en het peil bij de Houtribdijk op sommige locaties een halve meter opliep. Iets dergelijks kan ook bij oostenwind gebeuren. In figuur 2.7 is de situatie op 13 oktober 2013 weergegeven, waarbij een scheefstand ontstond van circa 15 cm bij de Markermeerdijken als gevolg van oostenwind, windkracht 4 à 5 Beaufort.



**Fig. 2.7: Scheefstand Markermeer door wind (bron: Rijkswaterstaat, database Matroos)**

Wind is dus een belangrijke factor bij het peil van het Markermeer.

## 2.8

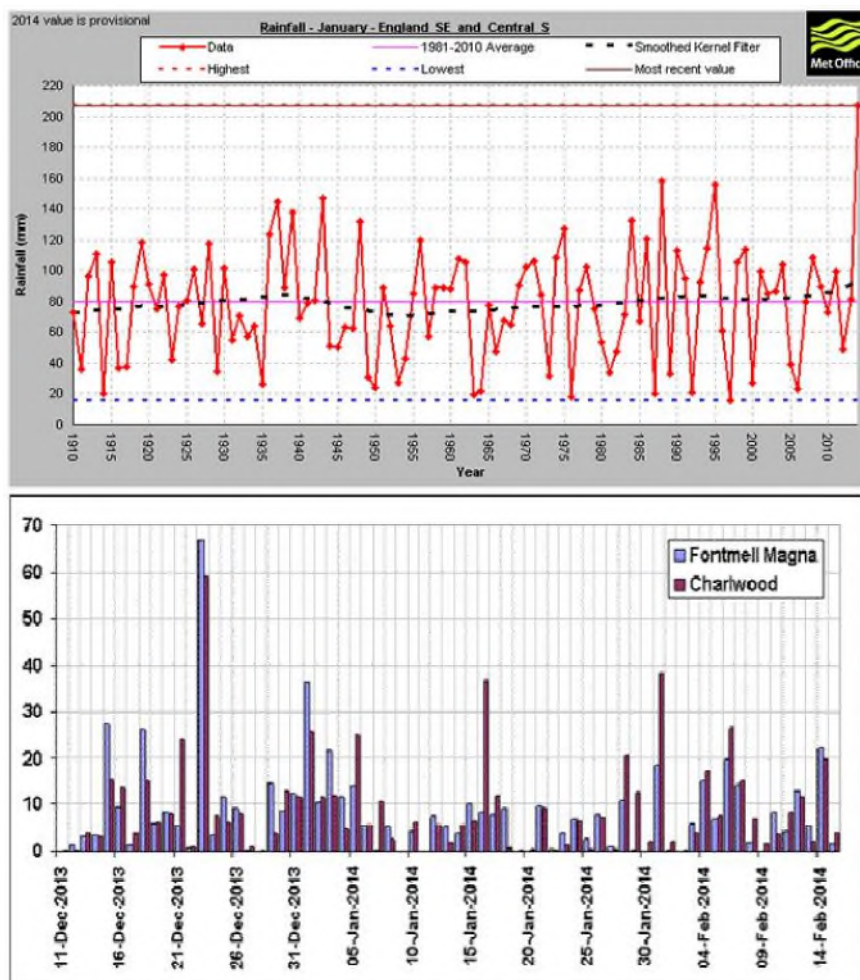
### Gemeten omstandigheden versus maatgevende omstandigheden

Windkracht 8 Beaufort uit Zuidoost tot Noordnoordoostelijke richting is in Nederland in de ruim 100 jaar dat goede meteorologische waarnemingen worden gedaan door het KNMI nog vrijwel nooit gemeten. Sinds het Markermeer bestaat (na de sluiting van de Houtribdijk in 1976) is nog nooit een gemiddeld dagpeil van +0,70 m NAP gemeten.

Dat wil echter niet zeggen dat dergelijke omstandigheden niet op kunnen treden. Bij de normen voor de Markermeerdijken wordt uitgegaan van situaties die slechts eens in de 10.000 jaar optreden (de huidige norm conform de Waterwet). Bij een meetreeks van ruim 100 jaar voor de meteorologie is de kans dus erg klein dat zo'n situatie in deze periode optreedt. Datzelfde geldt voor de meetreeks van het waterpeil van het Markermeer, die slechts 40 jaar beslaat.

Op basis van wat tot nu toe wel gemeten is, kan worden berekend dat de maatgevende omstandigheden zoals hiervoor geschetst wel degelijk voor kunnen komen, al is de kans daarop dus erg klein (1:10.000). Wat betreft de neerslag moet gedacht worden aan weersomstandigheden zoals die begin 2014 in Sommerset (Engeland) voorkwamen. Gedurende een periode van enkele maanden trok de ene na de andere depressie over. Hierdoor liep niet alleen door neerslag het hele gebied vol (inclusief het grondwater), maar kon door windopzet nauwelijks water afgevoerd

worden naar zee. Grote wateroverlast, die bovendien maandenlang aanhield, was het gevolg ([www.metoffice.gov.uk](http://www.metoffice.gov.uk)).



**Fig. 2.8: Neerslag in Sommerset winter 2014**  
(bron: <http://www.metoffice.gov.uk/climate/uk/interesting/2014-janwind>)

Als zo'n situatie in Nederland optreedt, treft dat niet alleen het Markermeer of Nederland, maar zeer waarschijnlijk ook het stroomgebied van de Rijn. Alle boezemsystemen zullen daardoor vollopen, de afvoer van de Rijn en daarmee van de IJssel is hoog en dankzij de aanhoudende wind en bijbehorende windopzet op de Noordzee is het lastig om het water kwijt te raken.

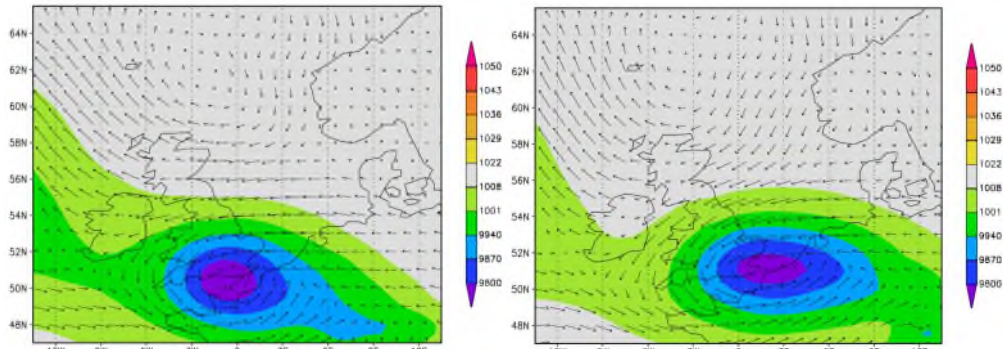
Voor de Nederlandse situatie is onderzoek gedaan door KNMI (zie ook RWS, mei 2015, bijlage 2). Onderstaand de natste gebeurtenissen die daaruit volgen. Die komen net iets vaker voor dan eens in de 10.000 jaar, maar zitten daar dus wel dichtbij.

10-daagse neerslag: 137 mm/10dy (in de winter).

30-daagse neerslag: 275 mm/30dy (in de zomer, vrij ver boven de fit).

60-daagse neerslag: 420 mm/60dy (dezelfde zomer).

Ook een oostenwind van 8 à 9 Beaufort is mogelijk, blijkt uit onderzoek van het KNMI. Onderstaand weerbeeld kan 1:3000 jaar voorkomen. Het betreft een depressie die boven het Kanaal ontstaat, en naar ons land trekt.



**Fig. 2.9: Weersituatie die leidt tot windkracht 8 à 9 Beaufort uit oostelijke richting boven het Markermeer (bron: KNMI)**

## 2.9

### Mogelijkheden om het peil van het Markermeer beter te beheersen

#### 2.9.1 Stuurknoppen

Het peil van het Markermeer wordt bepaald door de hoeveelheid water dat in en uit het Markermeer stroomt. Dit zijn tevens de twee stuurknoppen om het water te beheersen.

#### 2.9.2 Beïnvloeden van de hoeveelheid water die het Markermeer instroomt.

Zoals in paragraaf 2.5 is toegelicht, komt het meeste water dat het Markermeer instroomt uit de omliggende polders. Het stopzetten van lozingen uit deze polders via een maalstop is een optie, maar heeft als groot nadeel dat wateroverlast ontstaat in de polders. Een maalstop wordt daarom vrijwel nooit toegepast. De schade die door wateroverlast kan ontstaan, is groot. Ter indicatie: in 1998 ontstond in een groot gebied van Nederland op grote schaal wateroverlast door intensieve neerslag. De schade liep op tot 450 miljoen euro. Dit was een gebeurtenis die ongeveer 1:100 jaar voorkomt (WB21, 2000).

Een tweede route waarlangs water het Markermeer in kan stromen is vanaf het IJsselmeer, via de sluizen in de Houtribdijk. In gemiddelde omstandigheden gebeurt dit regelmatig, zodat beide meren zoveel mogelijk op streefpeil staan. Maar bij extreme omstandigheden, bijvoorbeeld als het IJsselmeer veel hoger staat dan het streefpeil, is dit niet het geval. Dat is ook terug te zien in figuur 2.2 en figuur 2.5. Het extreme hoogwater van 1998 op het IJsselmeer (+0,50m NAP) dat 3 weken aanhield, is op het Markermeer 'slechts' terug te zien als een peilverhoging tot +0,20m NAP van ongeveer 1 week.

Alleen bij calamiteiten, bijvoorbeeld een spui die niet sluit of in extreme noodsituaties, kan het gebeuren dat er alsnog water van het IJsselmeer naar het Markermeer stroomt, maar dat is zeer ongebruikelijk.

#### 2.9.3 Beïnvloeden van de hoeveelheid water die het Markermeer uitstroomt.

Door extra te spuien of pompen is het mogelijk meer water af te voeren uit het Markermeer. Daarbij is allereerst pompcapaciteit nodig op de Houtribdijk, en vervolgens op de Afsluitdijk om het water naar zee af te voeren. Naarmate het peil van de meren lager is, zal meer gepompt moeten worden om het water naar zee te krijgen. In het kader van het Deltaprogramma worden binnen 10 jaar pompen



geplaatst op de Afsluitdijk. Deze pompen zijn bedoeld om de extra wateropgave door zeespiegelstijging op te vangen (RWS-DIJ, 2012). Hierdoor hoeft het meerpeil niet mee te stijgen met de zeespiegel. De nu binnen het project Afsluitdijk geplande pompen (orde grootte 400 tot 500 m<sup>3</sup>/s) hebben echter onvoldoende capaciteit om ook het peil van het Markermeer beter te reguleren.

Zodra de pompen geïnstalleerd zijn, zullen de huidige pieken op het IJsselmeer minder vaak voorkomen. Daarmee wordt dus winst geboekt wat betreft de waterveiligheid. Maar naarmate de zeespiegel stijgt, wordt dit weer teniet gedaan. De pompen zijn gedimensioneerd om in te zetten volgens het principe 'spuien als het kan, pompen als het moet'. Dat betekent dat zoveel mogelijk geprobeerd wordt het water kwijt te raken door te spuien. Als dat niet lukt, worden de pompen bijgeschakeld. Om ook de pieken op het IJsselmeer grotendeels af te vlakken, zou aanzienlijk meer pompcapaciteit nodig zijn. Uit het CPB-rapport "Economische optimale waterveiligheid in het IJsselmeergebied" (CPB, 2014) blijkt dat 2000 m<sup>3</sup>/s hiervoor afdoende is.

#### **2.9.4. Opties om de hoeveelheid water die het Markermeer uitstroomt te beïnvloeden**

Er zijn verschillende opties om de hoeveelheid water die het Markermeer uitstroomt te beïnvloeden. Twee daarvan betreffen maatregelen op de Afsluitdijk (spuien en pompen), drie hebben betrekking op de Houtribdijk en de Afsluitdijk.

Maatregelen bij de Afsluitdijk:

1. Pro-actief spuien bij de Afsluitdijk, zodat het peil van het IJsselmeer lager staat en makkelijker water van het Markermeer naar het IJsselmeer kan stromen.
2. In aanvulling op 1: extra pompen installeren op de Afsluitdijk, zodat het peil van het IJsselmeer structureel min of meer op streefpeil staat.

Maatregelen bij de Houtribdijk en Afsluitdijk:

1. Peil van het Markermeer structureel verlagen door extra spuien en/of pompen.
2. Peil van het Markermeer incidenteel verlagen met pompen door een buffer te creëren voorafgaand aan storm of langdurige neerslag.
3. Peil van het Markermeer incidenteel verlagen met pompen door het peil te verlagen tijdens een periode van langdurige neerslag.

Onderstaand worden de kenmerken van de diverse opties kort beschreven.

##### **Optie 1: Pro-actief spuien bij de Afsluitdijk, zodat het peil van het IJsselmeer lager staat en makkelijker water van het Markermeer naar het IJsselmeer kan stromen.**

Dit is de huidige praktijk. Deze optie levert dus geen meerwaarde in het beter reguleren van het peil van het Markermeer.

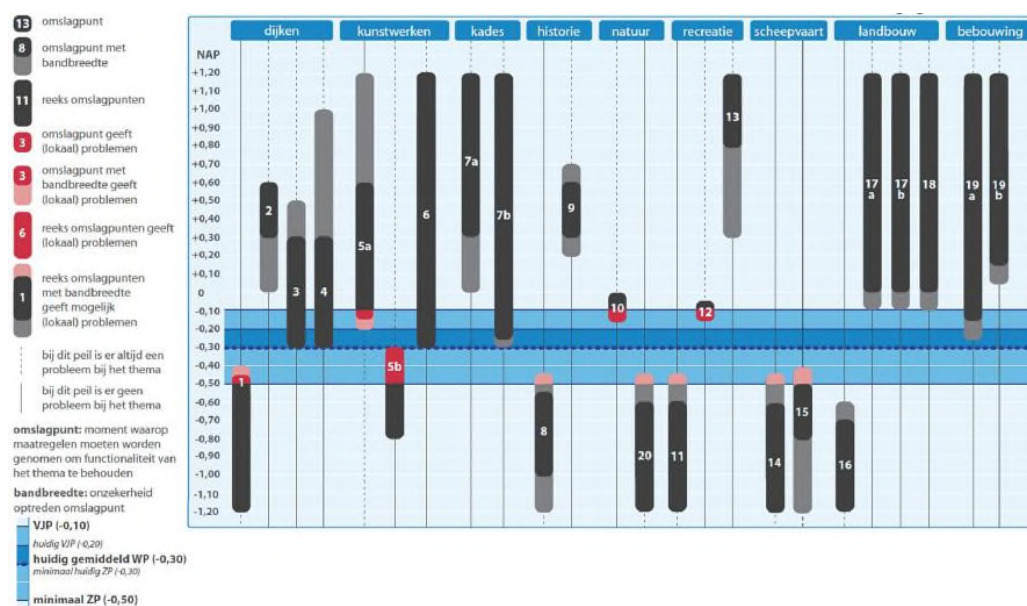
##### **Optie 2: Pro-actief spuien bij de Afsluitdijk plus extra pompen installeren, zodat het peil van het IJsselmeer structureel min of meer op streefpeil staat.**

Om dit mogelijk te maken, is aanvullende pompcapaciteit nodig op de Afsluitdijk. Uit eerdere analyses blijkt dat dan een pompcapaciteit nodig is van ongeveer de maximale instroom van de IJssel (ruim 2000 m<sup>3</sup>/s, zie ook CPB, 2014; Deltares, 2012). In de huidige plannen is een pompcapaciteit voorzien van orde grootte 400-500 m<sup>3</sup>/s. Deze optie zou dus een uitbreiding van de pompcapaciteit vergen van meer dan 1000 m<sup>3</sup>/s. Dat zou erg duur worden. Gezien echter het globale karakter van de genoemde studies is er aanleiding om dit nader te onderzoeken (zie hoofdstuk 3).

### Optie 3: Peil van het Markermeer structureel verlagen door extra spuien en/of pompen.

Door aan het begin van het hoogwaterseizoen extra te spuien, eventueel aangevuld met pompen, is het mogelijk het peil van het Markermeer structureel te verlagen.

Het verlagen van het peil heeft echter wel consequenties voor andere functies. Om de gevolgen in te kunnen schatten, is in het Deltaprogramma IJsselmeergebied de peilthermometer ontwikkeld (DPIJ, 2012). Daarin is te zien dat diverse functies last hebben van een lager peil, en andere weer van een hoger peil. Met andere woorden: een peilverandering, of die nu omhoog of omlaag is, heeft consequenties.



**Fig. 2.10: Peilthermometer IJsselmeergebied (DPIJ, 2012)**

Functies die last hebben van een lager peil van het Markermeer zijn onder meer de dijken (grotere kans op stabiliteitsproblemen aan de buitenzijde; categorie 1 in bovenstaande figuur), historische gebouwen op en direct achter de dijk (kans op paalrot en zettingen; categorie 8), scheepvaart en recreatievaart (verminderde diepgang, onder andere de havenuitgangen van Monnickendam, Edam, Hoorn; categorieën 11, 14 en 15) en natuur (categorie 20).

Deze nadelen zijn zodanig, dat een structurele verlaging van het gemiddeld meerpeil niet wenselijk is. Deze optie wordt in het vervolg van dit rapport dan ook niet verder onderzocht.

### Optie 4: Peil van het Markermeer incidenteel verlagen door een buffer te creëren voorafgaand aan storm of langdurige neerslag

Om de neveneffecten te beperken, is het een optie om het peil niet structureel maar alleen tijdelijk te verlagen, vlak voordat de extreme weersomstandigheden optreden. Hierdoor wordt een buffer gecreëerd. Het Markermeer is echter een groot meer (80.000 hectare), en het wegpompen van water neemt daarom veel tijd in beslag, zelfs bij grote pompen. Bij een pompcapaciteit van 600 m<sup>3</sup>/s (de huidige spuicapaciteit in de Houtribdijk) duurt het bijna 7 dagen voordat het peil met 35 centimeter is verlaagd. Een peilverlaging van die orde grootte is nodig om de hydraulische belasting enigszins te beïnvloeden.

In een tijd van 7 dagen kan het weer sterk veranderen. Met name wind is vaak lastig te voorspellen. Een weerblokkade zoals in Sommerset 2013, die vele weken aanhoudt, met grootschalige en langdurige overstromingen als gevolg, is met de huidige weermodellen zeker niet te voorspellen. Om het zekere voor het onzekere te nemen zou het meerpeil daarom vrijwel continu lager moeten worden gehouden. En dan ontstaan weer de neveneffecten zoals aangegeven bij de vorige optie (zie de peilthermometer). Deze optie is daarom in het vervolg van dit rapport niet verder onderzocht.

#### **Optie 5: Peil van het Markermeer incidenteel verlagen met pompen door het peil te verlagen tijdens een periode van langdurige neerslag.**

Maatgevende omstandigheden voor stabiliteit aan de binnenzijde ontstaan bij een meerpeilstijging van -0,40 NAP naar +0,70m NAP in ruim 4 weken (30 dagen). Het peil stijgt dus met 1,1 meter. Dat is 3,7 cm per dag. Door pompen te plaatsen op de Houtribdijk, kan de meerpeilstijging beperkt worden.

Zoals eerder aangegeven is ongeveer 30 cm MHW-daling (1 decimeringshoogte) nodig om enig effect te kunnen verwachten op het ontwerp van de Markermeerdijken. In hoofdstuk 3 wordt daarom onderzocht welke pompcapaciteit op de Houtribdijk nodig is om dit te bereiken. Daarnaast wordt in hoofdstuk 3 ook bekeken welke meerpeildaling ontstaat bij een verdubbeling of verdrievoudiging van die betreffende pompcapaciteit.

Let wel: indien extra water naar het IJsselmeer wordt gestuurd, moet dit water uiteindelijk worden afgevoerd naar de Waddenzee. Als dat niet gebeurt, ontstaat op het IJsselmeer een peilverhoging, en stijgt daar het hydraulisch belastingniveau. Om dit te voorkomen is de eerste kwalitatieve inschatting dat op de Afsluitdijk dezelfde pompcapaciteit nodig is als op de Houtribdijk. Dit is verder onderzocht, de resultaten staan beschreven in hoofdstuk 3.

### **2.10 Invloed klimaatverandering**

Door klimaatverandering stijgt de zeespiegel, neemt in de winter de rivierafvoer toe en valt er meer neerslag in de winter. Dit zijn allemaal zekere trends (KNMI, 2014). De enige vraag is hoe snel het allemaal gaat. Door deze ontwikkelingen wordt het waterbeheer in het IJsselmeergebied lastiger. Er komt meer water in, en het wordt door de zeespiegelstijging moeilijker om het water kwijt te raken. Daarom is besloten om aanvullend op de bestaande spuicapaciteit pompen te plaatsen op de Afsluitdijk. Naarmate de zeespiegel verder stijgt, worden meer pompen geplaatst. Dit betekent dat dit deel van de nieuwe wateropgave is afgedekt. Dit betekent tevens dat het peil van het Markermeer niet zal veranderen door zeespiegelstijging. Afgesproken is dat het winterpeil van het Markermeer tot 2050 op hetzelfde niveau blijft. Na 2050 mag het peil van het IJsselmeer maximaal enkele decimeters meestijgen met de zeespiegel. Het winterpeil van het Markermeer blijft echter ook dan onveranderd (DP2015, 2014; NWP, 2014; herziening NWP, 2014; ontwerp-NWP2, 2014).

Voor alle 5 de opties (zie par. 2.9) geldt als uitgangspunt dat ze beschreven zijn voor de huidige situatie. Zodra er meer water wordt uitgeslagen op het Markermeer, zal ook meer water met pompen moeten worden afgevoerd in extreme omstandigheden. Hoogheemraadschap Noorderkwartier bouwt momenteel nieuwe gemalen van totaal 50 m<sup>3</sup>/s. Dat is een forse hoeveelheid extra water op de totale waterbalans van het Markermeer (zie figuur 2.3). De benodigde pompcapaciteit op de Houtribdijk zal hierdoor toenemen.

Daarnaast gaan alle KNMI-klimaatscenario's uit van meer en ook intensievere neerslag. De stijging van de maatgevende 10-daagse neerslagsom is 6 tot 17% in 2050, en 8 tot 25% in 2100. Waterschappen dimensioneren hun gemalen op deze 10-daagse neerslagsom. De kans is dus aanwezig dat de hoeveelheid uitgeslagen water de komende 50 jaar toeneemt, tenzij waterschappen het extra water kunnen bergen en/of naar een ander watersysteem dan het Markermeer kunnen afvoeren (bijvoorbeeld naar zee). Het effect hiervan wordt eveneens in hoofdstuk 3 verder geanalyseerd.

### **2.11 Effect meerpeilverlaging op ontwerp Markermeerdijken Hoorn-Amsterdam en overige keringen rondom het Markermeer**

De cruciale vraag is uiteraard in hoeverre een meerpeilverlaging de opgave voor de dijkversterking kan verminderen. Daar is door FUGRO en RHDHV in opdracht van Hoogheemraadschap Noorderkwartier naar gekeken. De resultaten staan beschreven in hoofdstuk 4.

Voor de overige trajecten is een meer kwalitatieve inschatting gemaakt. De resultaten hiervan zijn samengevat in hoofdstuk 5.

### **2.12 Conclusies en samenvatting analysevragen**

Op basis van de beschrijving en kwalitatieve analyse van de 5 opties, kunnen een aantal conclusies worden getrokken:

- Optie 1: Deze optie beschrijft de huidige praktijk, en die levert dus geen extra winst op.
- Optie 2: In deze optie worden extra pompen geïnstalleerd op de Afsluitdijk, zodanig dat het peil van het IJsselmeer structureel min of meer op streefpeil staat. Nader onderzoek is nodig om te bepalen welke extra pompcapaciteit op de Afsluitdijk nodig is om deze optie mogelijk te maken (zie hoofdstuk 3).
- Optie 3: Structurele peilverlaging van het gemiddelde peil van het Markermeer is gezien de effecten op andere functies niet wenselijk.
- Optie 4: Om incidentele peilverlaging mogelijk te maken door een buffer te creëren voorafgaand aan storm of langdurige neerslag zijn betrouwbare weersvoorspellingen nodig (meer dan een week vooruit; neerslag en wind). Dat is op dit moment niet mogelijk.
- Optie 5: nader onderzoek is nodig om te bepalen welke pompcapaciteit nodig is om een MHW-daling op het Markermeer te bereiken van 30, 60 en 90 cm (grosso modo respectievelijk 1, 2 en 3 decimeringshoogtes). Zie hoofdstuk 3. Indien met pompen op de Houtribdijk extra water naar het IJsselmeer wordt gestuurd, ontstaat op het IJsselmeer een peilverhoging, en stijgt daar het hydraulisch belastingniveau. Om dit te voorkomen is extra pompcapaciteit nodig op de Afsluitdijk. Onderzocht moet worden hoeveel (zie hoofdstuk 3).
- Klimaat: klimaatverandering leidt tot extra wateraanvoer naar het Markermeer. Dit leidt tot een stijging van de MHW, tenzij extra pompcapaciteit wordt ingezet op de Houtribdijk. De benodigde hoeveelheid moet onderzocht worden (zie hoofdstuk 3).
- Het effect van een MHW-verlaging van het Markermeer op het dijkontwerp moet nader worden onderzocht, zowel voor het traject Hoorn-Amsterdam (zie hoofdstuk 4) als de overige trajecten (zie hoofdstuk 5).

### 3 Effect van pompen Houtribdijk op MHW's

**Samenvatting:** In dit hoofdstuk wordt het effect beschreven op het meerpeil van het Markermeer en het IJsselmeer van pompen op de Houtribdijk (50 tot 450 m<sup>3</sup>/s) en op de Afsluitdijk (idem). Uit de modelberekeningen blijkt dat een pomp van 150 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk leidt tot een kleinere hydraulische belasting (overeenkomend met ongeveer 0,3 m MHW-verlaging voor het traject Hoorn-Amsterdam). Een pomp van 300 m<sup>3</sup>/s levert 0,6 m verlaging op, een pomp van 450 m<sup>3</sup>/s levert 0,75 m op. Om MHW-verhoging op het IJsselmeer te voorkomen, is een vergelijkbare pompcapaciteit nodig op de Afsluitdijk als op de Houtribdijk. Klimaatverandering kan leiden tot 1 à 2 dm MHW-verhoging in 2050. Ook het aanslagpeil van de pompen kan uitmaken voor het meerpeil. Bij een aanslagpeil van -0,37 m NAP is de MHW ongeveer 1 dm lager dan bij een aanslagpeil van -0,27 m NAP. In de laatste paragraaf wordt ingegaan op de kosten voor de pompen. In deze studie wordt gewerkt met een kostenkental van 50 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s, en een ondergrens van 25 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s.

#### 3.1 Inleiding

HKV [LIJNINWATER](#) heeft, in opdracht van RWS-WVL, een model ontwikkeld waarmee de effecten van varianten in inrichting en beheer op de peilstatistiek van IJsselmeer en Markermeer kunnen worden berekend (bij verschillende klimaatscenario's). Dit model is genaamd DEZY (Dagelijkse en Extreme waarden voor het Zuyder Zee gebied), verwijzend naar de oude naam voor het IJsselmeergebied.

De overschrijdingsfrequenties van de meerpeilen worden binnen DEZY, kort gezegd, als volgt berekend. Voor een groot aantal combinaties met een bepaald tijdsverloop van afvoer, neerslag, wind en zeewaterstand wordt het bijbehorende tijdsverloop van het meerpeil (op zowel het IJsselmeer als het Markermeer) berekend. Dit levert per doorgerekende combinatie een piekmeerpeil voor beide meren. Deze piekmeerpeilen worden vervolgens gecombineerd met de kans van optreden op de betreffende combinatie om de gezochte overschrijdingsfrequenties te verkrijgen. In DEZY wordt dus – naast statistiek van aanvoeren – fysica gebruikt om de meerpeilstatistiek uit te rekenen. Voor meer details wordt verwezen naar het hoofdrapport van het model (Geerse en Kuijper, 2015).

RWS heeft gevraagd het model nog iets uit te breiden, zodat ook de pompduren worden berekend (voor situaties waarin dit van toepassing is). Met deze aangepaste versie zijn vervolgens enkele varianten doorgerekend, waarvan in dit hoofdstuk een beknopt overzicht wordt gegeven (in de vorm van tabellen en figuren). Een uitgebreide rapportage is te vinden in (HKV, 2015). Alle berekeningen zijn uitgevoerd met model DEZY versie 1.0 (daterend van juni 2015).

Het hoofdrapport van het model DEZY (Geerse en Kuijper, 2015) is gebaseerd op een oudere versie van april 2015. Hiermee zijn ook de afregeling en de modelvalidatie uitgevoerd.

Versie 1.0 wijkt op de volgende punten af van de versie van april 2015:

- De selectie van tijdreeksen van wind en zeewaterstand is enigszins aangepast, omdat deze in de versie van april 2015 nog een (relatief kleine) fout bevatte.
- Er wordt een correctie van -0.03 m toegepast op de zeewaterstanden (invoerparameter van het model) om het effect van bovengenoemde

aanpassing te corrigeren. De resultaten van versie 1.0 komen hiermee weer vrijwel overeen met de versie van april 2015.

- De berekening van de pompduren is toegevoegd, als percentage van de tijd in het winterhalfjaar.

### 3.2 Uitgangspunten berekeningen

De gevraagde berekeningen betreffen variërende scenario's voor zeespiegelstijging, neerslag, IJsselafvoer en varianten voor de spui- en pompcapaciteit op de Afsluitdijk en de Houtribdijk. Onderstaand een aantal kenmerken.

#### *Referentiesituatie*

Het gaat hier om de referentiesituatie in 2015. Het betreft de berekening op basis van de huidige afvoer- en neerslagstatistiek in het model en zonder zeespiegelstijging. Ook wordt in de referentiesituatie gerekend met de huidige spuicapaciteit en zonder pompen (met uitzondering van de reeds aanwezig pompcapaciteit bij IJmuiden). Voor details wordt verwezen naar het hoofdrapport van DEZY (Geerse en Kuijper, 2015).

#### *Spui- en pompcapaciteit Afsluitdijk*

Indien het IJsselmeerpeil zich boven streefpeil bevindt, wordt (indien mogelijk) gespuid. Spuien onder vrij verval bij de Afsluitdijk (bij Den Oever of Kornwerderzand) is mogelijk indien de binnenwaterstand (de lokale waterstand op het IJsselmeer) voldoende hoger is dan de buitenwaterstand (de lokale waterstand op de Waddenzee) om zoutindringing te voorkomen. In de praktijk moet het verschil minstens circa 10 cm bedragen. De hoeveelheid spui is onder meer afhankelijk van het verval. Voor meer details wordt verwezen naar het hoofdrapport van DEZY (Geerse en Kuijper, 2015).

In diverse rekenvarianten is een bepaalde pompcapaciteit op de Afsluitdijk verondersteld. Pompen is in het model alleen mogelijk indien er geen spuien onder vrij verval plaatsvindt (uitzondering hierop vormen de pompen bij IJmuiden, die standaard al aanwezig zijn in het model). Verder geldt als voorwaarde dat het meerpeil boven aanslagpeil moet zitten (standaard -0.27 m NAP, in enkele rekenvarianten andere waarden).

#### *Spui- en pompcapaciteit Houtribdijk*

De uitgangspunten voor het spuien en pompen zijn vrijwel gelijk aan die voor de Afsluitdijk. Een verschil is dat bij spuien richting IJsselmeer geen rekening gehouden hoeft te worden met mogelijke zoutindringing, en dat er dus direct gespuid wordt als de waterstand op het Markermeer hoger is dan de waterstand op het IJsselmeer (mits het Markermeerpeil boven streefpeil ligt).

#### *Klimaatverandering*

Wat betreft klimaatverandering wordt gekeken naar verschillende zichtjaren bij min of meer gemiddelde klimaatontwikkeling. De bijbehorende zeespiegelstijging en toename van de afvoer/neerslag zijn gebaseerd op de KNMI'14 klimaatscenario's en weergegeven in tabel 3.1. Voor de volledigheid is ook 2050 opgenomen, hoewel dit zichtjaar niet terugkomt in de doorgerekende varianten in dit rapport. De in tabel 3.1 opgenomen waarden gelden ten opzichte van het jaar 2015 (referentiesituatie DEZY). Het aftopniveau van 3130 m<sup>3</sup>/s op de IJssel (Olst) correspondeert met 18.000 m<sup>3</sup>/s op de Rijn (Lobith), uitgaande van de huidige afvoerverdeling.

**Tabel 3.1: Zeespiegelstijging en toename neerslag/afvoer voor verschillende zichtjaren.**

Zichtjaar	IJsselafvoer	Zeespiegel	Neerslag + Vecht-/Eemafvoer
2050	+ 6.25% / aftoppen bij 3130 m <sup>3</sup> /s	+ 20 cm	+ 10%
2100	+ 12.5% / aftoppen bij 3130 m <sup>3</sup> /s	+ 60 cm	+ 15%
2150	+ 20.0% / aftoppen bij 3130 m <sup>3</sup> /s	+ 130 cm	+ 20%

**3.3****Varianten**

De volgende varianten zijn doorgerekend (voor de nummering is aangesloten bij de varianten uit een ander project, het project "Doorrekenen varianten waterhuishouding IJsselmeergebied"; HKV, juli 2015); de varianten A, C, F, G en H zijn voor het project Markermeerdijken niet relevant, en daarom hier niet gerapporteerd.

**Variant B: Pompcapaciteit Afsluitdijk**

B1) *Pompcapaciteit 500, 1000 en 2000 m<sup>3</sup>/s*

B4) *Pompcapaciteit 2000 m<sup>3</sup>/s, bij verschillende aanslagpeilen*

**Variant D: Pompcapaciteit Houtribdijk**

D1) *Pompcapaciteit 50, 150, 300 en 450 m<sup>3</sup>/s*

D2) *Pompcapaciteit 50, 150, 300 en 450 m<sup>3</sup>/s, aanslagpeil -0.37 m NAP*

**Variant E: Pompcapaciteit Houtribdijk + Afsluitdijk**

E1) *Pompcapaciteit 150, 300 en 450 m<sup>3</sup>/s*

E2) *Pompcapaciteit 150, 300 en 450 m<sup>3</sup>/s, aanslagpeil -0.37 m NAP*

**Variant I: Klimaatverandering**

I2) *Toename neerslag en Vecht-/Eemafvoer*

**3.4****Resultaten**

De resultaten voor zowel de referentiesituatie als de hierboven beschreven varianten zijn weergegeven in tabel 3.2 en 3.3. Hierin staan meerpeilen op zowel het IJsselmeer als het Markermeer. Tabel 3.2 geeft de absolute meerpeilen, tabel 3.3 de verschillen met de referentie (bovenste regel van tabel 3.2).

In de tabel zijn per meer zowel het gemiddelde peil als het peil bij een aantal herhalingstijden gegeven (T1000 staat bijvoorbeeld voor het meerpeil met een herhalingstijd van eens in de 1000 jaar). Daarnaast is in de tabel ook de pompduur weergegeven als percentage van de tijd in het winterhalfjaar (180 dagen), voor zowel de Afsluitdijk, de Houtribdijk als IJmuiden.

In de eerste kolom staat de omschrijving van de berekening, in kolom 2 t/m 8 de resultaten voor het IJsselmeer (kolom 2: gemiddeld peil; kolom 7: meerpeil bij een kans van 1:4000; kolom 8: meerpeil bij een kans van 1:10.000). In kolom 9 t/m 15 staan de resultaten voor het Markermeer.

In kolom 16, 17 en 18 staan de pompduren voor respectievelijk de pompen op de Afsluitdijk, Houtribdijk en bij IJmuiden.

De kolommen met een kans van 1:10.000 zijn het meest relevant voor het HWBP2-project Markermeerdijken. De maatgevende omstandigheden voor het faalmechanisme macrostabiliteit (waar de dijken voor 90% op zijn afgekeurd) worden voor het traject Hoorn-Amsterdam hoofdzakelijk bepaald door deze waarde (zie ook hoofdstuk 2). Daar komt nog scheefstand door oostenwind bij, maar die is klein (kleiner dan 1 decimeter). Bij de interpretatie van de berekeningen is aangenomen dat een meerpeildaling met een kans van 1:10.000 grosso modo één op één doorwerkt in de MHW en de hydraulische belasting van het traject Hoorn-Amsterdam. Dat is niet helemaal waar, omdat een meerpeildaling ook doorwerkt in scheefstand en golfoploop. Maar gezien het verkennende karakter van deze studie en het feit dat het om een verschilberekening gaat, is dat in dit geval gerechtvaardigd. Wel heeft RWS opdracht gegeven aan HKV Lijninwater om een koppeling te realiseren tussen DEZY en Hydra, zodat de effecten van meerpeilveranderingen op de MHW direct en preciezer kunnen worden afgeleid.

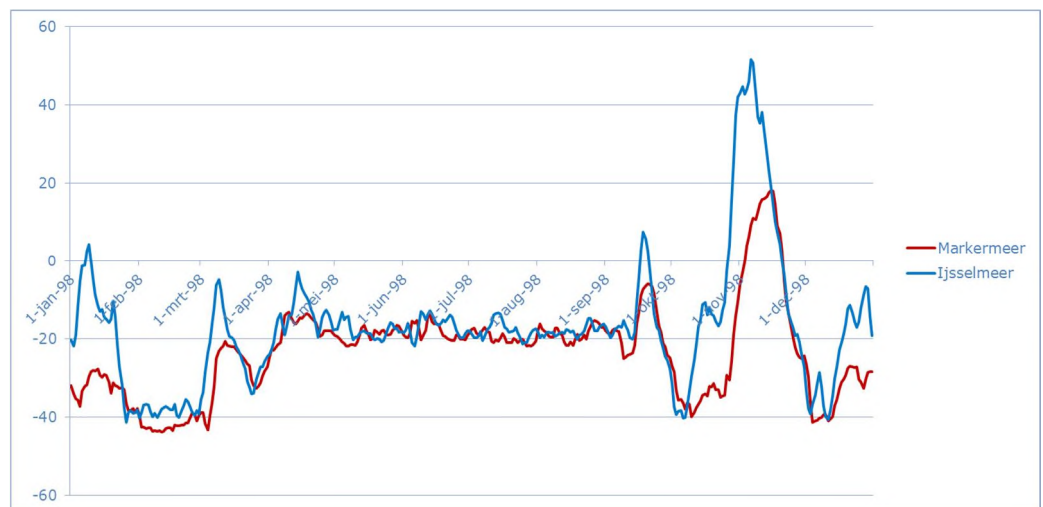
### 3.5 Conclusies op basis van de berekeningen

Uit de tabellen 3.2 en 3.3 (volgende bladzijden) kunnen de volgende conclusies worden getrokken (met dus de kanttekening uit de vorige paragraaf over de relatie meerpeil 1:10.000 en MHW):

1. Voor een MHW-daling van 30 cm op het Markermeer (1 decimeringshoogte) is een pomp nodig van ongeveer 150 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk (zie variant d).
2. Voor een MHW-daling van 60 cm op het Markermeer (ongeveer 2 decimeringshoogtes) is ongeveer 300 m<sup>3</sup>/s nodig op de Houtribdijk (zie variant d, die levert 56 cm MHW-daling op). Bij een pomp van 450 m<sup>3</sup>/s is de MHW-daling relatief minder, 75 cm. Dit alles bij een aanslagepeil van -0,27m NAP.
3. Bij een aanslagepeil van -0,37m NAP dalen de MHW's op het Markermeer extra. Bij 150 m<sup>3</sup>/s met 7 cm, bij 300 en 450 m<sup>3</sup>/s 10 cm.
4. Een pomp op de Houtribdijk veroorzaakt een MHW-stijging op het IJsselmeer. Die bedraagt ongeveer 3 tot 4 cm per 150 m<sup>3</sup>/s (zie variant d).
5. Een ander aanslagepeil levert nauwelijks verschillen op op het IJsselmeer (zie variant d). Wel staan de pompen bij een aanslagepeil van -0,37m NAP aanzienlijk langer aan (factor 3).
6. Om de MHW-stijging op het IJsselmeer te compenseren is een pomp van vergelijkbare omvang nodig op de Afsluitdijk. Bijvoorbeeld: bij een pomp van 300 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk, is ook 300 m<sup>3</sup>/s extra nodig op de Afsluitdijk (zie variant e). Ook hier maakt het aanslagepeil geen verschil in MHW van het IJsselmeer, wel op het Markermeer (6 tot 10 cm bij een pomp van respectievelijk 150 en 300/450 m<sup>3</sup>/s).
7. In tegenstelling tot wat eerder verwacht werd, ontstaat in variant b (optie 2 in paragraaf 2.10) door een ander aanslagepeil nauwelijks verschil in MHW's op het Markermeer bij een pompcapaciteit op de Afsluitdijk van 2000 m<sup>3</sup>/s. Het gaat om centimeters verschil. Kennelijk is deze pompcapaciteit nog onvoldoende om de MHW van het Markermeer te beïnvloeden. Of andersom geredeneerd: er stroomt in piekperiodes aanzienlijk meer water het IJsselmeer in dan een pomp van 2000 m<sup>3</sup>/s kan wegpompen. Op zich kan de beperkte invloed op het Markermeer wel verklaard worden: in de referentie is de MHW van het IJsselmeer +1,21m NAP. Een pomp van 2000 m<sup>3</sup>/s kan daar bijna 50 cm afhaken, maar dan resteert nog steeds een MHW die hoger is dan die van het Markermeer.
8. Uit variant i blijkt opnieuw (zie hoofdstuk 2) dat neerslag veel invloed heeft op de MHW's van het Markermeer. Ze stijgen met 9 tot 19 cm, afhankelijk van de toename in neerslag met respectievelijk 10 of 20%. De stijging van de maatgevende 10-daagse neerslagsom in de KNMI-klimaatscenario's (uit 2014) is 6 tot 17% in 2050, en 8 tot 25% in 2100.



De vertegenwoordigers van de adviesgroep in de begeleidingscommissie hebben aangegeven dat met name de variant waarbij 0,6 m MHW-daling wordt gerealiseerd voor hen relevant is. Het toetspeil komt dan op +0,1 m NAP te liggen. Er ontstaat dan een situatie waarbij de MHW van het Markermeer gelijk is aan in het verleden daadwerkelijk opgetreden omstandigheden, namelijk die in het najaar van 1998. In een periode van ongeveer 30 dagen steeg het meerpeil van -0,40m NAP naar +0,18m NAP. Zie ook onderstaande figuur (rode lijn tussen half oktober en half november). De huidige waterkeringen hebben die situatie goed doorstaan, en daarmee kan dit een aanwijzing zijn voor bewezen sterkte.



**Fig. 3.1: Gemiddeld meerpeil per dag van het Markermeer en IJsselmeer in 1998.**

Om een MHW-daling van 0,6 m te realiseren is een pomp van 300 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk nodig. Om een MHW-stijging op het IJsselmeer te voorkomen is tevens een extra pomp van 300 m<sup>3</sup>/s nodig op de Afsluitdijk.

Deze variant is doorgerekend in combinatie met een aanslagpeil van -0,27m NAP voor het IJsselmeer, een aanslagpeil van -0,37m NAP voor het Markermeer, een neerslagtoename op en om het Markermeer van +10% en ook een toename van de Eemafvoer van +10%. Daarnaast is ook een som gemaakt waarbij de neerslag op en om het Markermeer en de Eemafvoer met 20% stijgt, en de overige genoemde parameters hetzelfde zijn.

Ter toelichting: Voor het IJsselmeer is gekozen voor een aanslagpeil van -0,27m NAP, omdat dit aanslagpeil weinig invloed heeft op het Markermeer. Wel beïnvloedt een lager aanslagpeil (-0,37m NAP) het gemiddeld meerpeil van het IJsselmeer meer. Een randvoorwaarde voor dit project is om het gemiddelde meerpeil niet te beïnvloeden (zie ook optie 3, beschreven in paragraaf 2.10).

Voor het Markermeer heeft een aanslagpeil van -0,37 m NAP wel een direct effect op het meerpeil. Het iets lagere gemiddelde meerpeil dat dit tot gevolg heeft (ten opzichte van een aanslagpeil van -0,27m NAP) is klein (1 tot 2 cm). Aangenomen wordt dat dit verschil aanvaardbaar is.

Beide aanvullende varianten zijn doorgerekend met DEZY. Dan is te zien (staat niet in de tabellen) dat in de eerste variant een MHW-stijging op het IJsselmeer ontstaat van 0,03 m. Op het Markermeer is sprake van een MHW-daling van 0,57 m.

In de tweede variant ontstaat een MHW-stijging op het IJsselmeer van 0,08 m, en een MHW-daling op het Markermeer van 0,47m.

Een belangrijke conclusie is ook dat in alle varianten het gemiddelde meerpeil van beide meren vrijwel niet verandert. Dat is belangrijk, omdat daarmee andere functies in het IJssel- en Markermeergebied niet of nauwelijks beïnvloed worden (zie par 2.10, fig. 2.10, de peilthermometer).

Voor het bepalen van de operationele kosten zijn de pomptijden nog van belang. In variant E is de tijd dat de pompen aanstaan voor de pompen op de Houtribdijk bij een capaciteit van 300 m<sup>3</sup>/s en een aanslagpeil van -0,27m NAP 2,6% van het winterhalfjaar (180 dagen). De pompen staan in dat geval gemiddeld ongeveer 5 dagen per jaar aan. Bij een aanslagpeil van -0,37m NAP wordt dat 7%, oftewel gemiddeld 12 dagen per jaar.

De pompduren voor de Afsluitdijk in variant E lijken niet goed berekend. Daarom wordt er nu vanuit gegaan dat de extra pompduur op de Afsluitdijk gelijk is aan die op de Houtribdijk.

De verschillen in pompduren bij IJmuiden zijn klein, vrijwel overal kleiner dan 1%.



Tabel 3.2: Meerpeilen (m NAP) in referentiesituatie en rekenvarianten.

Variant	IJsselmeerpeilen (m+NAP)							Markermeerpeilen (m+NAP)							Pompduren (% winterhalfjaar)		
Referentie	Gem.	T1	T10	T100	T1000	T4000	T10000	Gem.	T1	T10	T100	T1000	T4000	T10000	Afsluitdijk	Houtribdijk	Urnuiden
	-0.26	0.05	0.42	0.72	0.98	1.11	1.21	-0.36	-0.23	0.05	0.24	0.42	0.53	0.59	0.0	0.0	13.2
Variant B: Pompcapaciteit Afsluitdijk																	
2015: 500 m³/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.31	-0.12	0.24	0.57	0.86	1.01	1.11	-0.37	-0.27	-0.01	0.20	0.40	0.50	0.56	21.7	0.0	12.5
2015: 1000 m³/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.33	-0.23	0.05	0.41	0.73	0.90	1.00	-0.38	-0.29	-0.10	0.15	0.37	0.48	0.55	15.0	0.0	12.3
2015: 2000 m³/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.34	-0.26	-0.22	0.06	0.41	0.62	0.74	-0.38	-0.30	-0.23	-0.05	0.23	0.39	0.48	8.5	0.0	12.2
2015: 2000 m³/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	-0.39	-0.36	-0.32	0.01	0.37	0.58	0.72	-0.40	-0.36	-0.31	-0.10	0.20	0.35	0.44	14.0	0.0	11.3
2015: 2000 m³/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.34	-0.26	-0.22	0.06	0.40	0.62	0.74	-0.38	-0.30	-0.23	-0.05	0.23	0.38	0.48	8.5	0.0	12.2
2015: 2000 m³/s, aanslagpeil = +0.03 m+NAP	-0.27	0.04	0.05	0.20	0.49	0.68	0.80	-0.36	-0.24	-0.01	0.10	0.33	0.45	0.53	1.3	0.0	13.1
Variant D: Pompcapaciteit Houtribdijk																	
2015: 50 m³/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.26	0.05	0.43	0.74	0.99	1.13	1.22	-0.36	-0.26	-0.03	0.15	0.32	0.43	0.49	0.0	8.5	13.2
2015: 150 m³/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.26	0.06	0.45	0.77	1.02	1.15	1.25	-0.37	-0.27	-0.16	-0.02	0.13	0.23	0.29	0.0	6.1	13.0
2015: 300 m³/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.26	0.06	0.46	0.79	1.06	1.20	1.30	-0.37	-0.27	-0.26	-0.20	-0.09	-0.03	0.03	0.0	3.2	13.0
2015: 450 m³/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.26	0.06	0.46	0.80	1.08	1.21	1.31	-0.37	-0.27	-0.27	-0.26	-0.24	-0.20	-0.16	0.0	2.2	13.0
2015: 50 m³/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	-0.26	0.06	0.43	0.74	0.99	1.13	1.22	-0.37	-0.29	-0.05	0.12	0.30	0.39	0.45	0.0	27.7	12.8
2015: 150 m³/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	-0.26	0.08	0.46	0.77	1.03	1.16	1.25	-0.38	-0.36	-0.21	-0.09	0.08	0.16	0.22	0.0	17.5	12.1
2015: 300 m³/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	-0.26	0.08	0.48	0.80	1.06	1.20	1.30	-0.39	-0.37	-0.36	-0.30	-0.17	-0.12	-0.07	0.0	9.3	11.9
2015: 450 m³/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	-0.26	0.08	0.48	0.80	1.08	1.21	1.32	-0.39	-0.37	-0.37	-0.36	-0.33	-0.30	-0.26	0.0	6.2	11.9
Variant E: Pompcapaciteit Houtribdijk + Afsluitdijk																	
2015: 50 m³/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.27	0.03	0.41	0.72	0.98	1.11	1.21	-0.36	-0.26	-0.03	0.15	0.32	0.42	0.49	30.8	7.9	13.0
2015: 150 m³/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.28	0.01	0.40	0.72	0.99	1.12	1.22	-0.37	-0.27	-0.16	-0.03	0.13	0.22	0.28	28.2	5.4	12.8
2015: 300 m³/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.29	-0.05	0.37	0.71	0.99	1.14	1.24	-0.38	-0.27	-0.26	-0.21	-0.09	-0.03	0.02	25.2	2.6	12.6
2015: 450 m³/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.31	-0.10	0.31	0.66	0.97	1.13	1.22	-0.38	-0.27	-0.27	-0.26	-0.24	-0.20	-0.16	22.5	1.6	12.5
2015: 50 m³/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	-0.27	0.04	0.41	0.72	0.98	1.12	1.21	-0.37	-0.29	-0.05	0.12	0.30	0.39	0.45	52.5	25.9	12.6
2015: 150 m³/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	-0.29	0.01	0.41	0.73	0.99	1.12	1.22	-0.39	-0.36	-0.21	-0.09	0.08	0.16	0.22	49.2	15.2	11.9
2015: 300 m³/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	-0.32	-0.05	0.37	0.71	0.99	1.14	1.24	-0.39	-0.37	-0.36	-0.30	-0.17	-0.12	-0.07	44.2	7.0	11.7
2015: 450 m³/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	-0.34	-0.12	0.31	0.66	0.97	1.13	1.22	-0.40	-0.37	-0.37	-0.36	-0.33	-0.30	-0.26	39.1	4.1	11.5
Variant I: Klimaatverandering																	
toename neerslag en Vecht-/Eemafvoer met 10%	-0.25	0.08	0.44	0.75	1.02	1.15	1.25	-0.35	-0.21	0.10	0.31	0.51	0.61	0.68	0.0	0.0	15.2
toename neerslag en Vecht-/Eemafvoer met 15%	-0.25	0.09	0.46	0.77	1.04	1.17	1.28	-0.34	-0.19	0.12	0.34	0.55	0.66	0.73	0.0	0.0	16.3
toename neerslag en Vecht-/Eemafvoer met 20%	-0.24	0.09	0.47	0.79	1.06	1.19	1.29	-0.34	-0.18	0.15	0.37	0.58	0.70	0.78	0.0	0.0	17.3
toename neerslag NMV en Eemafvoer met 20%	-0.26	0.06	0.42	0.72	0.98	1.11	1.21	-0.35	-0.20	0.12	0.35	0.56	0.68	0.76	0.0	0.0	13.6
toename neerslag IJM en Vechtafvoer met 20%	-0.25	0.09	0.46	0.79	1.06	1.19	1.29	-0.35	-0.22	0.06	0.25	0.43	0.53	0.60	0.0	0.0	13.4

Tabel 3.3: Verschillen in meerpeil (m) en pompduur (%) per rekenvariant t.o.v. de referentiesituatie.

Variant		IJsselmeerpeilen (m+NAP)					Markermeerpeilen (m+NAP)					Pompduren (% winterhalfjaar)					
Referentie	Gem.	T1	T10	T100	T1000	T4000	T10000	Gem.	T1	T10	T100	T1000	T4000	T10000	Afsluitdijk	Houtribdijk	IJmuiden
	-0.26	0.05	0.42	0.72	0.98	1.11	1.21	-0.36	-0.23	0.05	0.24	0.42	0.53	0.59	0.0	0.0	13.2
Variant B: Pompcapaciteit Afsluitdijk																	
2015: 500 m³/3/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.05	-0.17	-0.18	-0.15	-0.12	-0.10	-0.11	-0.02	-0.04	-0.06	-0.04	-0.02	-0.03	-0.03	21.7	0.0	-0.7
2015: 1000 m³/3/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.07	-0.28	-0.37	-0.31	-0.25	-0.21	-0.21	-0.02	-0.06	-0.14	-0.09	-0.05	-0.05	-0.04	15.0	0.0	-0.9
2015: 2000 m³/3/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.07	-0.31	-0.64	-0.67	-0.58	-0.50	-0.47	-0.03	-0.06	-0.27	-0.28	-0.19	-0.14	-0.11	8.5	0.0	-1.0
2015: 2000 m³/3/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	-0.12	-0.41	-0.74	-0.71	-0.61	-0.54	-0.49	-0.04	-0.13	-0.36	-0.34	-0.22	-0.18	-0.15	14.0	0.0	-1.9
2015: 2000 m³/3/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.07	-0.31	-0.64	-0.67	-0.58	-0.50	-0.47	-0.03	-0.06	-0.27	-0.28	-0.19	-0.15	-0.11	8.5	0.0	-1.0
2015: 2000 m³/3/s, aanslagpeil = +0.03 m+NAP	-0.01	-0.02	-0.36	-0.53	-0.49	-0.43	-0.41	0.00	0.00	-0.06	-0.14	-0.09	-0.07	-0.06	1.3	0.0	-0.1
Variant D: Pompcapaciteit Houtribdijk																	
2015: 50 m³/3/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	-0.02	-0.07	-0.09	-0.10	-0.10	-0.10	0.0	8.5	0.0
2015: 150 m³/3/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	0.00	0.01	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	-0.01	-0.04	-0.20	-0.26	-0.29	-0.30	-0.30	0.0	6.1	-0.2
2015: 300 m³/3/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	0.00	0.01	0.05	0.07	0.08	0.08	0.09	-0.01	-0.04	-0.31	-0.44	-0.51	-0.55	-0.56	0.0	3.2	-0.2
2015: 450 m³/3/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	0.00	0.01	0.05	0.07	0.10	0.10	0.10	-0.01	-0.04	-0.31	-0.50	-0.65	-0.72	-0.75	0.0	2.2	-0.2
2015: 50 m³/3/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-0.01	-0.06	-0.09	-0.12	-0.12	-0.14	-0.14	0.0	27.7	-0.4
2015: 150 m³/3/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	0.00	0.03	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	-0.03	-0.13	-0.26	-0.32	-0.34	-0.37	-0.37	0.0	17.5	-1.1
2015: 300 m³/3/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	0.00	0.03	0.06	0.08	0.08	0.09	0.09	-0.03	-0.14	-0.40	-0.54	-0.59	-0.64	-0.66	0.0	9.3	-1.3
2015: 450 m³/3/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	0.00	0.03	0.06	0.08	0.10	0.10	0.11	-0.03	-0.14	-0.41	-0.60	-0.75	-0.82	-0.85	0.0	6.2	-1.3
Variant E: Pompcapaciteit Houtribdijk + Afsluitdijk																	
2015: 50 m³/3/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.01	-0.02	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.07	-0.09	-0.10	-0.11	-0.11	30.8	7.9	-0.2
2015: 150 m³/3/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.02	-0.05	-0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	-0.01	-0.04	-0.20	-0.27	-0.29	-0.31	-0.31	28.2	5.4	-0.4
2015: 300 m³/3/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.03	-0.10	-0.05	-0.01	0.01	0.02	0.03	-0.02	-0.04	-0.31	-0.44	-0.51	-0.56	-0.57	25.2	2.6	-0.6
2015: 450 m³/3/s, aanslagpeil = -0.27 m+NAP	-0.04	-0.15	-0.11	-0.06	-0.01	0.02	0.01	-0.02	-0.04	-0.31	-0.50	-0.65	-0.73	-0.75	22.5	1.6	-0.7
2015: 50 m³/3/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.06	-0.09	-0.12	-0.12	-0.14	-0.14	52.5	25.9	-0.6
2015: 150 m³/3/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	-0.03	-0.04	-0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	-0.03	-0.13	-0.26	-0.33	-0.34	-0.37	-0.37	49.2	15.2	-1.3
2015: 300 m³/3/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	-0.06	-0.10	-0.05	-0.01	0.01	0.03	0.03	-0.04	-0.14	-0.40	-0.54	-0.59	-0.64	-0.66	44.2	7.0	-1.5
2015: 450 m³/3/s, aanslagpeil = -0.37 m+NAP	-0.08	-0.17	-0.11	-0.06	-0.01	0.02	0.01	-0.04	-0.14	-0.41	-0.60	-0.75	-0.82	-0.85	39.1	4.1	-1.7
Variant I: Klimaatverandering																	
toename neerslag en Vecht-/Eemafvoer met 10%	0.01	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.09	0.09	0.0	0.0	2.0
toename neerslag en Vecht-/Eemafvoer met 15%	0.01	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05	0.07	0.01	0.04	0.08	0.10	0.13	0.13	0.14	0.0	0.0	3.1
toename neerslag en Vecht-/Eemafvoer met 20%	0.02	0.04	0.05	0.07	0.08	0.07	0.08	0.02	0.05	0.10	0.14	0.17	0.18	0.19	0.0	0.0	4.1
toename neerslag MM en Eemafvoer met 20%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.07	0.11	0.14	0.15	0.17	0.0	0.0	0.4
toename neerslag IJL en Vechtafvoer met 20%	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.07	0.08	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.0	0.0	0.2
Om bovenstaande tabel wat makkelijker leesbaar te maken is voor de verschillen in meerpeil de volgende kleurcode toegepast:																	
Verschil < -0.05 m					Verschil ≈ 0 m					Verschil > 0.05 m							

### 3.6 Overschrijdingsfrequentielijnen

Voor de varianten zoals hierboven beschreven, zijn in bijlage 1 figuren gegeven met de overschrijdingsfrequentielijnen van het meerpeil. Per variant is zowel de frequentielijn voor het IJsselmeer als het Markermeer gegeven. Meestal is ook de referentiesituatie opgenomen ter vergelijking.

Dat de frequentielijnen soms een wat grillig verloop geven heeft te maken met de gekozen discretisatie (stapgrootte in IJsselafoeren en aantal blokken met wind- en zeewaterstanden). Standaard wordt een niet al te fijne discretisatie gekozen om de rekentijd te beperken. Besloten is om hier bij het doorrekenen van de varianten niet van af te wijken. De resultaten zijn immers bedoeld om een eerste indicatie te geven van het daadwerkelijke effect van bepaalde situaties.

### 3.7 Analyse kosten pompen.

***N.B: deze paragraaf is gebaseerd op vertrouwelijke gegevens. Aan de tekst liggen notities en kostenramingen ten grondslag van Rijkswaterstaat, Grontmij en ir.Spaargaren/ir. Vroege. De notities vallen onder de bedrijfsvertrouwelijke gegevens van RWS. Vanwege het vernieuwende karakter van het ontwerp van ir. Spaargaren en ir. Vroege is ook het document daarover vertrouwelijk. Inzage van alle documenten is mogelijk, maar daarmee zal zeer selectief worden omgegaan.***

#### 3.7.1 Kostenkentallen

Over kosten van pompen en gemalen is veel informatie beschikbaar. Vrijwel altijd gaat dit echter om kleinere gemalen en dito pompcapaciteiten, meestal tot 10 m<sup>3</sup>/s. Dat soort gemalen wordt veel gebouwd.

In dit project gaat het om grotere pompcapaciteiten, variërend van 150 tot 450 m<sup>3</sup>/s. Dit soort gemalen zijn vrij zeldzaam. Het grootste gemaal van Nederland (en van Europa) is dat van IJmuiden, met 260 m<sup>3</sup>/s. De grotere boezemgemalen gaan tot ongeveer 100 m<sup>3</sup>/s.

Omdat er weinig grote gemalen gebouwd worden, is ook een kostenraming met grote onzekerheden omgeven. Meestal wordt een kostprijs gehanteerd van 50 tot 100 Miljoen € per 100 m<sup>3</sup>/s (investeringskosten inclusief BTW en onzekerheidsmarge). Voor de operationele kosten wordt standaard 0,6% van de investeringskosten gebruikt.

In Nederland wordt in het algemeen gewerkt met de Standaard-Systematiek voor Kostenramingen in de bouw. Hier zijn veel gemalen mee geraamd, en meestal komen deze kostenramingen uit binnen de genoemde bandbreedte van 50 tot 100 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s.

Het grootste (oorspronkelijke) gemaal in Nederland, IJmuiden, met  $4 * 40 = 160$  m<sup>3</sup>/s bedroeg (geïndexeerd naar 2015) circa 90 miljoen euro. En de West Closure Complex (New Orleans) met  $11 * 49 = 539$  m<sup>3</sup>/s kostte naar huidig prijspeil circa 280 miljoen euro. Dit zijn traditioneel gebouwde en bewezen gemalen. Beide zitten dus in de buurt van de onderkant van de bandbreedte, namelijk ruim 50 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s.

Bovenstaande kostenramingen gelden voor traditioneel gebouwde gemalen. Innovatieve oplossingen zouden uiteraard goedkoper kunnen zijn. Wel hebben deze per definitie als nadeel dat het geen bewezen technieken zijn. Maar het kan zeker de moeite waard zijn dit te onderzoeken.

In het geval van pompen op de Houtribdijk hebben ir. Spaargaren en ir. Vroege een eenvoudig en vernieuwend concept ontwikkeld waarvan zij aangeven dat dit aanzienlijk goedkoper is dan traditionele oplossingen. De onderdelen zijn allemaal bewezen technieken, alleen de schaalgrootte en combinatie van technieken zijn nieuw. Zij gaan voor een gemaal van 200 m<sup>3</sup>/s (met 10 pompen van 20 m<sup>3</sup>/s) uit van 45 miljoen euro investeringskosten (inclusief BTW). Dat is aanzienlijk lager dan de SSK-raming. Innovatie kan voordelen hebben, bijvoorbeeld in de investeringskosten. Maar of die qua kostenkental daadwerkelijk een factor 2 lager zijn dan wat tot nu toe aan gemalen is gerealiseerd, moet nog in de praktijk worden bewezen. Dat hangt af van de randvoorwaarden en de uitwerking tot en met de realisatie.

Vergeleken met de SSK-methodiek (die uitkomt op minmaal 50 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s) is de raming van ir. Vroege en ir. Spaargaren dus laag. In de raming is 10% onvoorzien opgenomen. In SSK wordt in de verkenningfase standaard uitgegaan van een risico-opslag tussen 25% en 35%. Hieruit kan een deel van het verschil in kostenramingen worden verklaard.

De pompen van ir. Vroege en ir. Spaargaren zijn vergelijkbaar met degene die zij voor het sluizenplan voor de RijnMaasmonding hebben ontwikkeld (motie Geurts). Deze kostenraming is door Rijkswaterstaat beoordeeld. Omdat het om een nieuw concept gaat (nieuw door zijn eenvoud en schaalgrootte), is tevens een review uitgevoerd door Grontmij. Op basis hiervan is geconcludeerd dat voor het sluizenplan een kostenraming van 33 tot 50 miljoen euro per 100 m<sup>3</sup>/s reëel is. In het sluizenplan wordt uitgegaan van een pompcapaciteit van 60 pompen van elk 50 m<sup>3</sup>/s.

Voor de Houtribdijk gaan ir. Spaargaren en ir. Vroege uit van pompen van 20 m<sup>3</sup>/s per stuk. Ook is de constructie anders dan in het sluizenplan. Daarnaast zijn een aantal extra voorzieningen nodig. Grontmij concludeert dat de kosten daardoor iets hoger zullen liggen, waarschijnlijk in dezelfde orde grootte als gemaal IJmuiden (50 miljoen euro per 100 m<sup>3</sup>/s). Ir. Vroege en ir. Spaargaren bestrijden dat. Ze hebben concrete offertes van pompenbouwers en aannemers die hun kostenraming onderbouwen.

Tot slot is nog van belang dat in de oplossing van ir. Spaargaren en ir. Vroege wordt gekozen voor een dieselaandrijving. Tegenwoordig wordt vrijwel standaard gekozen voor elektrische aandrijving. Een dieselmemaal heeft als groot voordeel dat geen aansluiting op het elektriciteitsnet nodig is. Dat scheelt kosten, maar het maakt de oplossing ook robuuster. Een dieselmemaal heeft geen last van stroomuitval. Het ontwerp van de ingenieurs bestaat bovendien uit meerdere onafhankelijk draaiende units. Als er 1 uitvalt, dan blijft alsnog 80 tot 90% van de capaciteit in tact.

Dieselaandrijving heeft wel als nadeel dat de levensduur soms minder groot is (25 in plaats van 50 jaar). Bij het berekenen van de Netto Contante Waarde moet daarmee rekening worden gehouden, al zal de invloed beperkt zijn. Door de discontovoet werken investeringen op langere termijn slechts beperkt door in de Netto Contante Waarde. Ook hier geven de ingenieurs aan dat het type aandrijving dat zij gebruiken bewezen technieken zijn, waarvan is aangetoond dat die een lange levensduur hebben, zeker gezien de frequentie waarmee ze worden gebruikt (enkele weken per jaar).

Voor het bepalen van de operationele kosten zijn de pomptijden van belang. In tabel 3.2 is te zien dat de tijd dat de pompen aanstaan voor de pompen op de

Houtribdijk bij een capaciteit van 300 m<sup>3</sup>/s en een aanslagpeil van -0,27m NAP 2,6% van het winterhalfjaar is (een winterhalfjaar heeft 180 dagen). De pompen staan in dat geval ongeveer 5 dagen per jaar aan. Bij een aanslagpeil van -0,37m NAP wordt dat 7%, oftewel 12 dagen per jaar. De pompen staan dus hooguit enkele weken per jaar aan. Daardoor zal de levensduur waarschijnlijk langer zijn dan de eerder aangegeven standaard levensduur van 25 jaar.

Het energieverbruik kan worden geschat op basis van gemaal IJmuiden. Dat bedraagt circa 10.000.000 kWh per jaar (IJmuiden: 260 m<sup>3</sup>/s, 4\*40 en 2\*50 m<sup>3</sup>/s), ofwel 40.000 kWh per jaar per m<sup>3</sup>/s. Uitgaande van een tarief van € 0,075/kWh bedragen de energiekosten dan circa € 3.000 per m<sup>3</sup>/s.

De energiekosten bedragen dan voor een gemaal van 100 m<sup>3</sup>/s circa € 0,3 miljoen/jaar. Gemaal IJmuiden staat echter veel vaker aan dan het gemaal in de Houtribdijk. Dat scheelt al snel een factor 2. Daarmee komen de energiekosten ruim onder de 1 miljoen euro per jaar. Vanwege die reden zijn ze in deze studie verder buiten beschouwing gelaten.

De extra pompduur op de Afsluitdijk is gelijk aan die op de Houtribdijk (zie paragraaf 3.5). De verschillen in pompduren bij IJmuiden zijn klein, vrijwel overal kleiner dan 1%.

### **3.7.2 Samenvatting Kostenkentallen**

Op basis van bovenstaande gegevens bestaat de volgende bandbreedte in kostenkentallen:

#### SSK-Bouw (CROW, 2010):

Deze systematiek is gebaseerd op de investeringskosten van gerealiseerde gemalen. Kostenkentallen variëren tussen de 50 en 100 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s.

Voor het type gemaal dat hier nodig is, is waarschijnlijk de ondergrens (dus 50 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s) van toepassing. Zoals gebruikelijk in de Standaard-Systematiek Kostenramingen (SSK), geldt voor kostenramingen in de verkenningfase een spreiding van plus of min 50%. Het kostenkental van 50 M€ kent dus een bandbreedte van 25 tot 75 M€.

#### Kostenraming op basis van het plan sluizen (motie Geurts):

Ir. Spaargaren en ir. Vroege hebben voor het Plan sluizen (in de Rijnmaasmonding) een eenvoudig, vernieuwend ontwerp gemaakt voor gemalen van 1000 en 2000 m<sup>3</sup>/s. De kostenraming van RWS (met review van Grontmij) komt uit op kostenkentallen die variëren tussen de 33 en 50 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s.

#### Kostenraming gemaal Houtribdijk

Ir. Spaargaren en ir. Vroege hebben een eenvoudig, vernieuwend ontwerp gemaakt voor een gemaal op de Houtribdijk. Hun kostenraming komt uit op 22,5 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s. Het ontwerp is gereviewed door RWS en Grontmij. Zij komen uit op een kostenkental dat eerder in de buurt van 50 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s ligt. Desondanks zal in het vervolg van deze studie 25 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s als ondergrens worden meegenomen.

Op basis van het bovenstaande wordt in het vervolg van deze studie gewerkt met een bovengrens van 50 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s, en een ondergrens van 25 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s.



Het zal duidelijk zijn dat de onzekerheden hierin groot zijn. In hoofdstuk 6 (synthese, conclusies en aanbevelingen) wordt hier nog op teruggekomen.

### 3.7.3 Investeringskosten om diverse MHW-dalingen te bereiken

Eerder in dit hoofdstuk zijn de pompcapaciteiten berekend om een MHW-daling van het Markermeer te realiseren. In onderstaande tabel zijn de resultaten samengevat. Tevens zijn in de laatste 2 kolommen de boven- en ondergrens van de investeringskosten opgenomen.

**Tabel 3.4: Relatie tussen investeringskosten pompen (in M€) en MHW-daling**

Pompcapaciteit Houtribdijk (m <sup>3</sup> /s)	MHW-daling Markermeer (m)	Pompcapaciteit Afsluitdijk (m <sup>3</sup> /s)	Pompcapaciteit totaal (m <sup>3</sup> /s)	Investeringskosten (miljoen €, incl BTW)	
				Ondergrens (25 M€ per 100 m <sup>3</sup> /s)	Bovengrens (50 M€ per 100 m <sup>3</sup> /s)
150	0,3	150	300	75	150
300	0,6	300	600	150	300
450	0,75	450	900	225	450

De extra pompcapaciteit op de Afsluitdijk is nodig om een MHW-stijging op het IJsselmeer te voorkomen (zie eerder in dit hoofdstuk). Dit is conform het vigerende beleid.

De vertegenwoordigers van de Adviesgroep hebben aangegeven te streven naar een MHW-daling van 60 centimeter. Op basis van bovenstaande gegevens variëren de investeringskosten tussen 150 miljoen euro en 300 miljoen euro. Voor de operationele kosten wordt uitgegaan van een jaarlijks bedrag van 0,6% van de investeringskosten.

Om tot een positieve kosten-baten-balans te komen zullen deze investeringskosten en operationele kosten moeten worden 'terugverdiend' door minder investeringen in de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam en elders rondom het Markermeer. Deze baten (of beter: vermeden kosten) en andere niet-monetaire baten (bijvoorbeeld minder ruimtebeslag) worden in de volgende twee hoofdstukken uitgewerkt.

## 4 Analyse effect MHW-verlaging op ontwerp Markermeerdijken Hoorn-Amsterdam.

**Samenvatting:** In dit hoofdstuk wordt beschreven wat het effect is van een MHW-daling van respectievelijk 0,3m, 0,6m en 0,9m op het ontwerp van de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam. Dit wordt uitgedrukt in het fysiek ontwerp (bijvoorbeeld minder brede steunbermen of lagere oeverdijken) en in kostenbesparingen ten opzichte van het voorlopig ontwerp (VOPP). Uitgangspunt bij alle berekeningen zijn het VOPP en de bestaande modellen (zie het plan van aanpak). Op basis van deze uitgangspunten variëren de kostenbesparingen tussen de 10 miljoen (ondergrens bij een MHW-daling van -0,3 m) en 150 miljoen euro (bovengrens bij een MHW-daling van 0,9 m). De bovengrens van de besparing bij een MHW-daling van 0,6 m bedraagt ongeveer 100 miljoen euro.

### 4.1 Opzet onderzoek

De basis voor het onderzoek is het ontwerp van de dijkversterking Markermeerdijken (het VOPP) dat begin 2015 opgeleverd is door Royal HaskoningDHV, Arcadis en Fugro. Dit onderzoek is gezamenlijk door RHDHV en Fugro uitgevoerd. Fugro is binnen het project verantwoordelijk voor de geotechnische berekeningen en het geotechnische ontwerp.

In het onderzoek is in beeld gebracht wat de consequenties zijn van een lagere maatgevende waterstand van het Markermeer op het ontwerp van de dijkversterking. Hierbij zijn 3 niveaus van MHW-verlaging onderzocht (zie hoofdstuk 3). Voor elk van deze 3 verlagingen van de waterstand is het ontwerp geotechnisch opnieuw berekend. Hieruit volgen 3 nieuwe ontwerpen met nieuwe hoeveelheden en nieuwe ruimtebeslagen. Naast een nieuw geotechnisch ontwerp is er ook naar het ontwerp van de steenbekleding gekeken als belangrijke kostendrager binnen het project.

De werkvolgorde is weergegeven in figuur 4.1, waarbij de eerste twee stappen in werkelijkheid parallel lopen in verband met de tijdsdruk.



**Figuur 4.1: Werkvolgorde**

Voor de uitkomsten van de geotechnische berekeningen wordt verwezen naar bijlage 1 van het rapport (RHDHV, 2015).

Voor de uitkomsten van de hoeveelheden en de kostenraming wordt verwezen naar bijlage 2 van het rapport (RHDHV, 2015).

## 4.2 Uitgangspunten

### 4.2.1 Algemene uitgangspunten voor analyse van effect pompen

#### a. Vertrekpunt VOPP zonder nieuwe ontwikkelingen

Het vertrekpunt voor de uitgevoerde analyses is het in februari 2015 opgeleverde Voorlopig Ontwerp Projectplan (VOPP). Dit VOPP bestaat uit een set tekeningen en een Technisch Achtergrond Document (HHNK, feb 2015). De uitgangspunten gehanteerd bij het VOPP gelden ook voor deze studie. Er zijn echter afwijkingen en nieuwe uitgangspunten die in dit hoofdstuk zijn benoemd.

Naast deze studie naar de invloed van het plaatsen van pompen in de Houtribdijk op het huidige ontwerp, zijn de belangrijkste lopende studies die mogelijk ook grote invloed hebben op het huidige ontwerp de volgende:

- Dijken op Veen (DoV)
- Overgang van gedraineerd op ongedraineerd rekenen voor kleigronden
- Nieuwe normering (WTI2017, OI2014/2015).

Het al lang lopende onderzoek Dijken op Veen (DoV) heeft betrekking op de geotechnische sterkteparameters van grondlagen (met name veen en in mindere mate klei). Daarnaast wordt gebruik gemaakt van nieuwe inzichten in de geotechnische berekeningen (ongedraineerd rekenen).

Het inzicht tot nu toe uit Dijken op Veen is dat aan veen een hogere sterkte kan worden toegekend, hetgeen zou leiden tot een lichter dijkontwerp. Het nieuwe inzicht dat meer aansluit op het werkelijk gedrag van de ondergrond en ontstaat door de meer internationaal geaccepteerde rekenmethode voor het gedrag van klei te gebruiken leidt vooralsnog tot een oordeel dat de klei onder extreme omstandigheden zwakker is dan tot nu toe werd aangenomen, waardoor weer een grotere dijk nodig zou zijn.

Daarnaast heeft HHNK eind 2014 een studie gestart naar de impact op het benodigde dijkontwerp van de nieuwe normering (1/3000 per jaar) en de bijbehorende rekenmethoden die vanaf 2017 zullen gelden. Deze impactanalyse is in concept gerapporteerd (HHNK, mei 2015). De bij de nieuwe norm behorende rekenkundige manier om de benodigde dijkomvang vast te stellen is nog sterk in beweging en nog niet uitgekristalliseerd. Deze onzekerheid over de juiste berekening geldt vooralsnog juist ook op het zwakke punt van de Markermeerdijken, de macrostabiliteit. Er is om die reden nog geen definitieve impact vast te stellen. Daarnaast zegt de nieuwe normering vooral iets over het ontwerp van de dijk over veiligheid. De eisen ten aanzien van aspecten als beheer, onderhoud en calamiteiten wordt in deze normering nog opengelaten. Op dit moment vigeert de wettelijke norm 1/10.000 per jaar en de rekenmethoden die daarbij behoren; vanwege de onzekerheden rondom de nieuwe rekenmethoden houdt het HHNK en het Rijk voor de Markermeerdijken nog vast aan deze vigerende norm.

Voor de analyse van het effect van pompen in de Houtribdijk en Afsluitdijk geldt het VOPP als uitgangspunt. De effecten van DoV, ongedraineerd rekenen en de nieuwe normering zijn hierin *niet* meegenomen, daarvoor lopen dus aparte onderzoekstrajecten.

#### b. Verandering hydraulische belasting door pompen

Rijkswaterstaat heeft samen met HKV [Lijninwater](#) de mogelijkheid onderzocht van plaatsing van pompen in de Houtribdijk. De resultaten staan beschreven in hoofdstuk 3.

Dit onderzoek is parallel uitgevoerd met de analyse van het effect van MHW-verlaging op het ontwerp van de Markermeerdijken Hoorn-Amsterdam waarvan de

resultaten in dit hoofdstuk worden gerapporteerd. Daarbij is afgesproken dat er drie situaties worden onderzocht (zie ook paragraaf 1.9, werkwijze):

1. Het maatgevende hoogwater wordt verlaagd met 30 cm.
2. Het maatgevende hoogwater wordt verlaagd met 60 cm.
3. Het maatgevende hoogwater wordt verlaagd met 90 cm.

Een verlaging van de maatgevende ontwerpwaterstand heeft effecten die van invloed zijn op het bestaande ontwerp (VOPP):

1. De ontwerpbelasting (waterstand) op de dijk neemt af.
2. De freatische lijn in de dijk blijft lager. Hierdoor blijft de korrelspanning (effectieve grondspanning) hoger dan bij een hogere. Dit heeft onder maatgevende omstandigheden een positief effect op de sterkte van het dijklichaam ten opzichte van het huidige VOPP. De freatische lijn is verhoudingsgewijs samen met de MHW verlaagd. Meer detail is terug te lezen in de Fugro-rapportage (bijlage 1 van RHDHV, 2015).
3. De stijghoogte in de watervoerende zandlaag onder de dijk wordt lager. Dit is verhoudingsgewijs aangepast op basis van een stijghoogterespons van 80%. Dit is conform het technisch achtergronddocument.
4. De maatgevende golven kunnen lager worden door de lagere waterstand (golfhoogtebeperking door kleinere diepte). Voor de macrostabiliteitsberekeningen is dit niet meegenomen, maar voor het bepalen van de hoogte van de bekleding is dit wel gecontroleerd en waar nodig is het ontwerp aangepast.
5. De duur van de maatgevende waterstand verandert niet.

#### **4.2.2 Consequenties van deze uitgangspunten**

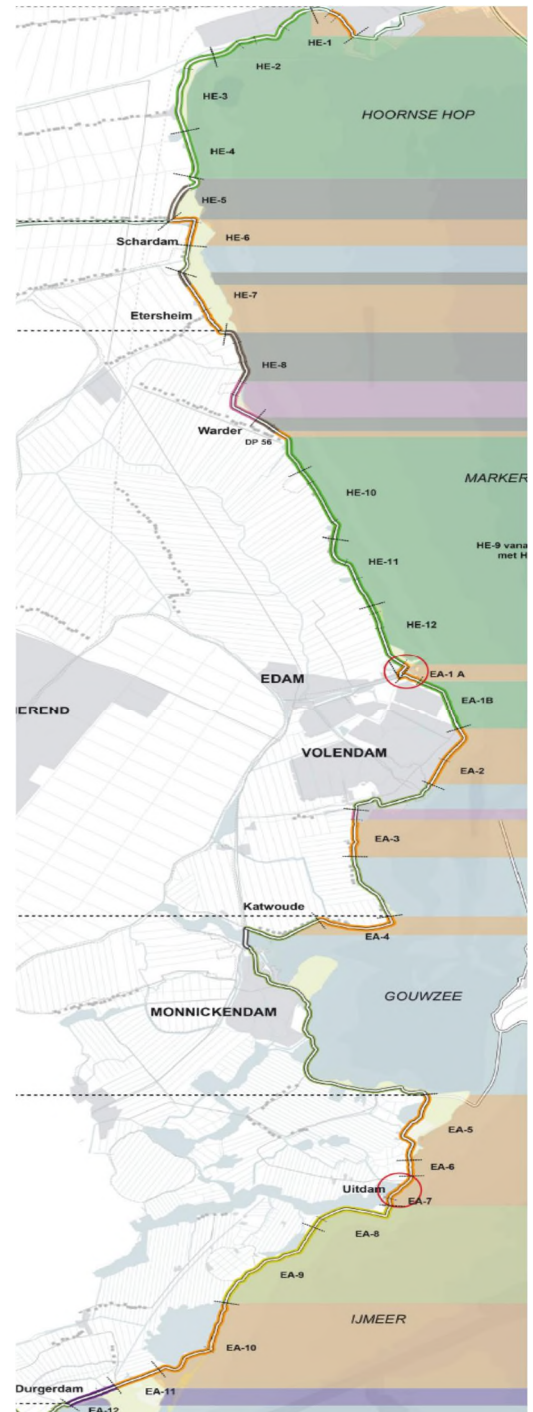
Het niet meenemen van DOV en de nieuwe normering in deze studie heeft tot gevolg dat er inzicht ontstaat in enkel het effect van het plaatsen van pompen. Voor de andere onderwerpen zijn gelijksoortige onderzoeken uitgevoerd. Bij het ontwerp van de dijk spelen al deze aspecten toch op elkaar in. Indien wordt besloten om in het nieuwe ontwerp de resultaten van alle drie de studies mee te nemen, zullen de effecten anders zijn dan de optelling van deze effecten. Dit komt omdat de effecten in elkaar grijpen en elkaar zowel kunnen versterken als afzwakken.

Als belangrijk voorbeeld: een mogelijke kruinverlaging als gevolg van de nieuwe normering is in de impactanalyse nog niet meegenomen, terwijl deze in onderhavige studie wel wordt beschouwd. Het gecombineerde effect van pompen en nieuwe normering in termen van kruinverlaging *kán* een heel sterk effect hebben op het oordeel over stabiliteit van de dijk. Dit oordeel blijft vooralsnog onzichtbaar. De lopende discussie over DoV, ongedraineerd rekenen en rekenwijze macrostabiliteit in OI2014 (nieuwe norm) speelt daar nog doorheen.

#### **4.2.3 Keuze dwarsprofielen**

Om de effecten van een MHW-verlaging op het huidige ontwerp te bepalen zijn er 8 dwarsprofielen geselecteerd waarvan de effecten lokaal bepaald worden. De gevolgen van de MHW-verlaging worden uitgedrukt in een percentage kostenreductie. In onderstaande tabel is weergegeven waarvoor de gekozen profielen representatief zijn gesteld.

Dijk	Dijkpaal	Sectie	Versterkings-variant	Representatief voor
1			Oeverdijk	HE1 B, HE2, HE3, HE4, HE9 B, HE10 , HE11 , HE12 A, EA1B
2	20	7 0	HE5	Gecombineerd HE5, HE8 B
3	22	3 0	HE8 A	Buitenwaarts HE6, HE7, HE9 A, HE12 B, EA1A
4	22	3 0	HE8 A	gecombineerd HE8 A
5	25	3 0	EA4 B	Buitenwaarts EA2, EA3, EA4
6	28	7 4	EA6 /7	Buitenwaarts EA5, EA6, EA7, EA8, EA9, EA10 , EA11
7	29	1 5 2	EA1 2	Buitenwaarts HE1 A
8	29	1 5 2	EA1 2	Constructief EA12



**Figuur 4.2: Indeling trajecten**

## 4.3

### Toepassing lagere kruinhoogte vanwege pompen

#### 4.3.1 Effect waterstanden en golven op de benodigde kruinhoogte

De maatgevende waterstanden (MHW), golven en toeslagen voor bodemdaling, klimaatontwikkeling en robuustheid, bepalen de benodigde dijkhoogte. Deze waarden zijn alle verdisconteerd in de benodigde kruinhoogte conform de uitgangspunten voor het VOPP. Overhoogte voor zetting en klink van de dijk zit niet

in genoemde waarden. Verlaging van de MHW door het gebruik van pompen levert significant lagere benodigde kruinhoogten dan in het VOPP (zie tabel 4.1) **Tabel 4.1.** Door het toepassen van deze lagere kruinhoogte zal er geometrisch een iets kleiner ruimtebeslag nodig zijn dan in het VOPP.

**Tabel 4.1 Overzicht kruinhoogte per sectie in huidige situatie, VOPP en bij lagere MHW**

	Dijknr.	Dijkpaal	Sectie	Kruinhoogte in m + NAP					
				Huidige dijk	benodigd volgens berekeningen (1/10.000 per jr)				
					VOPP MHW-0,00	Toegepast in VOPP	met pompen		
				MHW-0,30	MHW-0,60	MHW-0,90			
1	Oeverdijk			1,50			1,20	0,90	0,60
2	20	70	HE5 buitenw	3,20	2,87	3,30	2,57	2,27	1,97
3	22/23	70	HE8A buitenw	3,43	3,29	3,50	2,99	2,69	2,39
4	22/23	30	HE8A combi	3,43	3,29	3,50	2,99	2,69	2,39
5	25	30	EA4B buitenw	2,87	2,03	2,20	1,90	1,60	1,30
6	28	74	EA6/7 buitenw	2,86	3,26	3,30	3,00	2,70	2,40
7	29	152	EA12 buitenw	2,53	2,04	constr.	1,74	1,44	1,14
8	29	152	EA12 constr	2,53	2,04	constr.	1,74	1,44	1,14

#### 4.4

#### Impact op ontwerp

##### 4.4.1 Geotechnisch ontwerp

De lagere benodigde kruinhoogte zal niet alleen geometrisch een effect hebben op het ruimtebeslag, maar vooral door een kleiner 'aandrijvend moment' zal een kleinere berm nodig zijn om tegenwicht, stabiliteit te bieden voor het bovenliggende grondgewicht.

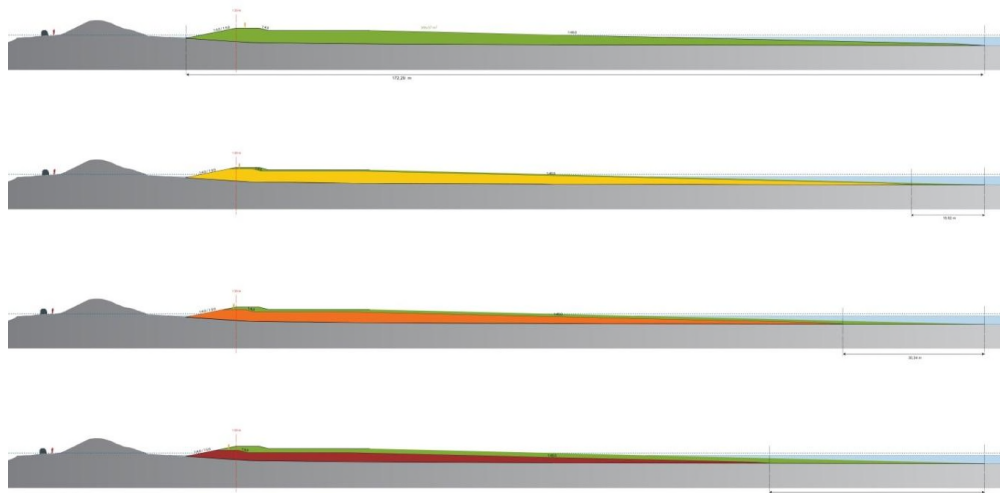
Een tweede belangrijk grondmechanisch effect is dat bij lagere buitenwaterstand de waterspanningen in en onder de dijk minder zullen oplopen, waardoor de grond zijn sterkte dus beter behoudt dan bij hogere waterstanden. Om de impact van deze veranderingen inzichtelijk te krijgen zijn er geotechnische berekeningen gemaakt. Deze berekeningen zijn uitgevoerd en gerapporteerd door Fugro (RHDHV, 2015, bijlage 1).

De resultaten van de berekeningen zijn vertaald in onderstaande figuren. Onder de figuren zijn telkens in een tabel een aantal kenmerken weergegeven.

#### Legenda voor de navolgende figuren met optimalisaties (fig. 4.3 t/m fig. 4.8)

Groen : VOPP  
 Geel : verlaging MHW 0,3 m.  
 Oranje : verlaging MHW 0,6 m.  
 Roodbruin : verlaging MHW 0,9 m.  
 Blauw : extreme neerslag

### Ontwerp oeverdijk



**Figuur 4.3: optimalisaties oeverdijk**

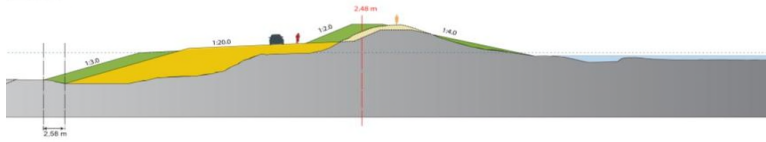
Met een toenemende verlaging van de MHW kan ook de kruinhoogte mee dalen. De kruinhoogte bij de oeverdijk wordt alleen bepaald door meerpeil en opwaaiing. Het uitgangspunt is dat golven uitlopen op een flauw buitentalud. De maximale scheefstand voor de westzijde (luwe zijde) van het Markermeer is circa 15 cm. Dit is gebaseerd op de notitie "Peilbeheer en hydraulische randvoorwaarden van het Markermeer" en een globale analyse in Hydra-Zoet. Dit resulteert in een korter wordend buitentalud en daarmee minder ruimtebeslag in het Markermeer. Het is echter de vraag of bij een lagere waterstand de opwaaiing niet significant groter wordt doordat de kans van voorkomen van een lagere waterstand groter is en er daardoor rekening gehouden moet worden met een ooster storm met een lagere kans van voorkomen.

**Tabel 4.2: Kenmerken optimalisaties Oeverdijk**

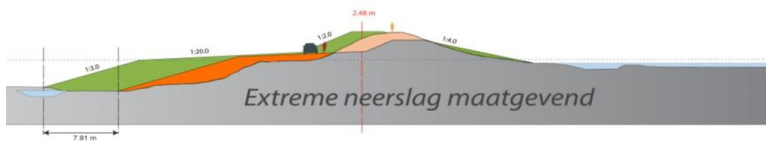
	MHW (huidig)	MHW - 0,30 m	MHW - 0,60 m	MHW - 0,90 m
Ruimtebeslag	173 m			
Vermindering ruimtebeslag	0	15 m	30 m	46 m
Vermindering m³/m¹	0	45	88	125

### HE5-Gecombineerd (Schardam)

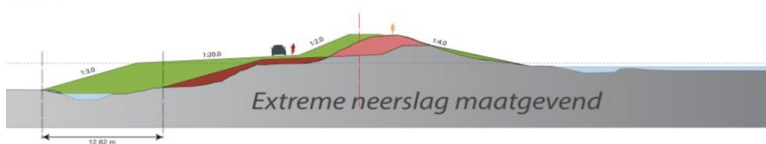
kpaal 70



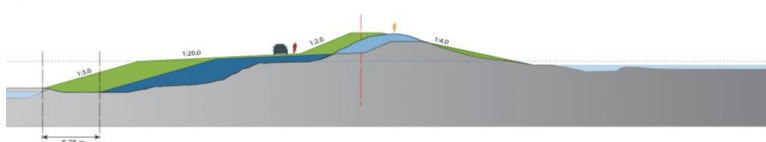
kpaal 70



kpaal 70



kpaal 70



**Figuur 4.4: optimalisaties HE5 (gecombineerd)**

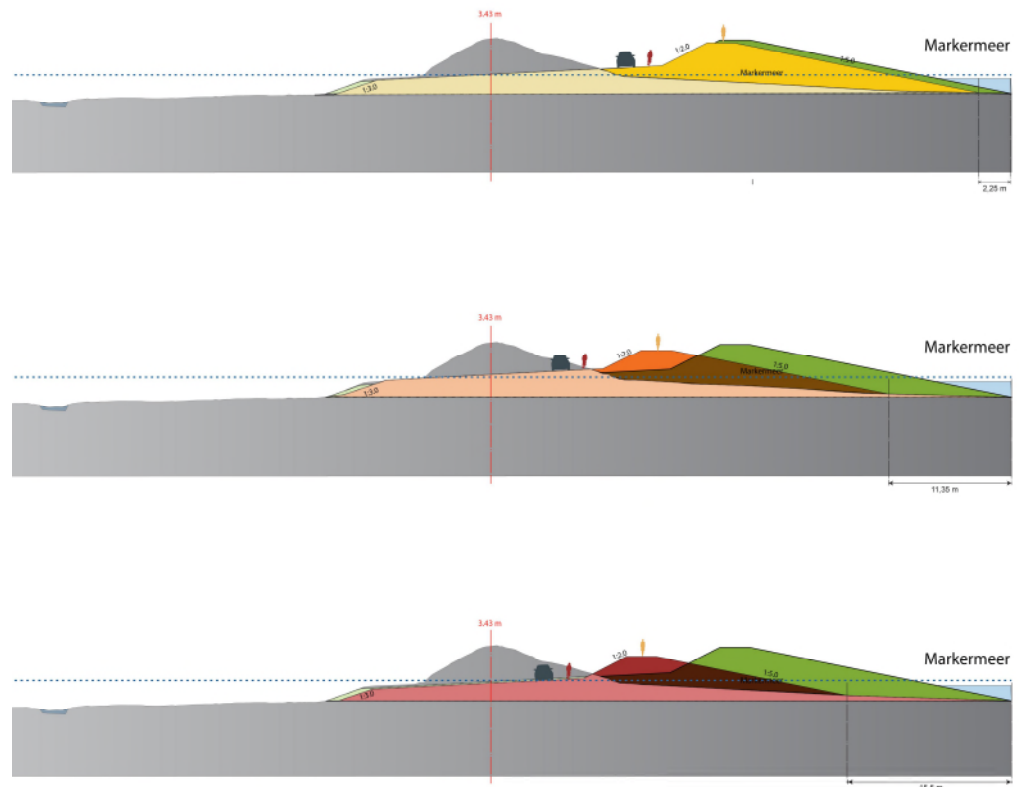
Met een toenemende verlaging van de MHW is er een minder brede berm en een minder hoge kruin noodzakelijk. Hierdoor neemt het binnendijks ruimtebeslag en de hoeveelheid benodigde grond af. Voor deze locatie blijkt echter dat de belastingsituatie met extreme neerslag maatgevend wordt voor het ontwerp bij een daling van MHW met 0,60 en 0,90 meter. Dat betekent dat het ontwerp niet verder kan afnemen omdat het niet door hoogwater, maar door extreme neerslag maatgevend wordt belast.

**Tabel 4.3: Kenmerken optimalisaties HE5 (gecombineerd)**

	MHW - 0,30 m	MHW - 0,60 m	MHW - 0,90 m
Vermindering ruimtebeslag	2	11	15
Vermindering m <sup>3</sup> /m <sup>1</sup>	13	38	50

\* Een verlaging van de MHW met 0,60 en 0,90 meter heeft tot gevolg dat de belastingsituatie extreme neerslag maatgevend wordt. De optimalisatie is gemaximeerd tot het profiel met extreme neerslag.



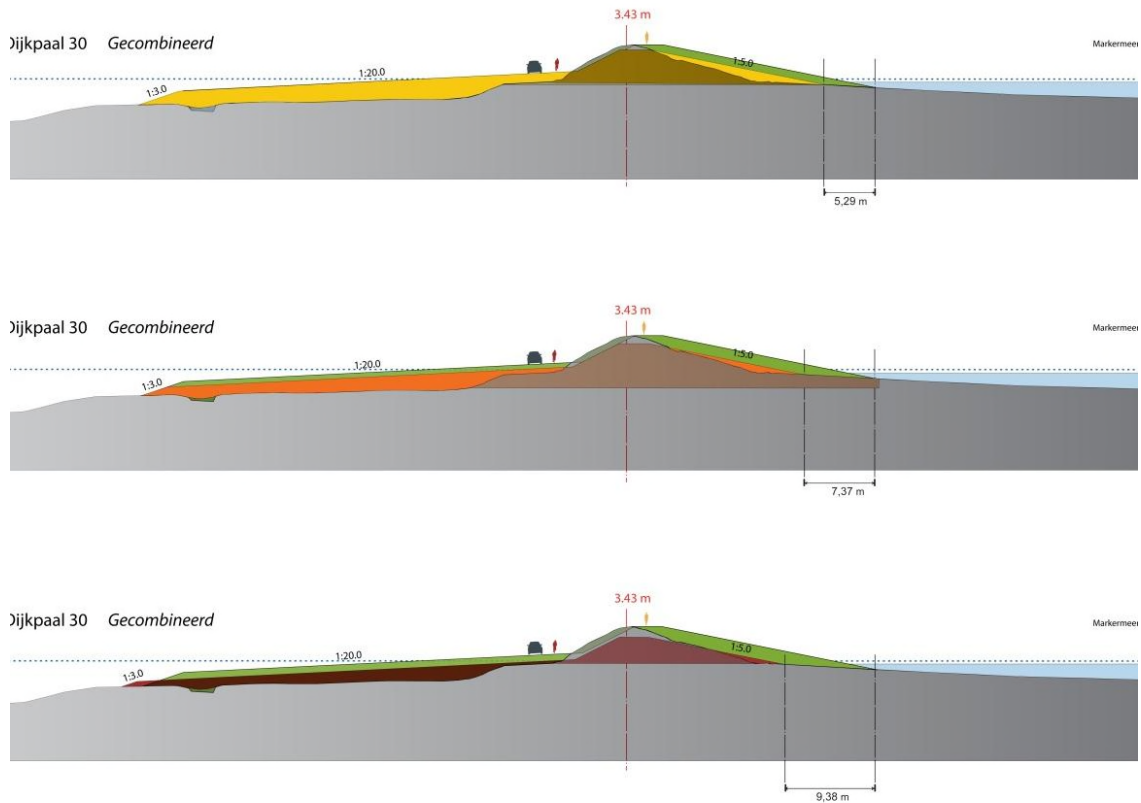
**HE8A-Buitenwaarts (Warder)****Figuur 4.5: optimalisaties HE8A (buitenwaarts)**

Met een toenemende verlaging van de MHW is er een minder brede berm en een minder hoge kruin noodzakelijk. Hierdoor neemt de asverschuiving buitenwaarts af en daarmee neemt ook het buitendijks ruimtebeslag en de hoeveelheid benodigde grond af.

**Tabel 4.4: Kenmerken optimalisaties HE8A (buitenwaarts)**

	MHW - 0,30 m	MHW - 0,60 m	MHW - 0,90 m
Vermindering ruimtebeslag	2	11	15
Vermindering m <sup>3</sup> /m <sup>1</sup>	13	38	50

## HE8A-Gecombineerd (Warder)



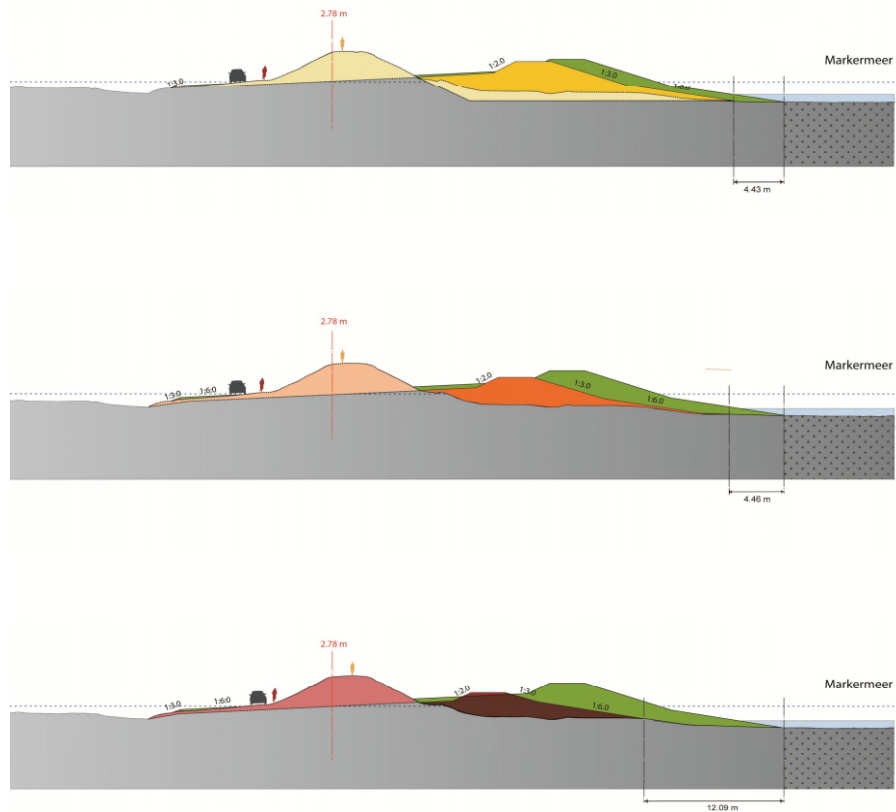
**Figuur 4.6: optimalisaties HE8 (gecombineerd)**

Met een toenemende verlaging van de MHW is er een minder hoge kruin noodzakelijk. Hierdoor neemt het buitendijks ruimtebeslag en de hoeveelheid benodigde grond af. De binnenberm wordt wel iets lager, maar blijft wat lengte betreft gelijk. De lagere berm heeft een positief effect op de hoeveelheden.

**Tabel 4.5: Kenmerken optimalisaties HE8A (gecombineerd)**

	MHW - 0,30 m	MHW - 0,60 m	MHW - 0,90 m
Vermindering ruimtebeslag	5 m	7 m	9 m
Vermindering m <sup>3</sup> /m <sup>1</sup>	15	40	51

Er is hier gekozen om het ruimtebeslag aan de buitenzijde te verminderen, dat levert de grootste besparing op de directe bouwkosten ten opzichte van VOPP. Het ruimtebeslag zou ook aan de binnenzijde kunnen worden verminderd, waar winst zou kunnen worden geboekt in verminderde omgevingseffecten (zie ook paragraaf 4.5.2).

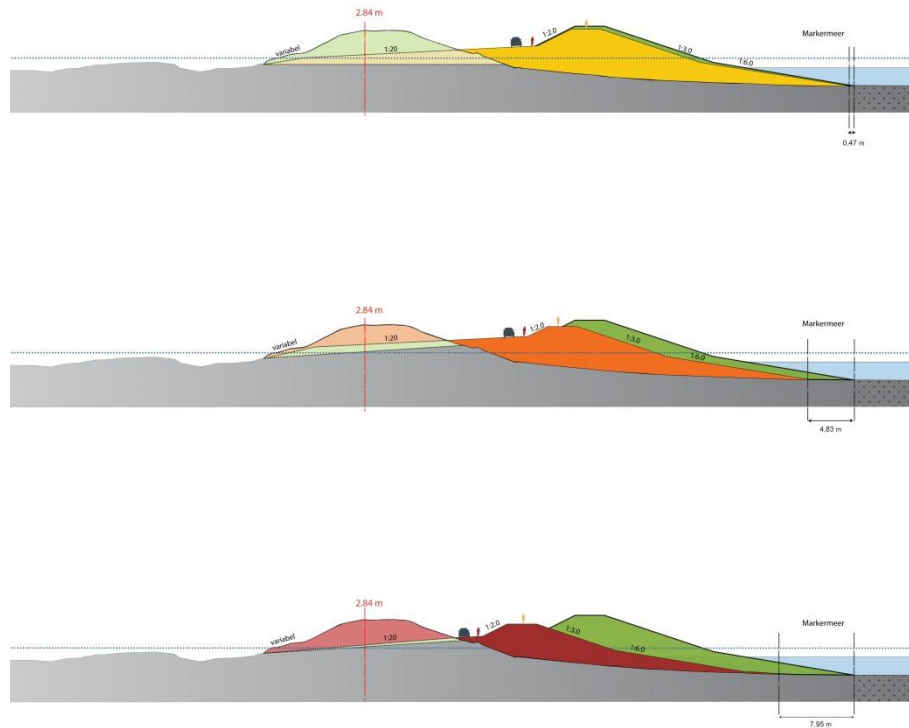
**EA4B-Buitenwaarts (Katwoude)****Figuur 4.7: optimalisaties EA4 (buitenwaarts Katwoude)**

Met een toenemende verlaging van de MHW is er een minder brede berm en een minder hoge kruin noodzakelijk. Hierdoor neemt de asverschuiving buitenwaarts af en daardoor ook het buitendijks ruimtebeslag en de hoeveelheid benodigde grond. De nu voorziene grondverbetering ter hoogte van de nieuwe buitenteenlijn moet behouden blijven (zie gestippelde vlak). Uit de berekeningen is gebleken dat de grondverbetering ook niet in omvang afneemt. In de situatie van een daling van 90 cm komt de grondverbetering wel dicht tegen de bestaande dijk aan te liggen, waardoor de uitvoering van deze grondverbetering mogelijk niet meer uitgevoerd kan worden. In dat geval zal er een andere maatregel genomen moeten worden.

**Tabel 4.6: Kenmerken optimalisaties EA4 (buitenwaarts Katwoude)**

	MHW - 0,30 m	MHW - 0,60 m	MHW - 0,90 m
Vermindering ruimtebeslag	4 m	4 m	12 m
Vermindering m <sup>3</sup> /m <sup>1</sup>	16	26	34

Een nadere analyse van de profielen is hier zeker op zijn plaats. In de geotechnische berekening is de binnenteen op zijn plaats gehouden. De MHW-verlaging levert echter nu zo'n klein profiel op dat de benodigde berm grotendeels binnen het huidige profiel valt en dat verdere optimalisering binnen het huidige dijkprofiel voor de hand ligt.

**EA7-Buitenwaarts (Uitdam)****Figuur 4.8: optimalisaties EA7 (buitenwaarts Uitdam)**

Met een toenemende verlaging van de MHW is er een minder brede berm en een minder hoge kruin noodzakelijk. Hierdoor neemt de asverschuiving buitenwaarts af en daardoor ook het buitendijks ruimtebeslag en de hoeveelheid benodigde grond.

**Tabel 4.7: Kenmerken optimalisaties EA4 (buitenwaarts Uitdam)**

	MHW - 0,30 m	MHW - 0,60 m	MHW - 0,90 m
Vermindering ruimtebeslag	0,5 m	5 m	8 m
Vermindering m <sup>3</sup> /m <sup>1</sup>	8	21	45

**EA12B-Constructief**

Bij het traject Durgerdam is een constructieve oplossing voorzien. De verwachting is dat de optimalisatie hier niet in de dikte/sterkte van de constructie zal zitten, maar alleen in de hoogte. Om deze reden zal de impact van een lagere waterstand op dit traject beperkt zijn. De verlaging van de hoogte van de constructie wordt gelijk aan de verlaging van de MHW gesteld.

**4.4.2 Bekleding**

In het huidige ontwerp is voor de bekleding onder NAP een kraagstuk ontworpen in combinatie met steenbestorting. Boven NAP tot een hoogte van MHW+significante golfhoogte ( $H_s$ ) is er gezette steenbekleding voorzien. Als de maatgevende waterstand daalt, kan ook voor de bekleding een besparing worden gerealiseerd. Bij de lagere waterstanden kan direct de bekleding mee worden verlaagd. Bovendien

kan de situatie ontstaan dat door een lagere waterdiepte de golfdiepte beperkt wordt en daarmee  $H_s$  ook lager wordt.

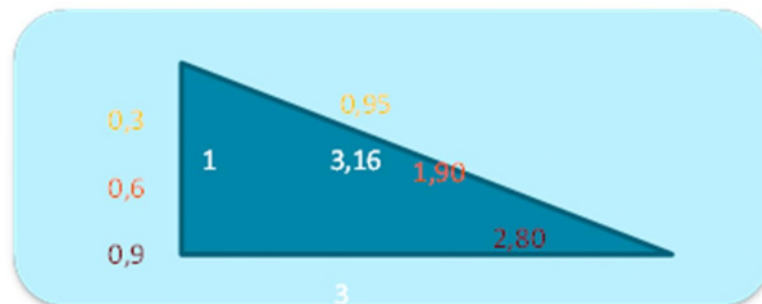
## 4.5 Analyse ontwerpuitkomsten

### 4.5.1 Uitwerking op technisch ontwerp

Uit de resultaten van voorgaande geotechnische berekeningen blijkt dat er twee effecten zijn:

1. Er is een effect op het ruimtebeslag. Het ruimtebeslag kan in de geanalyseerde profielen maximaal 15 meter kleiner worden en meestal is de optimalisatie kleiner dan 10 meter.
2. Er is ook een effect op het aantal benodigde  $m^3$  grond. Maximaal kan er  $50 m^3$  per strekkende meter worden bespaard. Voor de oeverdijk ligt de maximale besparing op  $125 m^3$  per strekkende meter

Los van bovenstaande resultaten is er ook een besparing mogelijk in het aantal vierkante meters steenbekleding. De hoogte van de gezette steenbekleding is bepaald door MHW + golfhoogte  $H_s$ . Een verlaging van de MHW heeft daarmee direct gevolgen voor het niveau van een gezette bekleding. Daarnaast is uit de analyses gebleken dat voor één locatie, profiel (HE5B Schardam), de golfhoogte ook wordt aangepast als gevolg van beperkte diepte en daarmee ook lagere golven ( $H_s$ ). Het aantal vierkante meters bekleding dat kan worden verminderd is afhankelijk van de daling van de MHW, maar moet daarna nog worden gecorrigeerd voor de schuine taludhelling.



**Figuur 4.9: Verhouding tussen verticale verlaging van de bekleding en het aantal meter langs het talud**

### 4.5.2 Consequenties voor voorkeursalternatief

In dit hoofdstuk is beschreven wat de impact is van een MHW-verlaging van 0,3m, 0,6m en 0,9m op het VOPP. Het zou echter kunnen, dat er grotere besparingen mogelijk zouden zijn geweest als in het VOPP andere keuzes waren gemaakt. Om een voorbeeld te noemen: op sommige stukken is gekozen voor een damwand in plaats van een buitenwaartse versterking om grote ingrepen in bijvoorbeeld een beschermd dorpsgezicht te voorkomen. Een lagere MHW leidt misschien tot een iets kortere damwand, maar dat leidt nauwelijks tot lagere totaalkosten (bij het type damwanden dat in het VOPP wordt voorgesteld). De lengte van een damwand bepaalt slechts een klein deel van de totaalkosten.

Maar als in het VOPP gekozen was voor een buitendijkse versterking (met dus wel negatieve gevolgen voor het dorpsgezicht), was er door MHW-verlaging een grotere besparing mogelijk geweest. Dan worden de totale kosten vooral bepaald door de hoeveelheid grond, en die kan door een MHW-daling soms wel fors minder worden.

Op basis van expert judgement is een inschatting gemaakt op welke locaties alternatieven mogelijk zouden kunnen zijn. Maar dus wel met de kanttekening dat dit negatieve effecten kan hebben op de ruimtelijke en/of cultuurhistorische inpassing:

1. Oeverdijkstrekkings: Bij de keuze voor de oeverdijk is niet altijd voor de goedkoopste oplossing gekozen, maar is ook gekeken naar cultuurhistorische en archeologische waarden van de dijk. Indien de alternatieven acceptabeler worden, kan dat tot gevolg hebben dat een traditionele versterking weer in beeld komt.
2. Buitenwaartse versterkingen in het zuidelijk deel zijn erg ingrijpend. Omdat er aan de binnenzijde vaak geen ruimte beschikbaar is, is er voor gekozen om buitenwaarts te versterken. Hier kleven echter de nodige nadelen aan (verlies archeologische waarde in bestaande dijk, complexe uitvoering met grondverbetering onderwater en veel grondverzet). Indien een binnenwaartse versterking een alternatief kan worden, kan dat leiden tot een andere keuze. Voorbeelden zijn in voorgaande genoemd bij Katwoude en Uitdam.
3. Durgerdam: In het huidige ontwerp wordt een constructieve maatregel voorzien (een damwand). De reden is dat er weinig ruimte is tussen de jachthaven aan de buitenzijde en bebouwing aan de binnenzijde. Bovendien is er sprake van een beschermd dorpsgezicht. Indien een beperkte buitenwaartse versterking tot de mogelijkheden gaat horen en dit ingepast kan worden, scheelt dat aanzienlijk in kosten, ontstaat er een oplossing met veel minder hinder tijdens de uitvoering en is de versterking duurzamer en toekomstvaster.
4. Hoorn Westerdijk: Er is geen nieuwe toetsing uitgevoerd en er is ook niet naar buitenwaartse stabiliteit gekeken, maar mogelijk is op dit traject geen versterking meer nodig.
5. Bewezen sterkte. Vooral de verlaging van 90 cm, maar ook die van 60 cm van de maatgevende hoogwaterstand brengt de maatgevende waterstand in de buurt van waterstanden die in het recente verleden zich hebben voorgedaan en die de dijk heeft kunnen weerstaan. Dit biedt mogelijkheden om op basis van deze "bewezen sterkte" te kijken of een versterking wel nodig is of wellicht veel beperkter kan zijn. Rondom de eeuwwisseling heeft Rijkswaterstaat al studies naar bewezen sterkte uitgevoerd. Gebruikmaking van die resultaten voor toetsing en ontwerp is vooral onmogelijk gebleken door de strenge norm, die buiten het ervaringsbereik valt. Met de nieuwe normering en een beheerste waterstand zou dit onderzoek mogelijk meer kunnen opleveren.

#### 4.6

##### Onzekerheden

De uitgevoerde studie is in een zeer kort tijdsbestek uit gevoerd. Hierdoor zijn niet alle gevolgen van het aanpassen van de MHW volledig doorgrond. In deze paragraaf zijn een aantal voorbehouden beschreven die nadere studie behoeven.

In de uitgevoerde analyse is er vanuit gegaan dat de huidige belastingcombinaties zoals die uit de Hydra-programmatuur komen gelijk blijven. Dat betekent dat het verlagen van de het stilmeerpeil door het toepassen van pompen niet tot gevolg heeft dat het aandeel in opwaaiing toeneemt. In de praktijk zal het verlagen van het stilmeerpeil tot gevolg hebben dat de maximale stilwaterstand een grotere kans op voorkomen krijgt. Hierdoor dient er rekening gehouden te worden met een oostenwind die een lagere kans op voorkomen heeft en daarmee een hogere windkracht. Dat houdt in dat het aandeel opwaaiing toe zal nemen in de MHW. Dit kan tot gevolg hebben dat de verlaging van de MHW met 90 cm en mogelijk ook met 60 cm niet haalbaar is.

De uitgevoerde analyse is gebaseerd op een beperkt aantal profielen. Uit de resultaten van de berekeningen van deze profielen blijkt al dat er per locatie een

aanzienlijk verschil kan zijn in impact op het ontwerp. Deze verschillen zullen over het gehele traject voorkomen. Hierdoor zal de bandbreedte ook aanzienlijk zijn. Er is in deze rapportage behoudens de analyse uit paragraaf 4.5.2 geen onderzoek gedaan naar de kansen om voor een andere VKA/VOPP te kiezen op sommige strekkingen. Mogelijk leveren de nu realiseerbare optimalisaties op dat varianten die eerder afvielen nu toch interessant zijn.

## 4.7 Effect op kosten

### 4.7.1 Kosten per dwarsprofiel

Voor de in paragraaf 4.4 genoemde versterkingsvarianten is in beeld gebracht welke besparingen er mogelijk zijn gebaseerd op de afname van de hoeveelheid aan te voeren grond en de vermindering van de benodigde nieuw aan te brengen steenzetting. De achterliggende ramingen zijn opgenomen in (RHDHV, 2015, bijlage 2). Hieronder zijn per berekende doorsnede de kosten per strekkende meter weergegeven.

**Tabel 4.8: Kosten en besparingen per versterkingsvariant per locatie**

locatie	variant	Directe bouwkosten traject*	Besparing in %
<i>Oeverdijk</i>	ontwerp	€ 44.081.985	0,0
	ontwerppeil -0,3m	€ 37.136.560	15,8
	ontwerppeil -0,6m	€ 30.531.467	30,7
	ontwerppeil -0,9m	€ 24.315.197	44,8

\* Strekdammen niet meegenomen

locatie	variant	Directe bouwkosten per meter	Besparing in %
<i>HE 5B dp70</i>	ontwerp	€ 3.064	0,0
	ontwerppeil -0,3m	€ 2.462	19,6
	ontwerppeil -0,6m*	€ 1.902*	37,9*
	ontwerppeil -0,9m*	€ 1.902*	37,9*

\* Extreme neerslag maatgevend

Locatie	variant	Directe bouwkosten per meter	Besparing in %
<i>HE 8 dp30 Gecombineerd</i>	ontwerp	€ 4.500	0,0
	ontwerppeil -0,3m	€ 3.862	14,2
	ontwerppeil -0,6m	€ 3.318	26,3
	ontwerppeil -0,9m	€ 3.028	32,7

locatie	variant	Directe bouwkosten per meter	Besparing in %
<i>HE 8 dp30 Buitenwaarts</i>	ontwerp	€ 3.861	0,0
	ontwerppeil -0,3m	€ 3.188	17,4
	ontwerppeil -0,6m	€ 2.556	33,8
	ontwerppeil -0,9m	€ 2.158	44,1



**Tabel 4.8 vervolg**

locatie	variant	Directe bouwkosten per meter	Besparing in %
EA 4 dp30	ontwerp	€ 3.066	0,0
	ontwerppeil -0,3m	€ 2.707	11,7
	ontwerppeil -0,6m	€ 2.393	22,0
	ontwerppeil -0,9m	€ 2.024	34,0
locatie	variant	Directe bouwkosten per meter	Besparing in %
EA 7 dp74	ontwerp	€ 4.426	0,0
	ontwerppeil -0,3m	€ 4.172	5,7
	ontwerppeil -0,6m	€ 3.902	11,8
	ontwerppeil -0,9m	€ 3.735	15,6
locatie	variant	Directe bouwkosten per meter	Besparing in %
EA 12 dp154 diepwand dikte 0,6m	ontwerp	€ 3.895	0,0
	ontwerppeil -0,3m	€ 3.834	1,6
	ontwerppeil -0,6m	€ 3.773	3,1
	ontwerppeil -0,9m	€ 3.711	4,7

**4.7.2 Kosten gehele traject**

Als er een doorvertaling wordt gemaakt naar het gehele traject is te zien dat de te behalen optimalisatie voor de oeverdijk het grootst is en dat voor de constructieve oplossing in Durgerdam de mogelijke besparing het kleinst is. Verder valt op dat de optimalisatie in het noordelijk deel (Hoorn-Edam) een grotere besparing oplevert dan in het zuidelijk deel (Edam-Amsterdam).

Gebaseerd op de hierboven genoemde resultaten en op basis van het representatief stellen van profielen voor de gehele dijkversterking conform de tabel in paragraaf 4.2.3 is een schatting gemaakt van de mogelijke besparingen op de directe bouwkosten met een bandbreedte.

**Tabel 4.9: Onder- en bovengrens van besparingen (in %, excl. BTW) op de investeringskosten bij diverse varianten (gehele traject Hoorn-Amsterdam)**

locatie	variant	Ondergrens besparing directe bouwkosten in % (M€ excl btw)	Bovengrens besparing directe bouwkosten in % (M€ excl btw)
MMD Hoorn-Amsterdam	ontwerppeil -0,3m	5% (7)	15% (21)
	ontwerppeil -0,6m	15% (21)	30% (42)
	ontwerppeil -0,9m	25% (35)	45% (62)

Om de directe benoemde bouwkosten te vertalen naar investeringskosten wordt in de huidige ramingen een onderbouwde opslagfactor van 2,7 gehanteerd. Deze factor dekt onder andere de kosten voor grondverwerving, planschade, engineering en risico's. Een aantal van deze kosten zullen procentueel mee dalen met de lagere



bouwkosten. Er zijn echter ook een aantal kosten, die gelijk zullen blijven of in ieder geval niet evenredig mee dalen. Voorbeelden hiervan zijn:

- Kosten die verbonden zijn aan risico's die geen relatie hebben met het ontwerp (bijvoorbeeld juridische of bestuurlijke risico's).
- Engineeringskosten. De geschatte engineeringskosten nemen niet af door een kleiner ruimtebeslag. De engineeringskosten kunnen dalen als de aanlegfase korter wordt, waarschijnlijk zal hier slechts beperkt sprake van zijn.

Door bovenstaande redenen zal de opslagfactor waarschijnlijk iets toenemen. Hierdoor wordt de te behalen besparing relatief kleiner. De opslagfactor neemt toe bij een groter wordende besparing. Om dit effect mee te nemen zijn nieuwe opslagfactoren geschat. Een nadere beschouwing is nodig om de opslagfactor nauwkeuriger te bepalen. De mogelijk besparingen in investeringskosten staan in onderstaande tabel weergegeven.

**Tabel 4.10: Onder- en bovengrens van besparingen (in M€, incl. BTW) op de investeringskosten bij diverse varianten (gehele traject Hoorn-Amsterdam)**

locatie	variant	Gehanteerde opslagfactor	Ondergrens besparing investeringskosten in M€ (incl btw)	Bovengrens besparing investeringskosten in M€ (incl btw)
MMD Hoorn-Amsterdam	ontwerppeil -0,3m	2,8	9	48
	ontwerppeil -0,6m	2,9	36	96
	ontwerppeil -0,9m	3,0	65	148

## 4.8 Conclusies en aanbevelingen

### 4.8.1 Conclusies

Naar aanleiding van de uitgevoerde berekeningen en analyses kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. De hiervoor gepresenteerde besparingen zijn onder voorbehoud dat de verlaging van de maatgevende ontwerpwaterstand in de praktijk ook realiseerbaar zijn. Het beheersen van de maatgevende waterstand door het plaatsen van pompen in de Houtribdijk heeft tot gevolg dat de ontwerpen van de dijkversterking Hoorn-Amsterdam kunnen worden geoptimaliseerd.
2. De optimalisatiemogelijkheden nemen toe naar mate de verlaging groter wordt. Gebruikmaking van het bestaande dijklichaam in plaats van buitenwaartse versterking, eventueel in combinatie met kortere damwanden bieden mogelijkheden voor beperking van effecten op de omgeving, kostenbesparing en behoud van de bestaande dijk als cultuurhistorisch element.
3. Aan deze optimalisering zitten beperkingen. Zo wordt de waterstand die puur door opwaaiing wordt veroorzaakt op een gegeven moment dominant. Dit is mogelijk bij 60 en 90 cm op sommige locaties het geval. Daarnaast kan de belastingsituatie van extreme neerslag maatgevend worden. Dit speelt zich alleen lokaal af bij het meest noordelijk berekende profiel, bij meer dan 60cm (en dus ook 90 cm) MHW-verlaging.
4. Indien er met maatgevende waterstanden gerekend wordt van 60 of 90 centimeter lager dan het huidige ontwerppeil, kom je dicht bij waterstanden die zich in het recente verleden (80 jaar) hebben voorgedaan. Dit biedt belangrijke mogelijkheden om bewezen sterkte analyses te gebruiken voor het vervolg van het ontwerp.

#### **4.8.2 Aanbevelingen**

Naast de bovenstaande conclusies zijn er ook de volgende aanbevelingen:

1. Onderzoek of bij een MHW-daling van 0,6 en 0,9 m andere belastingsituaties niet maatgevend worden in plaats van het maatgevend hoog water (bijvoorbeeld neerslag).
2. Indien verlaging van het ontwerppeil met 0,6 of 0,9 m realiseerbaar is, onderzoek dan of met bewezen sterkte er mogelijk grotere optimalisaties haalbaar zijn.
3. Indien op basis van deze rapportage en de rapportage over de pompen van Rijkswaterstaat blijkt dat de pompen in de Houtribdijk een wenselijk alternatief zijn (technisch en economisch), voer een uitgebreidere studie uit waarbij meer aandacht is voor de volgende zaken:
  - a. Mogelijk wijzigen van voorkeursontwerp.
  - b. Meer profielen berekenen om een nauwkeurigere raming van de besparing te kunnen maken.
  - c. Aandacht geven aan de veranderingen van de kosten buiten de directe bouwkosten.
  - d. Effecten van DoV en nieuwe normering.

## 5 Analyse overige effecten.

**Samenvatting:** In dit hoofdstuk worden de effecten van een MHW-verlaging op de versterkingsopgave van de overige dijken langs het Markermeer beschreven. In het algemeen zijn die effecten klein.

### 5.1 Inleiding

Een MHW-daling van het Markermeer heeft niet alleen effect op de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam. Ook bij de andere dijktrajecten langs het Markermeer die de komende 50 jaar moeten worden aangepakt kunnen voordelen optreden. In dit hoofdstuk worden deze potentiële baten (of beter: vermeden kosten) van een MHW-verlaging geanalyseerd. Daarbij is onderscheid gemaakt in de volgende trajecten:

1. Houtribdijk (wordt momenteel aangepakt)
2. Markermeerdijken Zuiderzeeland:
  - Oostvaardersdijk (Lelystad-Almere)
  - Randmeerdijken (Almere-Nijkerkerbrug)
3. Randmeerdijken Noord-Holland (Nijkerk-Oranjesluizen)
4. Marken
5. Markermeerdijken Hoorn-Enkhuizen.

Naast de baten voor de waterkeringen zijn er nog een aantal andere potentiële baten:

- Minder schade in buitendijkse gebieden.
- Mogelijke effecten op wateroverlast in het achterliggend gebied,
- Mogelijk effect op schade bij een eventuele overstroming.

Deze effecten worden, conform het plan van aanpak, kwalitatief beschreven in de laatste paragraaf van dit hoofdstuk.

### 5.2 Effecten van een MHW-verlaging op het ontwerp van de Houtribdijk

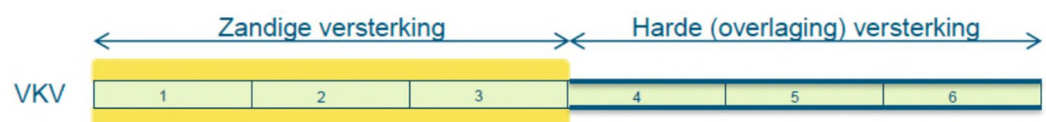
In deze paragraaf wordt de gevoeligheid van het ontwerp van de voorkeursvariant (VKV) voor de versterking van de Houtribdijk ten aanzien van het plaatsen van pompen in de Houtribdijk onderzocht.

#### 5.2.1 Referentieontwerp

De voorkeursvariant voor de versterking van de Houtribdijk bestaat uit een zandige oplossing op dijkvakken 1, 2 en 3 aan beide zijden van de dijk en aan beide zijden van de dijk een harde oplossing op de dijkvakken 4, 5 en 6 (Figuur 5.1). Het ontwerp van het VKV is beschreven in de volgende rapportages.

- Royal HaskoningDHV, Ontwerpnota Harde Bekleding (RHDHV, 2015)
- Royal HaskoningDHV, Ontwerpnota Zand (RHDHV, 2015)

Het ontwerp van de voorkeursvariant wordt gebruikt als referentieontwerp voor deze studie.



**Figuur 5.1: Schematische weergave van het VKV voor de versterking van de Houtribdijk (juli 2015).**

### 5.2.2 Ontwerp VKV met pompen

Voor drie pompscenario's is vastgesteld in welke mate het referentieontwerp VKV zou wijzigen. De volgende uitgangspunten zijn daarbij gekozen.

- Uitgangspunt bij het in kaart brengen van de effecten van de pompscenario's is dat de pompen tijdens maatgevende omstandigheden (storm) de waterstand met 30, 60 en 90 cm kunnen verkleinen. Dat is overigens zeer de vraag. Dat kan alleen bij zeer grote pompen (die het meerpeil significant kunnen verlagen op het moment dat een storm wordt voorspeld) of als het gemiddeld meerpeil structureel wordt verlaagd. In hoofdstuk 2 en 3 wordt daar niet vanuit gegaan.
- De waterstand gaat alleen omlaag tijdens maatgevende omstandigheden, tijdens dagelijkse omstandigheden blijft de waterstand gelijk.
- Hoewel het water vanuit het Markermeer naar het IJsselmeer gepompt wordt, wijzigen de ontwerpwaterstanden aan de IJsselmeerszijde (vooralsnog) niet.
- Er wordt aangenomen dat, bij verlaging van het meerpeil, de golfbelasting gelijk blijft. De golfbrandvoorwaarden (golfhoogte en golfperiode) wijzigen (vooralsnog) niet. Het verlagen van het meerpeil heeft complexe fysische en statistische consequenties voor de maatgevende hydraulische randvoorwaarden.
  - Er vindt een verschuiving plaats in de relatieve kansverdeling tussen waterstand en golven
  - Tegelijkertijd zijn golven nabij de waterkering eerder dieptebeperkt, door de lagere waterstand
  - Daarnaast is er ook meer sprake van scheefstand, dus impliciet een hogere waterstand.

Dit is een voorbeeld van een effect dat in deze rapportage niet kwantitatief meegenomen kan worden omdat hiervoor uitgebreide (statistische) analyses nodig zijn.

### Hydraulische randvoorwaarden

De gevoeligheid van de pompscenario's op het ontwerp van de Houtribdijk is onderzocht door gebruik te maken van de bestaande hydraulische randvoorwaarden, behorende bij het VKV ontwerp (2015). Conform de beschreven uitgangspunten zijn de ontwerpwaterstanden voor het ontwerp van de bekleding, kraagstukken en zandige oplossing met 30, 60 en 90cm verlaagd. De gevolgen van deze wijzigingen zijn per zijde van de dijk in de hierna volgende paragrafen toegelicht.

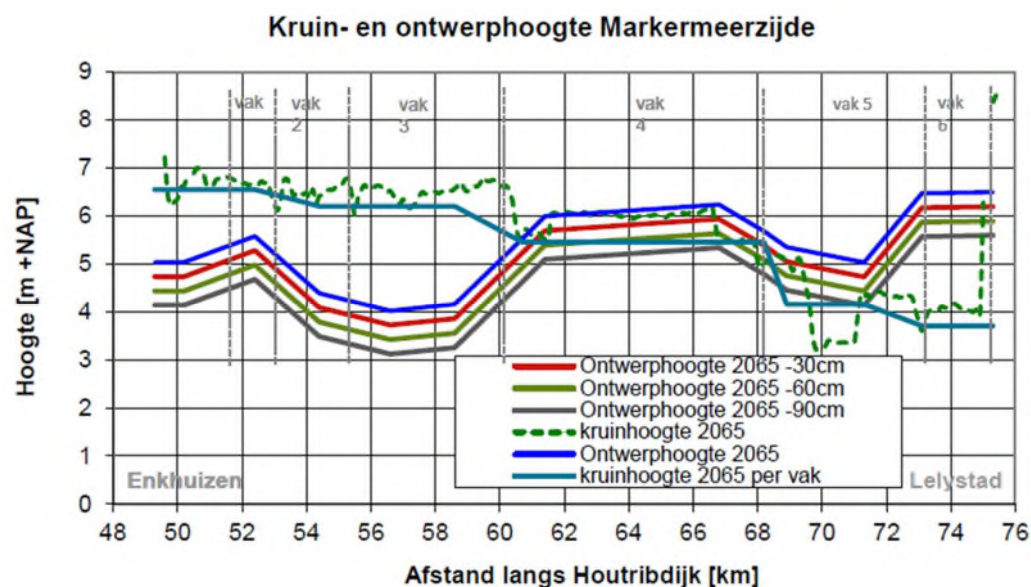
### Wijzigingen overslagbestendig ontwerp

Op basis van de pompscenarios valt te verwachten dat het overslagdebiet tijdens maatgevende omstandigheden kleiner wordt. Eerdere resultaten uit de Verkenning Versterking Houtribdijk (RHDHV, 2013) toonden aan dat voor dijkvak 4, 5 en 6 een overslagbestendig ontwerp moet worden gekozen. De resultaten van dezelfde analyse, maar nu rekening houdend met een waterstandsverlaging door pompen, zijn hierna toegelicht.

In Figuur 5.2 is de ontwerpkuinhoogte voor het zichtjaar 2065 uitgezet tegen de werkelijke kuinhoogte in 2065. De ontwerpkuinhoogte is de benodigde kuinhoogte indien een overslagdebiet van maximaal 1,0 l/m/s wordt toegestaan. Daar waar de ontwerpkuinhoogte lager ligt dan de werkelijke kuinhoogte behoeft de dijk niet overslagbestendig te worden ontworpen. In de figuur zijn de gevolgen van de pompscenario's voor het overslagbestendig ontwerp opgenomen.

Ten opzichte van het VKV zijn op dijkvak 5 en 6 geen veranderingen te verwachten. Op deze dijkvakken voldoet ook na peildaling tot maximaal 90cm de dijk niet aan het overslagcriterium. De eis voor overslagbestendigheid op dijkvak 4 kan

gedeeltelijk of volledig worden losgelaten, afhankelijk van het te kiezen pompscenario.



**Figuur 5.2: Analyse gevolgen pompscenario's op overslagcriterium (minimale ontwerphoogte).**

Indien geen overslagbestendig ontwerp op dijkvak 4 wordt toegepast bestaat de besparing uit het niet hoeven overlagen van de grasbekleding. Dit betreft het binnen en buitentalud van de dijk, inclusief de bermen van de weg (circa 15 m/m). Voor het -90cm scenario is deze besparing volledig van toepassing. Voor -60cm is deze op 42% van het traject van toepassing en voor -30 is deze op 16% van het traject van toepassing. De wijzigingen in het overslagbestendig ontwerp per dijkvak zijn in Tabel 5.1 samengevat. Deze besparing in oppervlakte aan te brengen bekleding (geotextiel, breuksteen en gietasfalt) is verwerkt in de kostenraming.

**Tabel 5.1: Gevolgen pompscenario's op eis overslagbestendigheid per dijkvak: aantal kilometer toe te passen overslagbestendig ontwerp per dijkvak**

	VKV (km)	VKV Pompen 30cm (km)	VKV Pompen 60cm (km)	VKV Pompen 90cm (km)
Dijkvak 4	7.65	6.45	4.4	0
Dijkvak 5	4.9	4.9	4.9	4.9
Dijkvak 6	1.9	1.9	1.9	1.9

Omdat bij een waterstandsdeling de golfbelasting lager aangrijpt op het talud kan op de delen van dijkvak 4 waar geen overslagbestendig ontwerp hoeft te worden toegepast de bovengrens van de bekleding omlaag. Bij een talud van 1:3 is een besparing in overlaging van 3 m/m mogelijk (90 cm). Voor 30 en 60cm is deze besparing evenredig lager. Deze besparing is alleen aan Markermeerzijde mogelijk, omdat aan IJsselmeerzijde de randvoorwaarden niet veranderen.

### Wijzigingen Markermeer

Op dijkvak 1, 2 en 3 wordt een zandig ontwerp toegepast. De wijzigingen ten aanzien van het zandig ontwerp op deze dijkvakken als gevolg van een lagere ontwerpwaterstand zijn hierna in beeld gebracht.

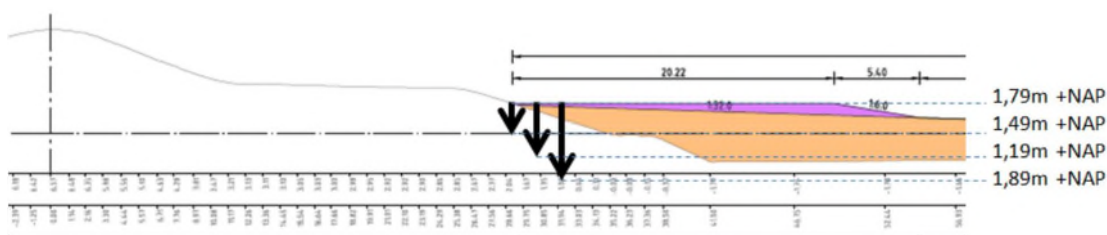
#### Veiligheidsvolume zandige oplossing

Het zandige ontwerp bestaat uit drie volume-onderdelen te weten veiligheidsvolume, stormtoeslag en onderhoudstoeslag. Door wijziging van de ontwerpwaterstand van de zandige oplossing wijzigt alleen het benodigde volume in het veiligheidsprofiel. De stormtoeslag is alleen afhankelijk van golfparameters, niet van de ontwerpwaterstand. Hier treden dus geen wijzigingen op. De onderhoudstoeslag wordt bepaald op basis van dagelijkse condities. Pompen hebben dus ook geen invloed op deze toeslag, omdat als uitgangspunt is gekozen dat pompen de dagelijkse omstandigheden niet beïnvloeden.

Bij een lager ontwerppeil is het mogelijk om het zandig profiel lager aan te sluiten op het originele dijkprofiel (Figuur 5.3). Dit levert een kleiner benodigd zandvolume op voor het veiligheidsprofiel. De methode voor de berekening van de besparing in dit zandvolume is toegelicht in de rapportage Impact analyse deel 1 (RHDHV, 2015). De besparing in procenten ten opzichte van het originele VKV ontwerp is hieronder opgenomen (Tabel 5.2). Deze besparing is verwerkt in de kostenramingen per pompscenario.

**Tabel 5.2: Berekende verschillen in volumes zand in veiligheidsprofiel van het VKV op dijkvak 1, 2 en 3 bij toepassen pompscenario's**

Pompscenario	-30cm	-60cm	-90cm
Markermeerzijde	15%	31%	46%



**Figuur 5.3: Gevolgen van pompen op het ontwerp VKV zandige oplossing op dijkvak 1, 2 en 3 (schematisch)**

Op dijkvak 4, 5 en 6 wordt een hard ontwerp toegepast. Het harde ontwerp bestaat uit de onderdelen kraagstukken en de overlaging met gepenetreerd breuksteen.

#### Kraagstukken

Het bestaande VKV ontwerp van de kraagstukken is sterk afhankelijk van een combinatie van waterstand en golfbrandvoorwaarden (per belastingniveau). Een lagere waterstand zal niet per definitie leiden tot een besparing in het oppervlak benodigde kraagstukken, omdat laagwatersituaties maatgevend kunnen worden in de berekening van de kraagstuklengte. Daarnaast is op dit moment niet bekend in hoeverre de golfbrandvoorwaarden zullen veranderen, naar aanleiding van de pompscenario's.



Vanwege een groot percentage hergebruik van bestaande stortstenen is het daarnaast niet te verwachten dat er grote wijzigingen plaats zullen vinden in de kosten van de aan te brengen stortstenen op de kraagstukken.

Vanwege bovenstaande overwegingen zijn geen wijzigingen aangebracht in het ontwerp van de kraagstukken en de toe te passen stortstenen op deze kraagstukken, omdat op basis van vuistregels een mogelijke besparing op dit moment onvoldoende kan worden onderbouwd.

#### Dikte bekleding

Voor elke dijkvak zijn de ontwerpwaterstanden per pompscenario gecorrigeerd. Hieruit blijkt dat de dikte van de toe te passen overlappingsconstructie door de lagere ontwerpbelasting omlaag kan worden gebracht naar 30cm. Bij 30cm verlaging kan een dikte van 30cm worden gekozen. Hoewel bij 60 en 90cm een nog dunnere bekleding wordt uitgerekend, wordt dit niet uitvoerbaar geacht, er geldt voor gepenetreerde breuksteen een minimale dikte bij de toe te passen stortsteen. De pompscenario's zijn daarom op dit onderdeel niet onderscheidend, omdat 30cm wordt gezien als de minimaal toe te passen bekledingsdikte. De besparing in toe te passen bekledingsdikte is verwerkt in het hoeveelhedenboek van de VKV raming. Aan IJsselmeerzijde veranderen de ontwerpwaterstanden niet. Hier zijn daarom geen wijzigingen te verwachten aan het VKV ontwerp, met uitzondering van het toe te passen overslagbestendig ontwerp.

#### **Samenvatting**

De wijzigingen van de peilverlaging door pompen op het VKV ontwerp zijn hieronder samengevat (Tabel 5.3 en Tabel 5.4).

**Tabel 5.3 Gevolgen pompen voor ontwerp nieuwe normering aan Markermeerzijde**

Dijkvak	Ontwerp VKV	Optimalisatie pompen 30cm	Optimalisatie pompen 60cm	Optimalisatie pompen 90cm
1,2,3	Zandige oplossing	Veiligheidsprofiel met peildaling omlaag brengen.	Veiligheidsprofiel met peildaling omlaag brengen.	Veiligheidsprofiel met peildaling omlaag brengen.
4	Overlappingsconstructie met gepenetreerd breuksteen	Op delen van dijkvak loslaten eis overslagbestendigheid (besparing harde bekledingsoppervlakte 7,5 m/m).  Golfoplooppniveau verlaagd met 1 m/m.	Op delen van dijkvak loslaten eis overslagbestendigheid (besparing harde bekledingsoppervlakte 7,5 m/m).  Golfoplooppniveau is verlaagd met 2 m/m.	Volledig loslaten eis overslagbestendigheid (besparing harde bekledingsoppervlakte 7,5 m/m).  Golfoplooppniveau verlaagd met 3 m/m.
5, 6	Overlappingsconstructie met gepenetreerd breuksteen	Overslagbestendig ontwerp blijft noodzakelijk. <u>Geen wijzigingen</u>		
4, 5 en 6	Overlappingsconstructie met gepenetreerd breuksteen (dikte 30-35cm)	Minimale dikte van 30cm toepassen.		
4, 5 en 6	Kraagstukken	<u>Geen wijzigingen</u> aan toegepaste lengtes en sortering breuksteen		

**Tabel 5.4 Gevolgen pompen voor ontwerp nieuwe normering aan IJsselmeerzijde**

Dijkvak	Ontwerp VKV	Optimalisatie pompen 30cm	Optimalisatie pompen 60cm	Optimalisatie pompen 90cm
4	Overlagings-constructie met gepenetreerd breuksteen	Op delen van dijkvak loslaten eis overslagbestendigheid (besparing harde bekledingsoppervlak 7,5 m/m).	Op delen van dijkvak loslaten eis overslagbestendigheid (besparing harde bekledingsoppervlak 7,5 m/m).	Volledig loslaten eis overslagbestendigheid (7,5 m/m)

**5.2.3 Kosten VKV met pompen**

De resultaten van de raming van de gevoeligheidsanalyse van het VKV ontwerp voor de pompscenario's zijn opgenomen in Tabel 5.5 en Tabel 5.6. Hierin zijn per pompscenario de investeringskosten en de verschillen ten opzichte van de investeringskosten van het VKV opgenomen.

Alle kosten betreffen deterministische investeringskosten inclusief BTW. Voor het VKV bedragen deze kosten € 155 miljoen (9x4628 SSK Versterken Houtribdijk MER Variant 1 - v2.0). Toepassing van de pompscenario's op het ontwerp levert een besparing op van de investeringskosten. De besparing bedraagt € 3,3 miljoen bij 30 cm tot € 12,4 miljoen bij 90 cm.

In verhouding levert de wijziging in het overslagbestendig ontwerp de grootste bijdrage aan het verschil in kosten (61% van de kosten besparing bij 90cm), de wijziging van de bekledingsdikte levert de kleinste bijdrage (10% van de kosten besparing bij 90cm).

**Tabel 5.5: Resultaten analyse kosten van pompscenario's op ontwerp VKV**

Variant	Huidig peil-scenario (referentie)	Peil-scenario's pompen		
		30 cm	60 cm	90 cm
1 (VKV)	€ 155 miljoen	€ 151 miljoen	€ 148 miljoen	€ 142 miljoen

**Tabel 5.6: Kostenverschillen in resultaten analyse pompscenario's met ontwerp VKV indien pompen tijdens maatgevende omstandigheden (storm) de waterstand met 30, 60 of 90 cm kunnen verlagen.**

Variant	Huidig peil-scenario (referentie)	Peil-scenario's pompen		
		30 cm	60 cm	90 cm
1 (VKV)	€ 0	€ 3,3 miljoen	€ 6,5 miljoen	€ 12,4 miljoen

Nogmaals zij benadrukt dat uitgangspunt bij het in kaart brengen van de effecten van de pompscenario's is dat de pompen tijdens maatgevende omstandigheden (storm) de waterstand met 30, 60 en 90 cm kunnen verkleinen. Dat kan alleen bij zeer grote pompen (die het meerpeil significant kunnen verlagen op het moment dat een storm wordt voorspeld, maximaal 7 dagen tevoren) of als het gemiddeld meerpeil wordt verlaagd. In hoofdstuk 2 en 3 wordt uitgelegd dat dat niet wenselijk is.

**5.3****Effecten van een MHW-verlaging op de opgave voor de Oostvaardersdijk en enkele andere dijktrajecten**



In het kader van de nieuwe normering zal de Oostvaardersdijk tussen Lelystad en Almere op termijn moeten worden versterkt. De dijk krijgt een aanzienlijk zwaardere norm (1:30.000), waardoor verwacht wordt dat de dijk bij een volgende toetsing wordt afgekeurd. In de indicatieve prioritering van het Hoogwaterbeschermingsprogramma, is voorzien dat de dijk tussen 2030 en 2040 wordt aangepakt. De beheerder (waterschap Zuiderzeeland), verwacht dat dit in de tweede helft van deze periode zal zijn.

Een MHW-daling van het Markermeer kan er toe bijdragen dat de opgave minder zwaar wordt. Het Kennisplatform Risicobenadering heeft geanalyseerd welke voordelen er eventueel te behalen zijn.

Om een goede kosten-baten afweging te maken omtrent eventuele aanleg van pompen zal een uitgebreide studie nodig zijn naar de mogelijke baten (verhogen van de waterveiligheid / terugdringen van de totale versterkingsopgave langs het Markermeer) en de kosten (zowel voor aanleg als beheer & onderhoud). Het doel van deze verkenning is om een eerste inschatting te geven van mogelijke baten die het inzetten van pompen kan opleveren voor de waterkeringen van Flevoland (dijkring 8) die aan het Markermeer grenzen en voor waterkeringen langs het IJmeer, Gooimeer (beide dijkring 44) en Eemmeerdijken (dijkring 45). De uitgevoerde analyse is een eerste grove inschatting waarbij er van uit is gegaan dat het inzetten van pompen het MHW-peil van het Markermeer met 30, 60 of 90cm kan verlagen.

### 5.3.1 Uitgangspunten

Hoogwaterstanden op het Markermeer kunnen worden veroorzaakt door een hoog meerpeil, door stormopzet of door een combinatie van beide. Wanneer een hoogwaterstand in zijn geheel wordt bepaald door stormopzet (scheefstand) dan zal de hoogte van het meerpeil zeer waarschijnlijk in de buurt van het gemiddeld meerpeil liggen. In het andere extreme geval zal een hoogwaterstand in zijn geheel worden bepaald door het meerpeil. In dit geval zal er geen significante stormopzet zijn.

Bovenstaande heeft veel effect op de effectiviteit van de inzet van pompen, waarbij aannamen over de inzetstrategie van de pompen en de haalbaarheid hiervan een belangrijke rol spelen.

In tabel 5.7 zijn voor twee locaties langs de Oostvaardersdijk de ontwerpwaarden van de hydraulische parameters bij berekening van het hydraulisch belastingniveau (HBN) weergegeven.

**Tabel 5.7: Waarden van hydraulische parameters bij berekening van het hydraulisch belastingniveau (HBN) voor de Oostvaardersdijk**

Traject	Locatie	Maatgevend hoogwater [m NAP]	HBN bij 10 l/s/m [m NAP]	Meerpeil [mNAP]	Wind- snelheid [m/s]	Wind- richting [°]
8-3	m3.4 Oostvaardersdijk	1,29	4,69	-0,29	40	W
8-2	hm 18.0 Oostvaardersdijk	0,78	3,10	-0,26	37	NW

De ontwerpwaarden in de tabel laten zien dat het hydraulisch belastingniveau voor de Oostvaardersdijk wordt gedomineerd door stormopzet. Dit betekent dat de hoogteopgave voor de Oostvaardersdijk door inzet van pompen niet noemenswaardig zal afnemen. Hierbij wordt nogmaals opgemerkt dat dit samenhangt met het uitgangspunt dat het gemiddeld meerpeil niet wordt verlaagd

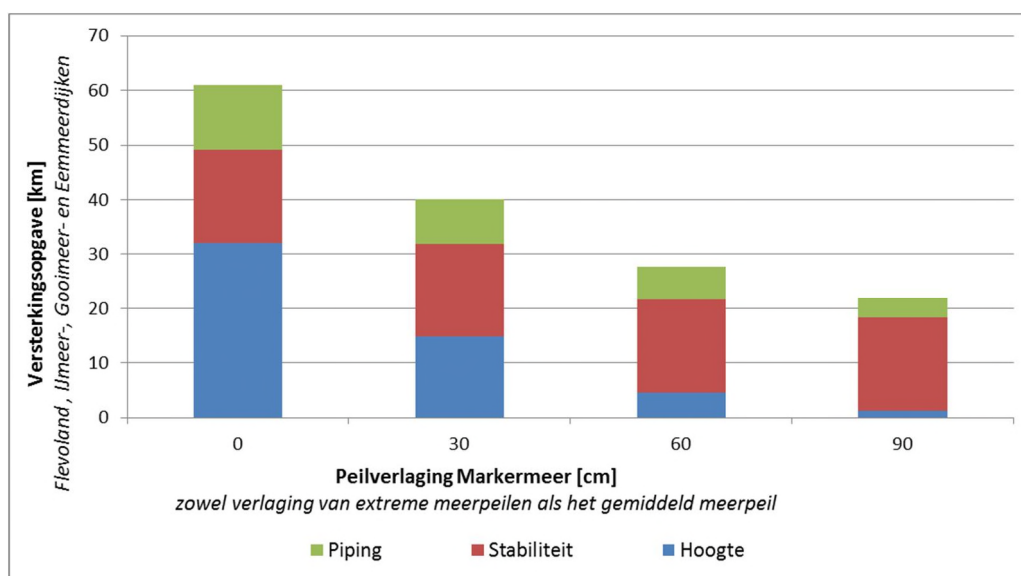
bij inzet van pompen. Dat heeft te maken met de voorspelbaarheid van een storm. Een betrouwbare weersvoorspelling gaat hooguit 7 dagen vooruit, meestal minder. Om pompen effect te laten hebben, zal in deze periode een forse meerpeildaling moeten worden gerealiseerd. Daarvoor zijn zeer grote pompen nodig, want een pomp van 100 m<sup>3</sup>/s kan ongeveer 1 cm meerpeildaling per dag realiseren. Er ontstaat dan een situatie zoals beschreven bij optie 4 in paragraaf 2.9.

### 5.3.2 Berekeningen

Met behulp van PC-Ring berekeningen is een inschatting gedaan wat het effect is op de versterkingsopgave als wel gekozen zou worden voor een verlaging van het Markermeerpeil. De verlaging van het Markermeerpeil in de berekeningen houdt in dat zowel het extreme als het gemiddeld Markermeerpeil wordt verlaagd. In de berekeningen wordt het Markermeerpeil met 30, 60 en 90 cm verlaagd. Hierbij is gekeken naar de waterkeringen van Flevoland (dijkring 8) die aan het Markermeer grenzen en voor waterkeringen langs het IJmeer, Gooimeer (beide dijkring 44) en Eemmeerdijken (dijkring 45). De overige waterkeringen langs het Markermeer worden geanalyseerd door de projectteams die betrokken zijn bij de versterking van de desbetreffende waterkeringen.

### 5.3.3 Resultaten

In figuur 5.4 zijn de resultaten van de PC-Ring berekeningen gegeven. De figuur laat zien dat met name de opgave voor het faalmechanisme Hoogte fors afneemt. Een groot deel van deze hoogteopgave bestaat uit dijkvakken van het Oostvaardersdijk. De normverzwaring naar 1/30.000 per jaar zal er waarschijnlijk voor zorgen dat een groot deel van deze dijk wordt afgekeurd.



**Figuur 5.4: Afname van versterkingsopgave Markermeer (Flevoland en IJmeer-, Gooimeer en Eemmeerdijken) als gevolg van peilverlaging. Belangrijke opmerking is dat in de berekeningen ook het gemiddelde Markermeerpeil is verlaagd. Bij alleen verlaging van de MHW resteert er vrijwel geen afname.**

Bij de uitgevoerde berekeningen dient een aantal belangrijke kanttekeningen te worden gemaakt. De verlaging van het Markermeerpeil in de berekeningen houdt in dat ook het gemiddeld Markermeerpeil wordt verlaagd. In de analyses zoals deze door HKV [Lijninwater](#) in het kader van het Integrale verkenning van de veiligheid voor

het Markermeer en het IJsselmeer wordt echter als uitgangspunt gehanteerd dat het gemiddeld meerpeil niet wordt verlaagd door de inzet van pompen. De gedachte is dat pompen worden ingezet op het moment dat het streefpeil (in de winter -0,4m NAP) wordt overschreden. Voor de resultaten van de uitgevoerde berekeningen betekent dit dat een groot deel van de afname van de veiligheidsopgave komt te vervallen voor de Oostvaardersdijk.

Eenzelfde conclusie kan ook worden getrokken voor het traject Almere-Hollandse brug. Aan de Noord-Hollandse kant van de randmeren (traject Nijkerk-Oranjesluizen) is er als gevolg van de nieuwe normering geen extra opgave. Grootschalige dijkversterkingen zijn daar tot 2050 niet aan de orde. Het traject Hoorn-Enkhuizen is onlangs opgeleverd. Ook hier is er tot 2050 geen opgave.

Ook voor Marken geldt dat de hydraulische belasting primair wind gedomineerd is: West, Zuid, Noord en daartussenin, dit zijn veelvoorkomende windrichtingen in Nederland. Ook hier is daardoor slechts een minimale winst te behalen met de pompen op de Houtribdijk.

### 5.3.4 Conclusies

De ontwerpwaarden in de tabel laten zien dat het hydraulisch belastingniveau voor de Oostvaardersdijk wordt gedomineerd door stormopzet. Dit betekent dat de hoogteopgave voor de Oostvaardersdijk door inzet van pompen niet noemenswaardig zal afnemen. De hoogteopgave neemt alleen af als het gemiddeld meerpeil wordt verlaagd bij inzet van pompen.

Ook voor de andere trajecten is geen noemenswaardige winst te halen in de dijkversterkingskosten als de MHW van het Markermeer daalt.

## 5.4 Overige kosten/baten

In het plan van aanpak is aangegeven dat de overige kosten en baten kwalitatief worden aangegeven. Onderstaand wordt een samenvatting gegeven van de belangrijkste effecten.

Schade buitendijks. Over buitendijkse schade als gevolg van hoge meerpeilen is vrijwel geen informatie bekend. Incidenteel treedt er schade op, met name omdat campings soms moeten worden ontruimd. Daarnaast spoelen soms nesten weg van watervogels. De (financiële) schade die hiermee gemoeid is, is echter verwaarloosbaar ten opzichte van de investeringskosten voor dijken. Overigens wordt buitendijkse schade sowieso niet meegenomen in de kosten-batenanalyse. Beleidsmatig is vastgelegd dat buitendijkse risico's voor eigen rekening zijn. Rijk en waterschappen hebben hierin in tegenstelling tot de veiligheid achter de kering geen verantwoordelijkheid.

Schade door wateroverlast. Indien het peil van het Markermeer lager wordt, zal ook de hoeveelheid kwelwater die onder de dijken doorstroomt verminderen. Daardoor kan theoretisch ook de wateroverlast minder worden. In de praktijk is dit effect er niet. Het gemiddelde peil verandert niet, en die bepaalt met name de kwelstroom naar de omliggende polders.

Wateroverlast blijft overigens een continu aandachtspunt voor elk waterschap. Intensieve neerslag zoals in 1998 kan in enkele dagen enorm veel schade veroorzaken, in 1998 een half miljard euro. Ondanks de vele maatregelen die sindsdien zijn genomen, is de bergingscapaciteit in polders gering ten opzichte van de hoeveelheid neerslag die in 24 uur kan vallen (50 tot 100 mm heeft een kans van ongeveer 1:100). In dit soort extreme omstandigheden zullen de gemalen dus voluit moeten draaien om wateroverlast te voorkomen. En dit water wordt onder

meer uitgeslagen naar het Markermeer. Een maaltop om een peilstijging van het Markermeer te voorkomen zou tot veel schade leiden en is zelfs bij de extreme omstandigheden in 1998 niet toegepast.

Schade door overstromingen. Als de MHW verlaagd wordt, zal er ook minder water door een eventueel gat in de dijk stromen. Het gebied dat onder water komt te staan wordt wellicht kleiner, en de waterstand in dat gebied wellicht ook minder diep. Hierdoor ontstaat minder schade. Minder schade kan betekenen dat er een minder strenge norm nodig is, want die is gekoppeld aan de schade die ontstaat bij een overstroming van een bepaald dijkvak. Bij het afleiden van de normen is uitgebreid onderzocht hoe groot de gevoeligheid van de normen is voor dit soort veranderingen. In het algemeen blijkt dat die gevoeligheid klein is. De verandering in schade moet aanzienlijk zijn om tot een andere normklasse te komen. Dat is op zich ook wel logisch, want tussen de normklassen zit telkens een factor 10. In het ENW-advies wordt hier nog verder op ingegaan.

Betere ruimtelijke en/of cultuur-historische inpasbaarheid. Naast de mogelijke kostenbesparingen in de dijken zouden er ook andere baten kunnen zijn. Een voorbeeld van dat laatste is dat een aangepast ontwerp ruimtelijk of cultuur-historisch beter inpasbaar is. Dat is overigens op dit moment moeilijk te waarderen in een kosten-batenanalyse, maar het kan voor de waardering van een bepaald dijkontwerp wel uitmaken.

## 6 Synthese, conclusies en aandachtspunten

### 6.1 Synthese

In hoofdstuk 1 zijn voor dit onderzoek de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

1. In hoeverre kan met pompen op de Houtribdijk de hydraulische belasting (MHW) van het Markermeer significant verlaagd worden (met 30 tot 90 cm).
  - a. Welke pompcapaciteit is nodig?
  - b. Wat is het effect op de MHW?
  - c. Wat zijn de kosten voor de pompen (gehele levenscyclus, inclusief o.a. beheer en onderhoud en energiekosten)?
2. Wat is het effect van een MHW-verlaging op het ontwerp van de Markermeerdijken?
  - a. Kan daarmee een minder ingrijpend ontwerp worden gerealiseerd?
  - b. Wat zijn de financiële baten (primair van de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam, maar wellicht ook elders langs het Markermeer).

Om deze vragen te kunnen beantwoorden is allereerst in hoofdstuk 2 achtergrondinformatie gegeven over het watersysteem Markermeer en omgeving, de hydraulische aspecten en andere relevante achtergrondinformatie met betrekking tot het veiligheidsvraagstuk. Zo is bijvoorbeeld berekend dat met een pomp van 100 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk een waterschijf van ongeveer 1 centimeter per dag kan worden weggepompt. Aan het eind van het hoofdstuk zijn 5 mogelijke opties om met pompen de MHW van het Markermeer te beïnvloeden gepresenteerd. Met enkele daarvan (optie 2 en 5) is in hoofdstuk 3 verder gewerkt.

In dat hoofdstuk wordt het effect beschreven op het meerpeil van het Markermeer en het IJsselmeer van pompen op de Houtribdijk (variërend van 50 tot 450 m<sup>3</sup>/s) en op de Afsluitdijk (idem). Uit de modelberekeningen blijkt dat een pompcapaciteit van 150 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk leidt tot een kleinere hydraulische belasting (overeenkomend met ongeveer 0,3 m MHW-verlaging voor het traject Hoorn-Amsterdam). Een pompcapaciteit van 300 m<sup>3</sup>/s levert 0,6 m verlaging op, een pomp van 450 m<sup>3</sup>/s levert 0,75 m op. Om een MHW-verhoging op het IJsselmeer te voorkomen, is een vergelijkbare pompcapaciteit nodig op de Afsluitdijk als op de Houtribdijk.

Wat betreft de investeringskosten voor pompen wordt in deze studie gewerkt met een kostenkental van 50 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s, en een ondergrens van 25 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s. Het kostenkental van 50 miljoen euro per m<sup>3</sup>/s is gebaseerd op daadwerkelijk gerealiseerde gemalen, en gebaseerd op een uitgebreide database. De investeringskosten van grote gemalen als IJmuiden (260 m<sup>3</sup>/s) en New Orleans (550 m<sup>3</sup>/s) bedroegen eveneens ongeveer 50 miljoen per 100 m<sup>3</sup>/s (prijspeil 2015).

Het kostenkental van 25 m<sup>3</sup>/s is gebaseerd op een eenvoudig, vernieuwend ontwerp van ir. Spaargaren en ir. Vroege. Innovatie kan voordelen hebben, bijvoorbeeld in de investeringskosten. Maar of die qua kostenkental daadwerkelijk een factor 2 lager zijn dan wat tot nu toe aan gemalen is gerealiseerd, moet nog in de praktijk worden bewezen. Dat hangt af van de randvoorwaarden en de uitwerking tot en met de realisatie. Wel bestaan de onderdelen van het ontwerp uit

bewezen technieken. Het gaat daarbij onder meer om de pompen en aggregaten. Het ontwerp is ook robuust, de faalkans is erg klein.

Bij een pomp van 300 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk betekent een kostenkental van 50 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s een investering van 150 miljoen euro. Bij een kostenkental van 25 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s ontstaat een investering van 75 M€.

Door het pompen stijgt de MHW van het IJsselmeer met een kleine decimeter. Het vigerende beleid schrijft voor dat een MHW-stijging moet worden gecompenseerd. Om de MHW-stijging op het IJsselmeer te compenseren is een pomp van 300 m<sup>3</sup>/s nodig op de Afsluitdijk. De kosten hiervoor bedragen 150 M€, en 75M€ bij het kostenkental van 25 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s.

Bij pompen van 300 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk en 300 m<sup>3</sup>/s op de Afsluitdijk komen de totale kosten van deze variant op 300 miljoen euro. Bij een kostenkental van 25 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s ontstaat een investering van totaal 150 M€. De operationele kosten zijn ten opzichte van de investeringskosten klein (0,6% per jaar). Omdat de pompen naar verwachting gemiddeld slechts enkele weken per jaar draaien, zullen ook de energiekosten waarschijnlijk kleiner zijn dan 1 miljoen euro per jaar.

In hoofdstuk 4 is vervolgens gekeken wat het effect is van een MHW-daling van respectievelijk 0,3 m, 0,6m en 0,9m op het ontwerp van de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam. Uitgangspunt daarbij was het Voorkeursontwerp (VOPP), omdat alleen daarvoor binnen de beschikbare tijd voor deze studie ontwerpresultaten konden worden gekregen. Een uitgangspunt daarbij was ook dat gewerkt is met de beschikbare modellen. Het ontwikkelen en toepassen van nieuwe modellen was binnen de scope van deze studie niet mogelijk.

De resultaten van de impactanalyse worden uitgedrukt in het fysiek ontwerp van de dijk (bijvoorbeeld minder brede steunbermen of lagere oeverdijken) en in kostenbesparingen ten opzichte van het voorlopig ontwerp. Deze laatste variëren tussen de 10 miljoen (ondergrens bij een MHW-daling van 0,3 m) en 150 miljoen euro (bovengrens bij een MHW-daling van 0,9 m). De ondergrens van de besparing bij een MHW-daling van 0,6 m bedraagt ongeveer 40 miljoen euro, de bovengrens 100 miljoen euro.

Op basis van hoofdstuk 3 en 4 samen kan worden geconcludeerd dat van de 3 onderzochte MHW-verlagingen (0,3m, 0,6m en 0,9m) waterstaatkundig gezien een MHW-verlaging van 0,6m het meest effectief is. Een MHW-verlaging van 0,3 m doet weinig op het ontwerp, en voor een MHW-daling van 0,9m is exponentieel meer pompcapaciteit nodig. 450 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk is in ieder geval ruim onvoldoende om dit te bereiken, waardoor de investeringskosten sterk oplopen.

Met een MHW-daling van 0,6 m zou het huidige toetspeil uitkomen op +0,10 m NAP. Dat is een situatie die in 1998 daadwerkelijk is opgetreden. De vertegenwoordigers van de adviesgroep hebben aangegeven dat wat hun betreft een MHW-daling van 0,6 m afdoende is.

Bij een kostenkental van 50 M€ per 100m<sup>3</sup>/s zijn de investeringskosten voor pompen op de Houtribdijk en Afsluitdijk samen 300 M€. De bovengrens voor de baten ligt op 100 M€. Het verschil tussen die twee is dus ongeveer 200 M€ negatief. Ook bij een kostenkental van 25 M€ per m<sup>3</sup>/s is de bovengrens van de besparing (100 miljoen euro) kleiner dan de ondergrens van de investering (150 miljoen €).

Om toch tot een positieve kosten-baten-balans te komen, zullen er dus andere baten moeten zijn (zie hoofdstuk 5). Dat kan in geld zijn (bijvoorbeeld vermeden kosten bij andere dijkversterkingen langs het Markermeer), maar ook niet-monetair. Een voorbeeld van dat laatste is dat een aangepast ontwerp ruimtelijk of cultuur-historisch beter inpasbaar is. Dat laatste is overigens op dit moment moeilijk te waarderen in een kosten-baten-analyse. Wel zijn de vermeden kosten bij andere dijkversterkingen onderzocht. Deze blijken ten opzichte van de ondergrens voor de investeringen voor pompen erg klein te zijn (orde grootte enkele miljoenen).

## 6.2 Conclusies

Vertrekpunt bij deze studie waren het VOPP en de vigerende modellen. Dit heeft invloed op de uitkomsten en conclusies van deze studie. In de volgende paragraaf ('aandachtspunten') wordt hier verder op ingegaan. De vertegenwoordigers van de Adviesgroep in de begeleidingsgroep hebben aangegeven, dat zij ook graag de huidige dijk als uitgangspunt hadden gezien (met aandacht voor bewezen sterkte, gebaseerd op een werkelijk opgetreden hoogwatersituatie in 1998), het liefst doorgerekend met een model als Plaxis. Dat bleek binnen de scope van deze studie echter niet mogelijk. De doorlooptijd was te kort om allerlei nieuwe ontwikkelingen te starten. In paragraaf 6.3 (uitgangspunten) en het ENW-advies wordt hier verder op ingegaan.

Uitgaande van het VOPP, de vigerende rekenmodellen/rekenregels en het vigerende beleid kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Algemeen: Het is mogelijk om met pompen op de Houtribdijk de hydraulische belasting op de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam significant te verlagen (zie conclusie 2). Het effect op het ontwerp van de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam is echter zodanig, dat nog steeds een forse opgave resteert om de dijken te versterken (zie conclusie 4).
2. Pompen en effect op MHW's: Een MHW-verlaging van 0,6 m lijkt waterstaatkundig gezien het meest effectief. Dan komt de MHW ook in de buurt te liggen van recent opgetreden waterstanden. Om dat te bereiken is een pompcapaciteit nodig van 300 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk. Hiermee kan per dag orde grootte 3 cm waterschijf van het Markermeer worden weggepompt. Conform het vigerend beleid mag peilverlaging van het Markermeer niet worden afgewenteld op het IJsselmeer. Dat betekent dat dezelfde pompcapaciteit nodig is op de Afsluitdijk (extra ten opzichte van wat nu gepland is; deze is bedoeld om de vermindering van spuicapaciteit door zeespiegelstijging te compenseren). Het aanslagpeil van de pompen (het meerpeil waarop de pompen aanslaan) maakt uit voor de MHW-verlaging die kan worden bereikt. In de meeste berekeningen is ingebouwd dat de pompen aanslaan zodra een meerpeil van -0,27 m NAP is bereikt (dat is het gemiddelde winterpeil van het IJsselmeer). Bij een aanslagpeil van -0,37m NAP dalen de MHW's op het Markermeer extra. Bij 150 m<sup>3</sup>/s met 7 cm, bij 300 en 450 m<sup>3</sup>/s 10 cm. Het gemiddelde meerpeil blijft min of meer onveranderd. Het nadeel van een lager aanslagpeil is dat de pompen vaker aan staan (gemiddeld 3 keer langer dan bij een aanslagpeil van -0,27m NAP), en dat het meer op een vrijwel constant peil staat (tussen -0,40 en -0,37m NAP). Voor sommige functies (met name natuur) is dit minder aantrekkelijk.

Neerslag heeft eveneens invloed op de MHW's van het Markermeer. Door klimaatverandering kan de neerslag toenemen. Er zijn berekeningen gemaakt met een neerslagtoename van 10% en 20%. Het MHW stijgt hierdoor met respectievelijk 9 en 19 cm. De stijging van de maatgevende 10-daagse neerslagsom in de KNMI-klimaatscenario's (uit 2014) is 6 tot 17% in 2050, en 8 tot 25% in 2100. Dit kan er toe leiden dat extra pompcapaciteit op de Houtribdijk nodig is om de gewenste MHW-verlaging te bereiken.

3. Kosten(kentallen) pompen: Kostenkentallen voor pompen variëren tussen 25 en 50 miljoen euro per 100 m<sup>3</sup>/s. De raming op basis van de Standaardssystematiek voor kostenramingen in de bouw (SSK) komt uit op een kostenkental van 50 miljoen euro per 100 m<sup>3</sup>/s. Dit is berekend op basis van gemalen die tot nu toe gebouwd zijn. Zoals gebruikelijk in de Standaard-Systematiek Kostenramingen (CROW, 2010), wordt een risico-opslag gehanteerd, in dit geval van 35%. Tevens geldt voor kostenramingen in de verkenningsfase een spreiding van plus of min 50%. Het kostenkental van 50 M€ kent dus een bandbreedte van 25 tot 75 M€. Een kostenraming op basis van een eenvoudig, vernieuwend ontwerp van ir. Vroege en ir. Spaargaren komt uit op een kostenkental van 25 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s. Hierin is een post onvoorzien opgenomen van 10%. De investeringskosten voor pompen om een MHW-verlaging van 0,6 m te bereiken op het Markermeer, en tevens de MHW-stijging op het IJsselmeer te compenseren, variëren bij kostenkentallen van respectievelijk 25 en 50 M€ tussen de 150 en 300 miljoen euro (uitgaande van 300 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk en 300 m<sup>3</sup>/s extra op de Afsluitdijk). Daar komen nog operationele kosten bij van 0,6% per jaar. De pompen hoeven hooguit enkele weken per jaar aan te staan, waardoor de energiekosten klein zijn ten opzichte van het investeringsbedrag. Omdat de operationele kosten klein zijn ten opzichte van de investeringskosten en de investeringstermijnen voor pompen en dijkversterkingen vergelijkbaar zijn (ongeveer 50 jaar) is besloten de kosten niet terug te rekenen naar een Netto Contante Waarde. Dat levert geen nieuwe inzichten op.
4. Effect MHW-verlaging op Markermeerdijken Hoorn-Amsterdam: Een MHW-verlaging met 0,6 m heeft effect op het ontwerp van de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam. Het effect verschilt per deeltraject. Een dijkversterking kan echter niet worden voorkomen. Financieel gezien varieert het effect op het ontwerp van de Markermeerdijken bij een pompcapaciteit van 300 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk tussen 40 miljoen euro (ondergrens) en 100 miljoen euro (bovengrens). Dit betreft een kostenbesparing ten opzichte van de bestuurlijk vastgestelde voorkeursvariant (VOPP). Een en ander betekent dat bij een MHW-daling door pompen van 0,6 m en een kostenkental van 50 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s het verschil tussen investeringskosten (300 M€) en de bovengrens van de baten (100 M€) ongeveer 200 M€ is. Als de ondergrens van het kostenkental wordt gehanteerd (25 M€ per 100 m<sup>3</sup>/s) is de bovengrens van de besparing (100 miljoen euro) kleiner dan de ondergrens van de investering (150 miljoen €). Bij deze ramingen is uitgegaan van 300 m<sup>3</sup>/s op de Houtribdijk en 300 m<sup>3</sup>/s op de Afsluitdijk.
5. Indirecte effecten: Naast directe effecten op het ontwerp van de dijk tussen Hoorn en Amsterdam, is ook gekeken naar andere mogelijke baten, bijvoorbeeld de vermeden kosten bij andere dijkversterkingen rondom het Markermeer. Deze blijken ten opzichte van de ondergrens voor de investeringen voor pompen erg klein te zijn (orde grootte enkele miljoenen). Mogelijke baten zijn wellicht ook een betere ruimtelijke of cultuur-historische inpassing, maar die zijn lastig in geld uit te drukken.

### 6.3

#### Aandachtspunten

In dit rapport zijn diverse aandachtspunten en onzekerheden aan de orde geweest. Onderstaand worden de belangrijkste samengevat. De meeste hebben te maken met het verkennende karakter van deze studie.

1. ENW geeft in haar advies (zie bijlage 2) op diverse punten en vanuit verschillende invalshoeken aan dat verder onderzoek naar de bewezen sterkte



van de huidige dijk een aanzienlijke besparing in kosten en een substantiële reductie van de dijkversterkingsopgave kan opleveren, al dan niet in combinatie met het toepassen van pompen. ENW adviseert om de komende maanden te gebruiken om te verkennen in hoeverre 'bewezen sterkte' een kansrijk concept is om toe te passen bij de Markermeerdijken.

2. Bij de interpretatie van de berekeningen is aangenomen dat een meerpeildaling met een kans van 1:10.000 grosso modo één op één doorwerkt in de MHW en de hydraulische belasting van het traject Hoorn-Amsterdam. Dat is niet helemaal waar, omdat een meerpeildaling ook doorwerkt in scheefstand en golfoploop. Maar gezien het verkennende karakter van deze studie en het feit dat het om een verschilberekening gaat, is aangenomen dat dat in dit geval gerechtvaardigd is. In de onderliggende RHDHV rapportage heeft dit uitgangspunt geleid tot een inschatting van de bovengrens van de optimalisatie. Wel heeft RWS opdracht gegeven aan HKVLijninwater om een koppeling te realiseren tussen de rekenmodellen DEZY en Hydra, zodat de effecten van meerpeilveranderingen op de MHW direct en preciezer kunnen worden afgeleid.
3. Het niet meenemen van Dijken op Veen en de nieuwe normering in deze studie heeft tot gevolg dat er inzicht ontstaat in enkel het effect van het plaatsen van pompen. Dat was ook de bedoeling. Voor de andere onderwerpen zijn gelijksoortige onderzoeken uitgevoerd. Bij het ontwerp van de dijk spelen al deze aspecten op elkaar in. Bijvoorbeeld: een mogelijke kruinverlaging als gevolg van de nieuwe normering is nog niet meegenomen. We weten echter op basis van de impactanalyse die is uitgevoerd dat het effect van de nieuwe normering nog niet exact duidelijk is, en nog afhankelijk van de ontwikkelingen rondom het nieuwe Ontwerpinstrumentarium. Op basis van de huidige kennis lijkt de impact van de nieuwe normering beperkt. Het lijkt eerder een kruinverhoging dan een kruinverlaging op te leveren. Van Dijken op Veen wordt op basis van de beschikbare kennis op dit moment ingeschat dat de winst beperkt is.

Genoemde onderzoekstrajecten zijn echter nog niet afgerond. Mede gezien het advies van ENW lijkt het verstandig een goede analyse uit te voeren van de effecten van Dijken op Veen en de nieuwe normering op de omvang van de benodigde dijkversterking. Daarbij hoort ook een gevoeligheidsanalyse van de parameterinstellingen van het gehanteerde geotechnisch model, inclusief een beschouwing in hoeverre andere instellingen kunnen leiden tot nieuwe inzichten over de omvang van de dijkversterking. Separaat kan ook een beschouwing worden gegeven over de kansrijkheid om een geheel ander model (Plaxis) toe te passen. De komende maanden kan worden uitgezocht wat daar allemaal voor nodig is, en wat de te verwachten optimalisatie is.

4. In dit onderzoek is er voor gekozen om uit te gaan van het gekozen VOPP en de vigerende modellen. Er is hiervoor gekozen, omdat het onderzoek een verkennend karakter heeft en tot doel heeft om een indruk van de impact te krijgen. Optimalisaties in het VOPP zijn voorzien in de eerste fase van de planfase, in samenspraak met de omgeving. Daarop vooruitlopend is in dit rapport op basis van expert judgement een inschatting gemaakt van de locaties waar wellicht optimalisaties mogelijk zijn (zie hiervoor paragraaf 4.5.2 van dit rapport). Ook 'bewezen sterkte' is daarbij een aandachtspunt. Voorgaande aspecten komen terug in het advies van ENW.

## 7 Literatuur

Blaakman et al., 1999; Achtergronden Hydraulische Belastingen Dijken IJsselmeergebied. Deelrapport 2: Meerpeilstatistiek. E.J. Blaakman, H. Buiteveld, H.C. van Twuiver, A. van Agthoven. RIZA rapport 99.039. Rijkswaterstaat-RIZA. Lelystad, 25 maart 1999.

CROW, 2010; Standaardsystematiek voor kostenramingen SSK-2010, CROW-publicatie 137, feb 2010.

Deltares, 2012; Kramer, N en J. Beckers, Toelevering aan het CPB; Norm van de Afsluitdijk, 2012.

Deltaprogramma IJsselmeergebied, 2012; Kennisdocument strategieontwikkeling IJsselmeergebied, september 2012.

Geerse, 2006; Hydraulische Randvoorwaarden 2006 Vecht- en IJsseldelta - Statistiek IJsselmeerpeil, afvoeren en stormverlopen voor Hydra-VIJ. C.P.M. Geerse. RIZA-werkdocument 2006.036x. Rijkswaterstaat-RIZA. Lelystad, januari 2006.

Geerse en Kuijper, 2015; Probabilistisch model frequentielijnen IJsselmeergebied; Hoofdrapport van model DEZY. Chris Geerse en Bastiaan Kuijper. HKV IJN in water rapport PR31013.10, mei 2005.

HHNK, feb 2015, Voorlopig Ontwerp Project Plan, februari 2015.

HHNK, mei 2015, Vergelijk ontwerpmethoden Markermeerdijken, 8 mei 2015.

HKV, 2015; Varianten waterhuishouding IJsselmeergebied; Modelresultaten DEZY. Bastiaan Kuijper, Chris Geerse. HKV [Lijninwater](#) rapport PR3051.10. juli 2015.

ILT, 2013; Inspectie Leefomgeving en Transport, MinIenM, Verlengde derde toets primaire waterkeringen, landelijke rapportage 2012, 2013; 20 december 2013.

IVW, 2006; Inspectie VenW Primaire waterkeringen getoetst; Landelijke rapportage toetsing 2006. Inspectie Verkeer en Waterstaat 43, September 2006.

KNMI, 2014; KNMI '14-Klimaatscenario's voor Nederland, Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, 2014.

IenM, 2009; Ministerie van Infrastructuur en Milieu (min I&M), Het Nationaal Waterplan 2009-2015, 2009.

IenM, 2014; Ministerie van Infrastructuur en Milieu (min I&M), Herziening Nationaal Waterplan, september 2014.

IenM, dec 2014; Ministerie van Infrastructuur en Milieu (min I&M), Ontwerp Nationaal Waterplan 2, december 2014.

Min. IenM, 2014; Deltaprogramma 2015, Werk aan de delta, de beslissingen om Nederland veilig en leefbaar te houden, september 2014.

Projectteam Afsluitdijk, 2012; Besluit Pompen - Spuien, door Projectteam ESA, definitief, 21 november 2012.

Projectteam Houtribdijk, apr 2015; Impactanalyse deel 1: Rapport Verkenning dijkversterking Houtribdijk, Impactanalyse nieuwe normering, RDCOR\_9X4628-107\_R002\_nI53656\_c, concept, april 2015

Projectteam Houtribdijk, mei 2015; Impactanalyse deel 2: Memo resultaten impactanalyse - deel 2, 9X4628-107/N0006/nI85729/f, concept, 15 mei 2015

RHDHV, juli 2015; Effect pompen in Houtribdijk op ontwerp Markermeerdijken, RDCAB5488R001F02, juli 2015.

RWS-DIJ, 2012; Rijkswaterstaat-Dienst IJsselmeergebied, Nota Voorkeursbeslissing Pompen-Spuien; Extra Spuicapaciteit, 2012.

RWS, 2007; Rijkswaterstaat, Achtergrondrapport HR 2006 voor de Meren, Hydraulische Randvoorwaarden 2006, RWS RIZA rapport 2007.025

Rijkswaterstaat, DONAR, Data Opslag Natte Rijkswaterstaat.

RWS, mei 2015; Rijkswaterstaat, Notitie Peilbeheer en hydraulische randvoorwaarden Markermeer, 18-5-2015.

RWS, juni 2015; Rijkswaterstaat, Plan van aanpak onderzoek pompen Markermeerdijken HWBP2, juni 2015.

VenW, 2004; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland. Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de tweede toetsronde 2001-2006 (VTV).

VenW, 2009; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Waterwet, 22 december 2009.

WB21, 2000; Commissie waterbeheer 21e Eeuw (commissie Tielrooij), Waterbeleid voor de 21e Eeuw, augustus 2000.

WL, 1998; WL|Delft Hydraulics, Onafhankelijk Onderzoek Markermeer, mei 1998.

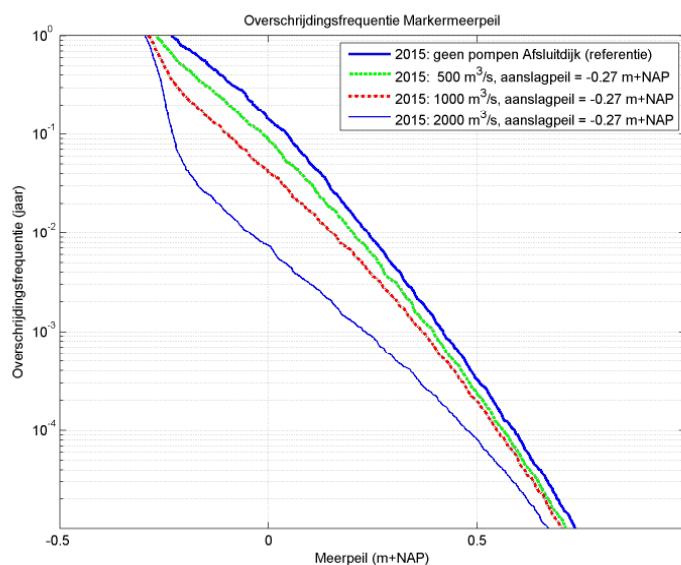
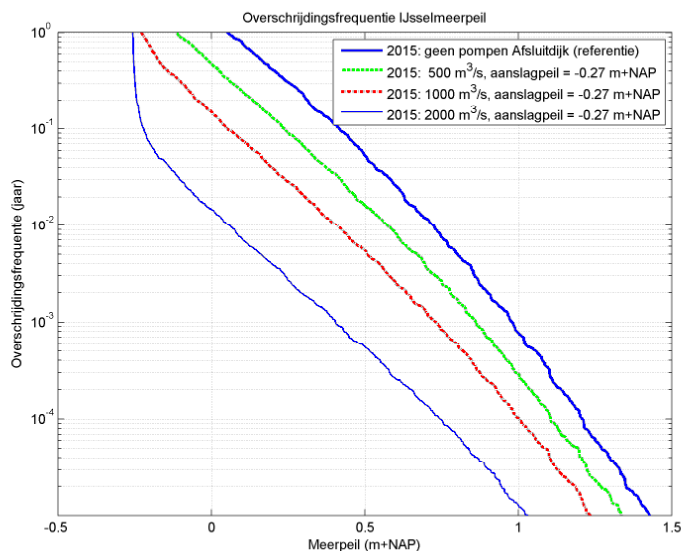
Zwaneveld, P., 2014; Economisch optimale waterveiligheid in het IJsselmeergebied, CPB Notitie, 14 januari 2014.

### Bijlage 1: Overschrijdingsfrequentielijnen meerpeilen

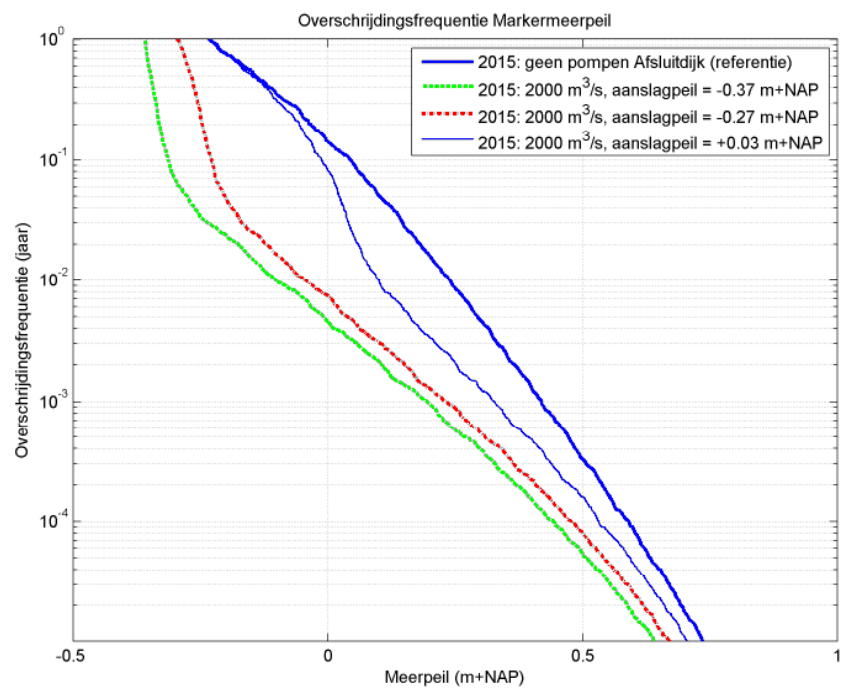
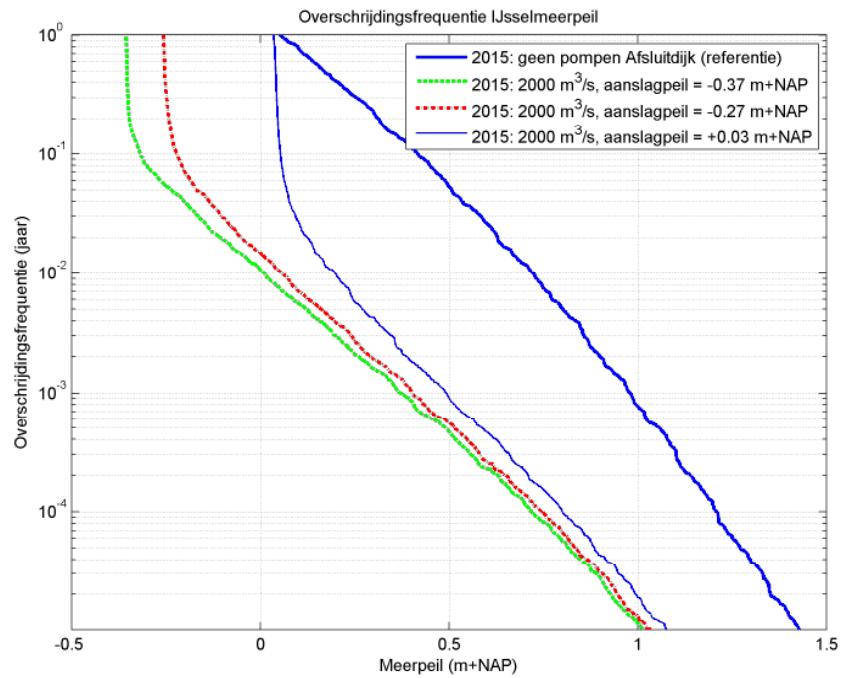
Voor de varianten zoals beschreven in paragraaf 3.6, zijn in deze bijlage figuren gegeven met de overschrijdingsfrequentielijnen van het meerpeil. Per variant is zowel de frequentielijn voor het IJsselmeer als het Markermeer gegeven. Meestal is ook de referentiesituatie opgenomen ter vergelijking.

Dat de frequentielijnen soms een wat grillig verloop geven heeft te maken met de gekozen discretisatie (stapgrootte in IJsselafoeren en aantal blokken met wind- en zeewaterstanden). Standaard wordt een niet al te fijne discretisatie gekozen om de rekentijd te beperken. Besloten is om hier bij het doorrekenen van de varianten niet van af te wijken. De resultaten zijn immers bedoeld om een eerste indicatie te geven van het daadwerkelijke effect van bepaalde situaties.

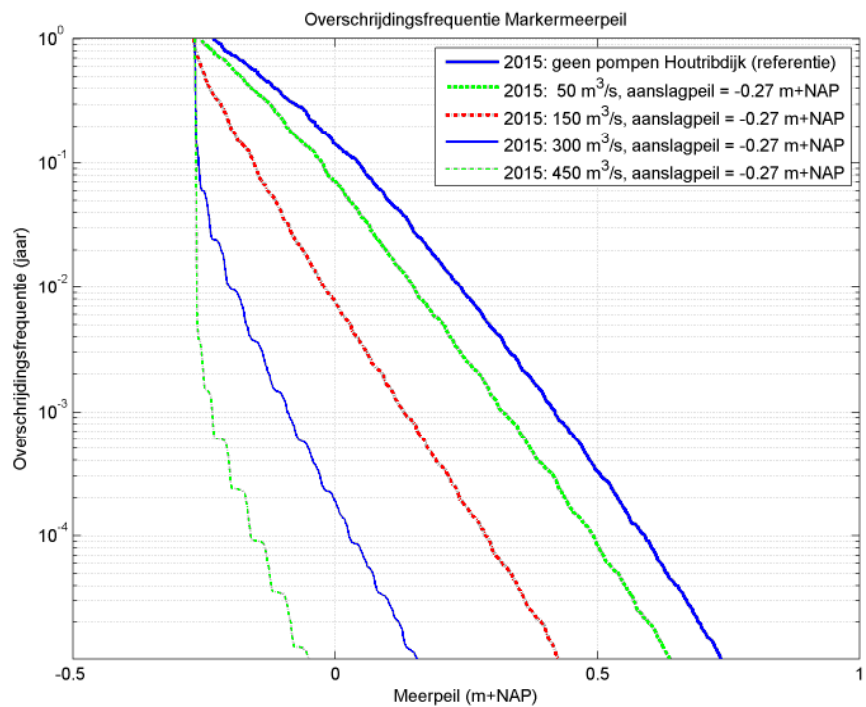
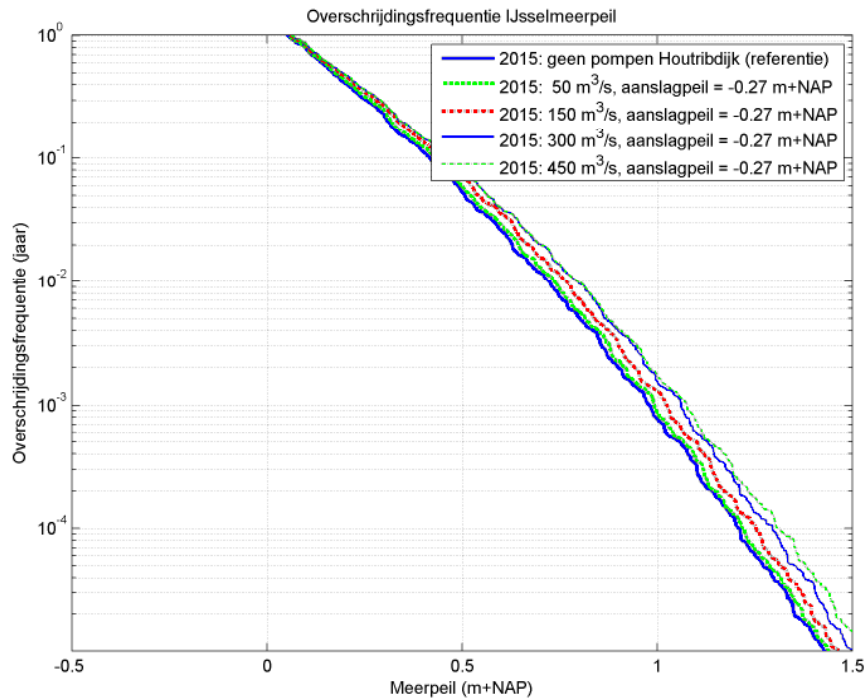
#### Variant B1: Pompcapaciteit Afsluitdijk (500, 1000 en 2000 m<sup>3</sup>/s)



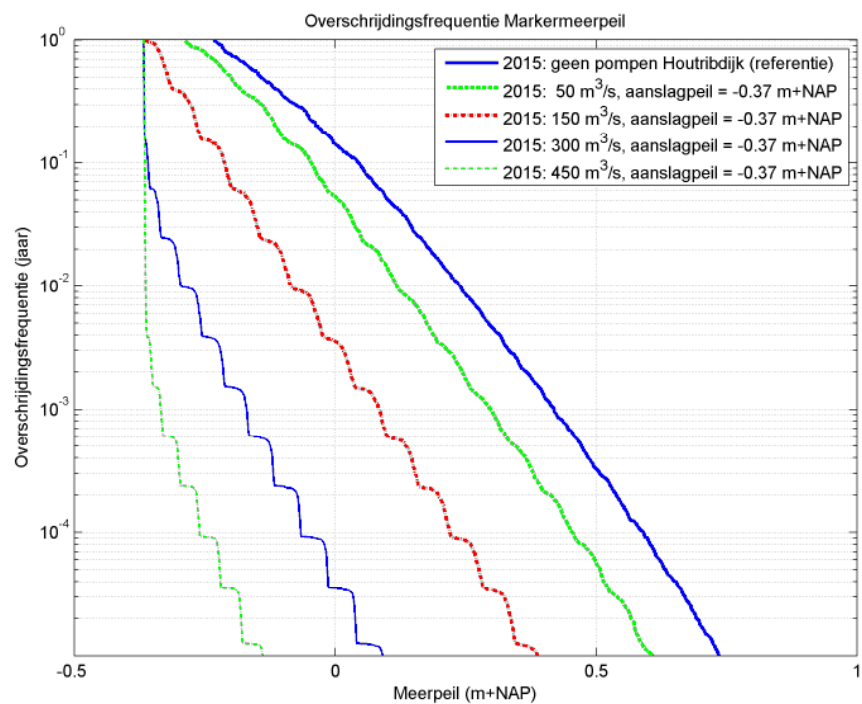
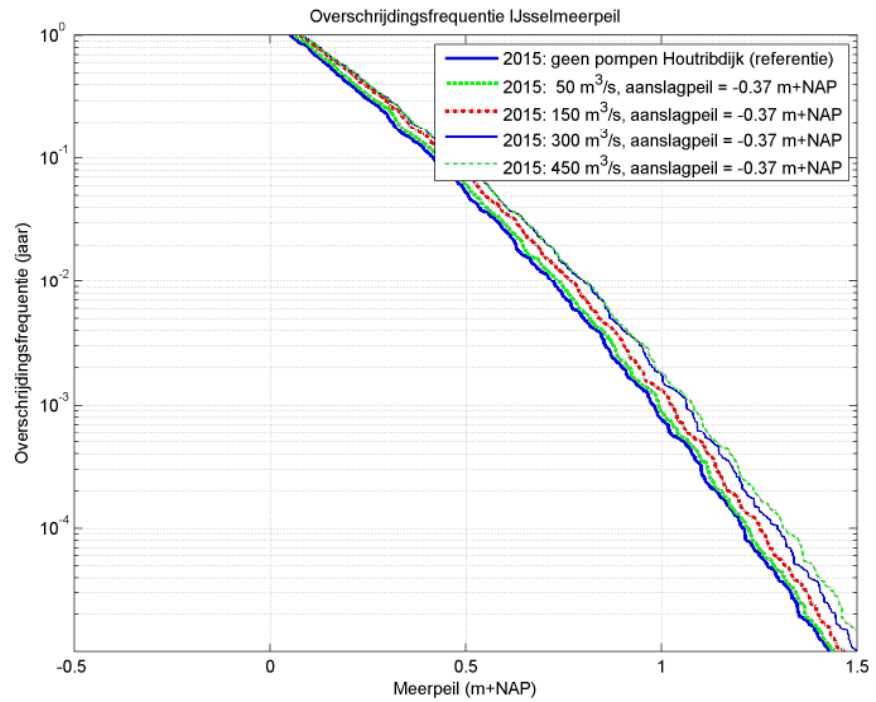
### Variant B4: Pompcapaciteit Afsluitdijk (2000 m<sup>3</sup>/s, bij verschillende aanslagpeilen)



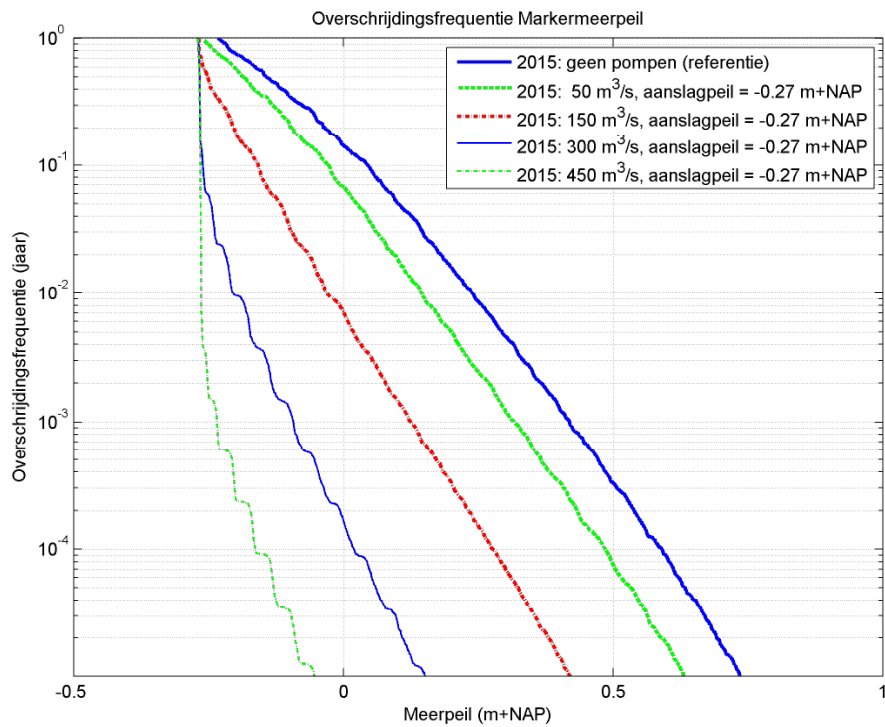
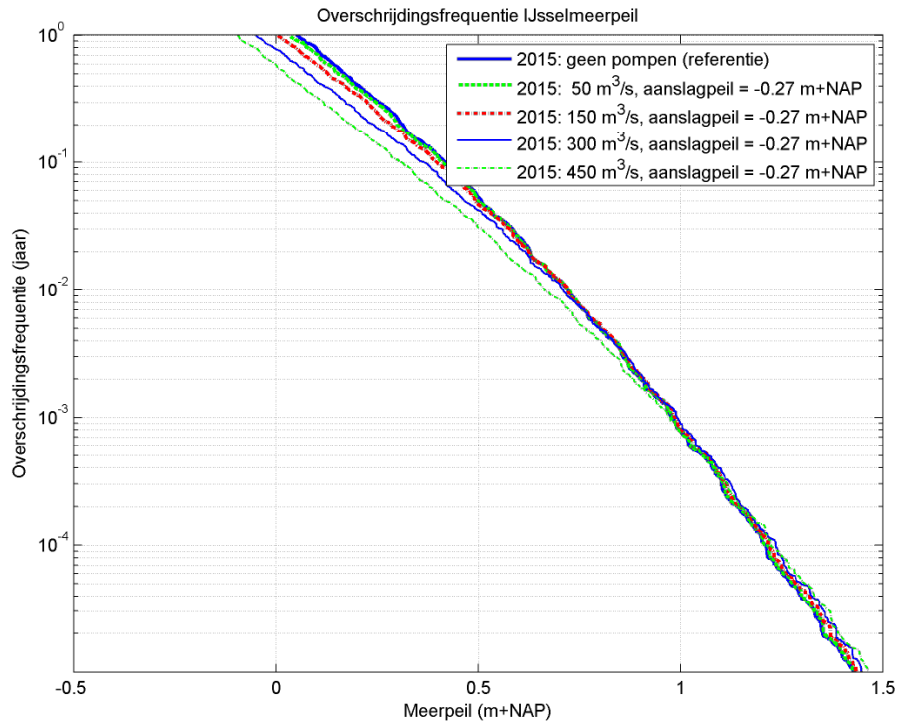
### Variant D1: Pompcapaciteit Houtribdijk (50, 150, 300 en 450 m<sup>3</sup>/s)



## Variant D2: Pompcapaciteit Houtribdijk (50, 150, 300 en 450 m<sup>3</sup>/s, ander aanslagpeil)

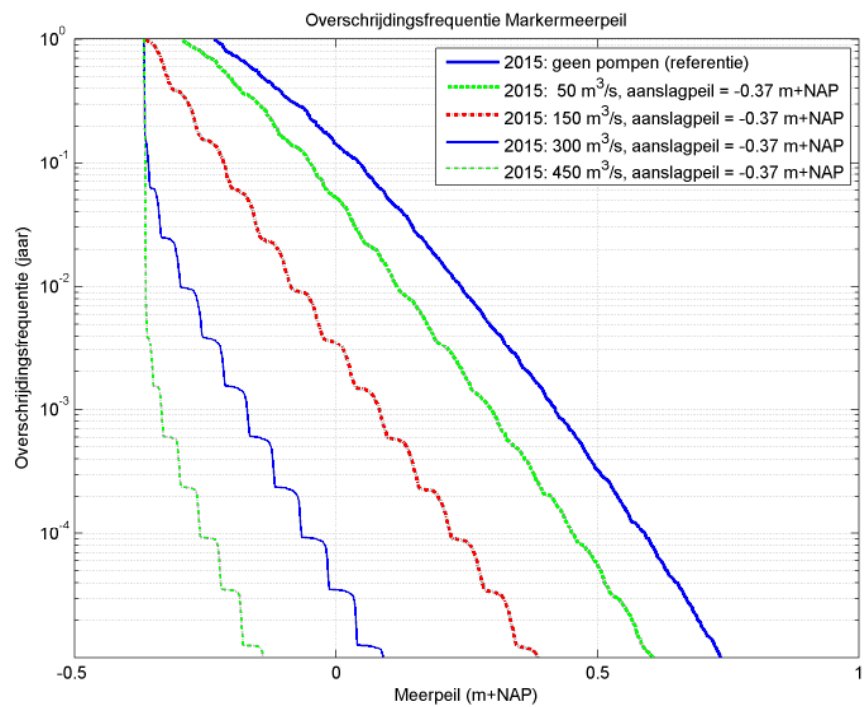
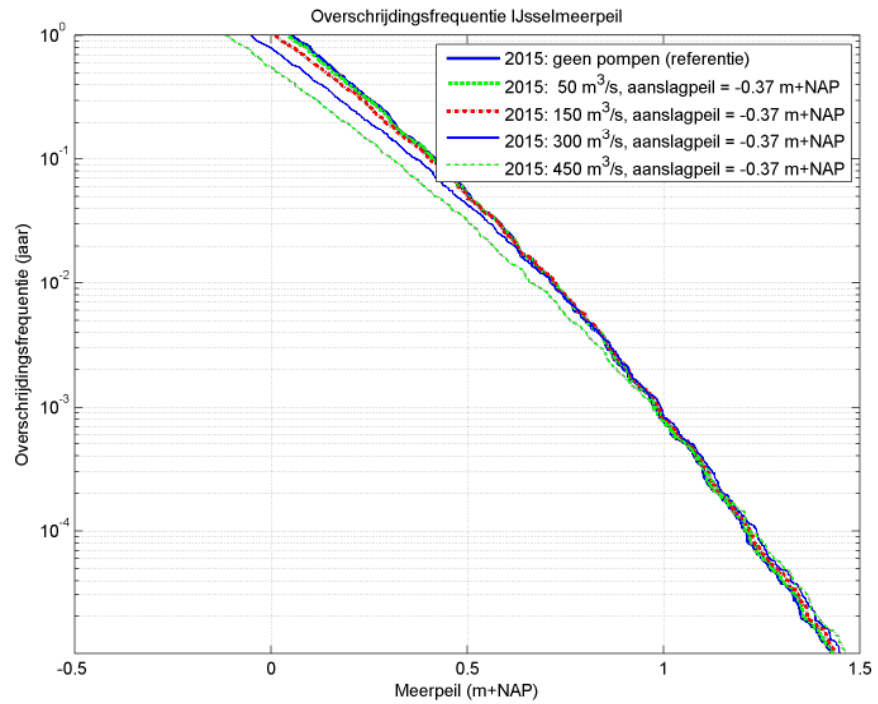


### Variant E1: Pompcapaciteit Houtribdijk + Afsluitdijk (150, 300 en 450 m<sup>3</sup>/s)

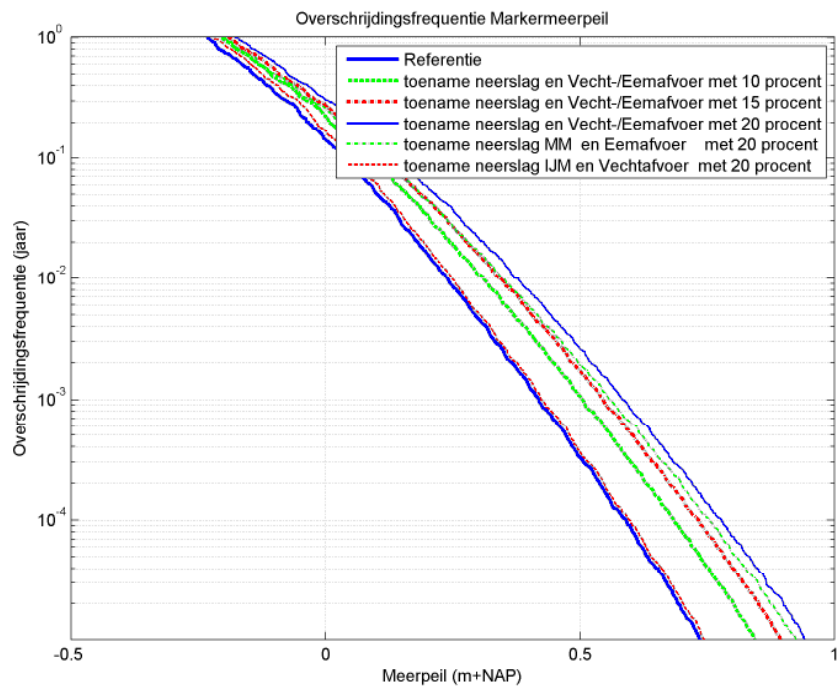
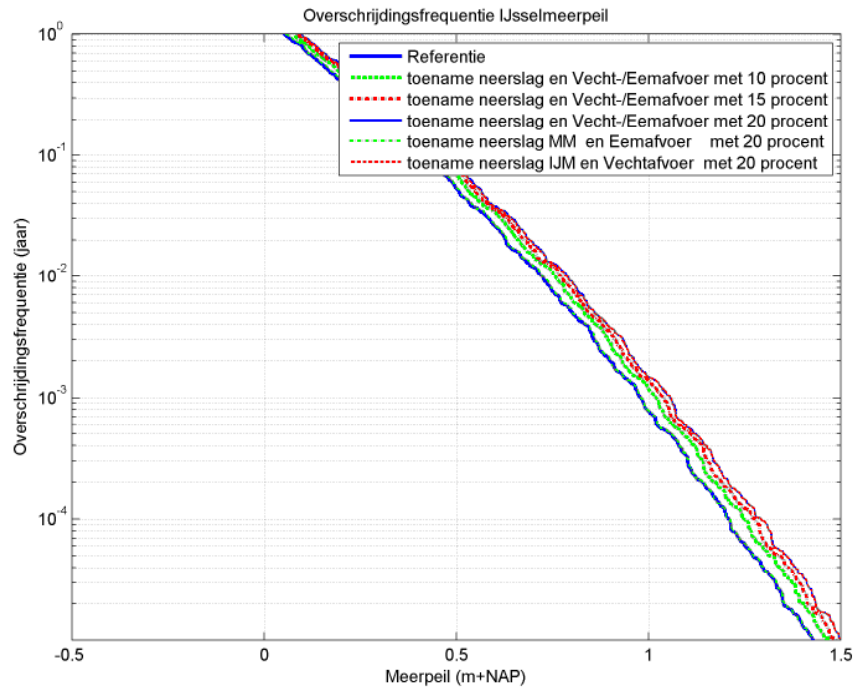




## Variant E2: Pompcapaciteit Houtribdijk + Afsluitdijk (150, 300 en 450 m<sup>3</sup>/s, ander aanslagpeil)



## Variant I2: Klimaatverandering (toename neerslag en Vecht-/Eemafvoer)



## Bijlage 2: Advies ENW

Ministerie van Infrastructuur en Milieu  
T.a.v. de Directeur-Generaal Ruimte en Water  
de heer drs. P.R. Heij  
Postbus 20901  
2500 EX DEN HAAG



Contactpersoon Telefoonnummer  
ir. D.P. de Bake 06 30 38 91 43  
Datum Bijlage(n)  
4 september 2015  
Ons kenmerk Uw kenmerk  
ENW-15-13 IENM/BSK-2015/124020  
Onderwerp Afschrift aan  
Advies onderzoek pompen t.b.v. de Markermeerdijk

Geachte heer Heij,

In uw brief van 16 juli 2015, met kenmerk IENM/BSK-2015/124020, heeft u het ENW gevraagd om advies over de effecten van peilverlaging door pompen op de noodzaak tot en de mate van versterking van de Noord-Hollandse Markermeerdijk. In opdracht van DGRW heeft Rijkswaterstaat WVL in samenwerking met het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier een onderzoek naar de effectiviteit en de effecten van peilverlaging uitgevoerd, met als onderzoeksvragen:

1. In hoeverre kan met pompen op de Houtribdijk de hydraulische belasting (MHW) van het Markermeer significant verlaagd worden (met 30 tot 90 cm).
  - a. Welke pompcapaciteit is nodig?
  - b. Wat is het effect op het MHW?
  - c. Wat zijn de kosten voor de pompen (gehele levenscyclus, inclusief o.a. beheer en onderhoud en energiekosten)?
2. Wat is het effect van een MHW-verlaging op het ontwerp van de Markermeerdijken?

- a. Kan daarmee een minder ingrijpend ontwerp worden gerealiseerd?
- b. Wat zijn de financiële baten (primair van de Markermeerdijken tussen Hoorn en Amsterdam, maar wellicht ook elders langs het Markermeer).

De resultaten van dit onderzoek zijn gerapporteerd in een reeks rapporten (zie referenties). Dit advies is gebaseerd op een gedetailleerde review van het syntheserapport. Op enkele aspecten is informatie uit andere achtergrondrapporten benut, maar een volledige beschouwing en review van al het achtergrondmateriaal is niet uitgevoerd. De concrete vragen die u in deze gesteld heeft worden hieronder beantwoord en voorzien van een advies.

Algemeen

Het ENW heeft waardering voor het werk dat in korte tijd is verricht. Het ENW is van mening dat met de uitgevoerde studies en de synthese daarvan door Rijkswaterstaat [ref. 8] een beter inzicht is ontstaan in het effect van pompen op de maatgevende waterstand in het Markermeer.

De consequenties van diverse uitgangspunten voor het dijkontwerp zijn onderzocht. Zo heeft het Hoogheemraadschap gekeken naar de gevolgen van de nieuwe normering, het toepassen van de kennis uit Dijken op Veen en de mogelijkheden rondom bewezen sterkte. Dit heeft echter nog niet geleid tot een eenduidig beeld van de stabiliteit van de dijken en de benodigde dijkversterking. Daardoor zijn de onzekerheden in de kosten van de dijkversterking nog aanzienlijk (expert schatting orde tientallen procenten). Het ENW onderschrijft in dit kader het voornemen van het Hoogheemraadschap om tot verdere optimalisatie van het ontwerp te komen in de anderhalf jaar die nog resteert voor de planstudie.

Geotechnische optimalisaties zijn naar de mening van het ENW zonder meer aan te bevelen, aangezien er ook met pompen een dijkversterkingsopgave lijkt te blijven bestaan. Over hoe groot die resterende opgave is, kan het ENW op basis van de beschikbare informatie geen uitspraak doen. Het ENW adviseert om in elk geval de geotechnische inzichten vanuit Dijken op Veen, de nieuwe normering en bijbehorende optimalisatie van de faalkansbegroting nader en in samenhang te bekijken. In dit licht verwijst het ENW naar het advies over normering waarin is aangegeven dat het verkennen van het effect van nieuwe inzichten in projecten in de planfase wenselijk is.

De belangrijkste factor die onderscheidend zou kunnen werken tussen de geplande dijkversterking en de pompenoptie betreft "bewezen sterkte". Het ENW acht het mogelijk dat in rekening brengen van bewezen sterkte in combinatie met pompen tot een substantiële reductie van de dijkversterkingsopgave leidt.

Aanwijzing hiervoor is het feit dat de huidige Markermeerdijken in 1998 reeds gedurende een week een waterstand van NAP + 0,2 m hebben doorstaan. Dit is ook de waterstand die bij de optie met pompen als maatgevend zou gelden. Bij hogere waterstanden die zonder pompen kunnen optreden zal de invloed van reststerkte op het ontwerp veel minder zijn.

Of pompen in combinatie met bewezen sterkte vanuit een oogpunt van kosteneffectiviteit daadwerkelijk een kansrijke optie is moet door experts op dit gebied op basis van een verkennende analyse kunnen worden aangegeven.

Opgemerkt wordt dat de situatie in 1998 een eenmalige gebeurtenis is en dat op basis daarvan vooralsnog niet valt te concluderen dat de kering in de toekomst onder vergelijkbare omstandigheden niet zal falen. Daarom wordt aanbevolen om een volledig probabilistische bewezen sterkte aanpak te volgen, in lijn met de aanbeveling van de studie door Fugro voor het Hoogheemraadschap. Het ENW acht de stand der techniek zodanig dat een dergelijke verkennende analyse binnen enkele maanden haalbaar is, mits de daarbij nodige experts beschikbaar zijn.

Samenvattend acht het ENW het mogelijk om in enkele maanden een volgende stap te maken waardoor de onzekerheden in de versterkingsopgave met en zonder pompen sterk worden gereduceerd. Met deze inzichten, met name op het gebied van bewezen sterkte, is het naar verwachting mogelijk om het dijkontwerp significant te optimaliseren en om een meer volledige afweging van de strategie met pompen te maken.

In dit kader wordt aanbevolen om de strategieën met en zonder pompen te vergelijken op basis van een bredere afweging van kosten en baten, waarin naast de (nog) benodigde dijkversterking ook aspecten zoals LNC-waarden en besparingen op andere toekomstige dijkversterkingen rondom het Markermeer en eventueel het IJsselmeer worden meegenomen.

Het ENW beveelt aan om – los van het project Markermeerdijken – structureel meer kennis te ontwikkelen op het gebied van bewezen sterkte, dijken op veen, en onzekerheden in macrostabiliteit en de effecten van nieuwe normering en de gehanteerde faalkansbegroting. De hier gesignaleerde problemen komen op veel meer plaatsen voor dan alleen bij de Markermeerdijken. Het ENW adviseert daarom

om in enkele representatieve projecten verkenningen uit te voeren. Daarnaast beveelt het ENW aan om verdiepende kennisontwikkeling op dit gebied op te nemen in de Kennisagenda..

#### Antwoord op de specifieke vragen

1. Zijn alle aspecten die van belang zijn om het effect van een door middel van pompen beheerst Markermeerpeil op het dijkontwerp te kunnen beoordelen meegenomen?

De gevolgde redeneerlijn (te realiseren peilverlaging > benodigde pompcapaciteit > kosten pompen > effect op dijkontwerp > kostenbesparing op dijkversterking > kosteneffectiviteit) is in principe logisch en dit betekent dat de belangrijkste aspecten zijn bekeken. Op de gehanteerde uitgangspunten en uitwerking heeft het ENW echter de nodige op- en aanmerkingen (zie ook de antwoorden op de volgende vragen).

#### VOPP als referentie

Zoals ook al aangegeven door de leden van de Adviesgroep, kunnen vraagtekens worden gezet bij de keuze van het VOPP als referentie. Vanuit praktisch oogpunt is die keuze evenwel begrijpelijk, omdat dit het enige beschikbare, uitgewerkte ontwerp is.

2. Kunt u de in het onderzoek gebruikte methoden onderschrijven?

De gebruikte methoden passen in een verkenning op hoofdlijnen. Echter, het ENW kan de gebruikte methoden niet op alle punten onderschrijven. Per deelaspect wordt dit hieronder nader toegelicht.

#### Meerpeilstatistiek

Voor het berekenen van de meerpeilstatistiek is gebruik gemaakt van het probabilistische model DEZY. Dit model is ontwikkeld in het kader van het project Integrale Studie Waterveiligheid en Peilbeheer IJsselmeergebied (ISWP). Het ENW is gevraagd om met deze studie mee te kijken om aan het einde (voorzien in 2018) over de onderdelen te adviseren.

Het DEZY-model is ten behoeve van de hier beschouwde studie uitgebreid met het Markermeer en Noordzeekanaal. Omdat het op dit moment om een nog niet volledig getoetste methode gaat, kan het ENW toepassing ervan voor de meerpeilstatistiek niet zonder meer onderschrijven. Voor een eerste verkenning van de mogelijkheden van peilverlaging geeft de benadering echter voldoende inzicht.

Weliswaar is nog een aantal verbeteringen van dit model denkbaar, zoals het meenemen van de invloed van de peilverlaging op de scheefstand (in het syntheserapport al aangemerkt als verbeterpunt) en op de mogelijke resonantie in de scheefstand (geschatte tijdschaal enkele uren), maar de invloed daarvan op de stabiliteit van de dijk zal gering zijn. Het valt dan ook niet te verwachten dat dit tot andere conclusies zal leiden ten aanzien van de kosteneffectiviteit van pompen.

De conclusies van het syntheserapport lijken uitsluitend te zijn gebaseerd op de hoogste waterstanden. Met het oog op de belangrijke rol van geotechnische faalmechanismen zou de gehele kansverdeling van de waterstand, inclusief onzekerheden daarin, in een probabilistische beschouwing moeten worden meegenomen.

## Pompen

Wat in de documentatie wordt aangeduid als 'pompen' zijn volgens de door Rijkswaterstaat verschaft informatie in feite pompstations met een aantal kleinere pompen, elk met een capaciteit van ca. 20 m<sup>3</sup>/s. Rijkswaterstaat acht de kans dat deze pompenstelsels integraal falen zo klein, dat deze buiten beschouwing kan blijven. Het gaat hier echter om zeer zeldzame gebeurtenissen en techniek is net als natuur nu eenmaal behept met onzekerheden. Wanneer pompen als optie in het ontwerpproces wordt meegenomen, adviseert het ENW het standpunt van Rijkswaterstaat nader te onderbouwen. Als pompen lang stil staan kan hun bedrijfszekerheid immers moeilijker worden gegarandeerd. Ze zullen dan ook regelmatig moeten worden ingezet of proefdraaien, zonder dat de maatgevende omstandigheden zich voordoen.

Bij pompen is de inzetfrequentie en draaiduur ten opzichte van de investering relevant voor de economische rentabiliteit. Op deze aspecten wordt niet ingegaan. Een punt van aandacht daarbij is de snelle economische veroudering van het systeem mede in het licht van technische ontwikkelingen (zie de pompen in de Philipsdam, die al na enkele decennia aan vervanging toe zijn).

## Dijkontwerp

Het VOPP is gebaseerd op de oude normering en de bijbehorende uitgangspunten voor het ontwerp. In lijn met andere adviezen beveelt het ENW aan de consequenties van de nieuwe normering op het definitieve ontwerp in beeld te brengen en daadwerkelijk over te stappen als daar voldoende aanleiding voor is. Zie hiervoor ook de ENW-adviezen over de nieuwe normering (ENW-15-10), het Ontwerpinstrumentarium 2014 versie 3 (ENW-15-11) en Dijken op Veen/ongedraineerd rekenen.

## Afweging van kosten en baten

Zie het antwoord op vraag 4.

3. Zijn de conclusies met betrekking tot het effect van pompen op de MHW's en het effect van een MHW-verlaging op het dijkontwerp goed onderbouwd?

De uitgevoerde verkenningen geven naar verwachting een robuust beeld van het effect van pompen op de maatgevende waterstanden. Het ENW adviseert wel het effect van pompen op andere toekomstige dijkversterkingen langs het Markermeer nader uit te werken in de komende maanden, omdat dit een relevant onderdeel in de beleidsafweging kan zijn. Ook dient op termijn de betrouwbaarheid van het pompensysteem meegenomen te worden – ook in de kansverdeling van optredende waterstanden in het Markermeer.

Het effect van waterstandsverlaging op dijkontwerp is in korte tijd met beschikbare methoden verkend, met het VOPP als referentieontwerp. Echter, er is nog geen eenduidig beeld van de stabiliteit van de dijken en de benodigde dijkversterking. Daarmee zijn de onzekerheden in de kosten van de dijkversterking nog aanzienlijk. De invloeden van dijken op veen en nieuwe normering lijken op grond van de aangereikte informatie relatief beperkt (orde 10 – 20%). De effecten van een andere faalkansbegroting en bewezen sterkte zijn nog in beperkte mate uitgewerkt en verdienen nadere aandacht. Met name bewezen sterkte zou een substantiële invloed kunnen hebben op het veiligheidsoordeel van de dijken. Bij nadere verkenning van bewezen sterkte wordt aanbevolen om gebruik te maken van een volledig probabilistische aanpak.

4. Zijn de kosten en baten van de inzet van pompen op een verantwoorde wijze vergeleken met de kosten en baten van een versterking van de dijken zonder de inzet van pompen?

In de synthesestudie is ervoor gekozen om, via een KEA, de kosten die nodig zijn voor het verlagen van het maatgevende meerpeil (met 30, resp. 60 en 90 cm) te vergelijken met de baten (in termen van besparingen op dijkversterking) die deze verlaging oplevert ten opzichte van het VOPP van het project Markermeerdijken. Het betreft hier dus kosten en baten voor het Rijk en het Hoogheemraadschap. Met deze beperkte scope leidt de KEA tot een negatief saldo tussen de 50 - 200 miljoen euro, wat zonder bijkomende argumenten zou leiden tot afwijzing van de optie pompen.

In het syntheserapport zijn de kosten van pompen en dijkversterking met bandbreedtes weergegeven. Het ENW constateert dat er met name in de schattingen van de kosten van dijkversterking substantiële onzekerheden zitten (orde tientallen procenten). Een belangrijke onzekerheid die onderscheidend kan werken tussen de opties pompen en dijkversterking betreft de bewezen sterkte. Zoals eerder aangegeven lijkt een nadere verkenning hiervan gewenst.

Ten behoeve van de afweging kunnen strategieën met en zonder pompen vergeleken worden op basis van kosten van pompen en dijkversterking, effecten op LNC-waarden, en mogelijke effecten op reductie van andere toekomstige dijkversterkingen rondom het Markermeer, en andere relevant effecten. Een samenvattend overzicht van deze voor de beleidsafweging relevante aspecten van de diverse alternatieven is nog niet opgenomen in de rapportages. In bijlage 1 is een aantal mogelijke baten (en kosten) opgenomen van pompen die in de nadere uitwerking aandacht zouden kunnen krijgen.

Indien de optie met pompen zou worden verkozen, adviseert het ENW om op langere termijn een meer uitgebreide systeemstudie uit te voeren waarin de effecten op het hele IJsselmeergebied worden meegenomen.

5. De invloed van pompen op het ontwerp van de Markermeerdijken is onderzocht met de huidige normering en zonder rekening te houden met dijken op veen. In een vervolgstap zal het hoogheemraadschap de invloed van de nieuwe normering en dijken op veen in beeld brengen. Kunt u deze werkwijze om tot een conclusie te komen over de effectiviteit van de inzet van pompen om de dijkversterkingsopgave te beperken onderschrijven?

Het ENW is van mening dat het voor een goede besluitvorming inderdaad noodzakelijk is om de effecten van de nieuwe normering en Dijken op Veen in beeld te brengen, waarbij wordt aangetekend dat het ontwerpinstrumentarium nog niet is uitgekristalliseerd en er dus gedetailleerd zal moeten worden ontworpen. Dit is in lijn met de ENW-adviezen over normering (ENW-15-10) en OI2014v3 (ENW-15-11) van begin september 2015. In het normeringsadvies wordt aangegeven dat het verkennen van het effect van nieuwe inzichten in projecten in de planfase wenselijk is.

6. Welke overwegingen zouden in dit geval in een afweging tussen peilbeheersing met pompen of dijkversterking een rol moeten spelen?

Deze vraag is grotendeels al beantwoord in het voorgaande advies. De belangrijkste aanbeveling betreft het meenemen van bewezen sterkte. Daarnaast acht het ENW het verstandig om enkele aanvullende zaken beter in beeld te brengen. Daarbij gaat

het onder meer om het meenemen van nieuwe inzichten (dijken op veen, normering) op de dijkversterking, de betrouwbaarheid van pompen, en het effect van pompen op andere dijkversterkingen.

**Slotopmerking**

Dit advies is in zeer korte tijd tot stand gekomen en is voornamelijk gebaseerd op het syntheserapport [ref. 8] en voor deelaspecten op de beschikbare geotechnische rapportage. Daarbij is de problematiek beschouwd vanuit de techniek en de daarmee samenhangende kosten en baten. Het ENW realiseert zich dat bij de uiteindelijke afweging van de pompenvariant ook andere invalshoeken van belang zijn en adviseert dan ook deze technische informatie te integreren in een bredere beleidsanalyse.

Ik vertrouw erop u zo voldoende te hebben geadviseerd.

Hoogachtend,

Ir. G. Verwolf

Voorzitter van het Expertise Netwerk Waterveiligheid



## Referenties

1. Rijkswaterstaat-WVL en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Plan van aanpak pompen Markermeerdijken, versie 0.9, 17 juni 2015.
2. HKV Lijn in Water. Probabilistisch model frequentielijnen IJsselmeergebied. Hoofdrapport van model DEZY. PR3013.10, mei 2015.
3. HKV Lijn in Water. Overzicht resultaten rekenstap 2 met model DEZY. Memo PR3051.10, 26 juni 2015.
4. Royal Haskoning DHV. Effect pompen in Houtribdijk op ontwerp Markermeerdijken. Rapport RDCAB5488R001F02, 9 juli 2015.
5. Effect pompen Markermeer op versterkingsopgave. 27 juni 2015
6. Royal Haskoning DHV. Vooruitblik gevolgen plaatsen pompen in Houtribdijk op ontwerp Houtribdijk. Memo 9X4628-1 07\_NOOI 2\_n185729\_f, 30 juni 2015.
7. Rijkswaterstaat. Peilbeheer en hydraulische randvoorwaarden van het Markermeer. Notitie t.b.v. HWBP2-project Markermeerdijken, versie 1.0, 18 mei 2015.
8. Rijkswaterstaat en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Syntheserapport pompen Markermeerdijken HWBP2, versie 10 augustus 2015.
9. Technisch Achtergronddocument Markermeerdijken Hoorn – Amsterdam nr 15.8713 dd 1 mei 2015 versie 2 status concept. Opgesteld door HHNK
10. Vergelijk ontwerpmethoden Markermeerdijken Effectanalyse OI2014, nr AB5488-111-124, dd 8 mei 2014, versie 0.8 status definitief, opgesteld door HHSK, RHDHV en Arcadis

## Bijlage 1 Mogelijk aanvullende baten (en kosten) van pompen

### Vermeden kosten voor spuisluizen

Niet alleen de kosten van pompinstallaties op de Houtribdijk en de Afsluitdijk moeten in beschouwing worden genomen, maar ook de daardoor vermeden kosten (lees: mogelijke besparingen), zoals de vervanging van spuisluizen. Bij de Afsluitdijk (zie MKBA's van het CPB uit 2011 en 2012) bleken de kosten voor nieuwe pompen namelijk niet hoger dan de kosten van nieuwe spuisluizen. Uiteraard heeft dit een verband met de levensduur van deze kunstwerken (Afsluitdijk: tot 2032, Houtribdijk: tot 2076).

### Besparingen op dijkversterkingen langs het IJsselmeer

Uit eerdere MKBA's bleek dat een pompcapaciteit van 2000 m<sup>3</sup>/s op de Afsluitdijk maatschappelijk veel meerwaarde had t.o.v. van geen pomp (0 m<sup>3</sup>/s). In situaties waarin de in de huidige verkenning voorziene extra pompcapaciteit op de Afsluitdijk niet nodig is om extra water vanuit het Markermeer uit te slaan kan deze capaciteit worden ingezet ten behoeve van het IJsselmeer. Dat brengt de totale capaciteit van 500 m<sup>3</sup>/s naar 800 m<sup>3</sup>/s. Uitgaande van afnemende meeropbrengsten van extra pompcapaciteit en het feit dat ook 2000 m<sup>3</sup>/s nog rendabel was, ligt het voor de hand dat de extra pompcapaciteit van 300 m<sup>3</sup>/s op de Afsluitdijk vanuit het perspectief van de veiligheid rond het IJsselmeer zeer rendabel is. Met andere woorden: het systeem levert mogelijk ook baten op in de vorm van besparingen op dijkversterkingen rond het IJsselmeer.

### Nevenfunctie pompen: inzet pompen voor toekomstig peilbeheer

Het is denkbaar dat in de toekomst toch wordt besloten het IJsselmeerpeil iets te verhogen (zie de desbetreffende Deltabeslissing). Omdat reeds is besloten het Markermeerpeil niet te verhogen, zijn pompen nodig om het peil van het Markermeer te beheersen: pompcapaciteit die nu wordt geïnstalleerd vanuit veiligheidsperspectief zou ook voor dit peilbeheer kunnen worden ingezet. Dat betekent een potentiële besparing.

### Besparingen op overige dijkversterkingen langs het Markermeer

Er bestaat nog weinig inzicht in het effect van pompen op andere (vermeden) dijkversterkingen langs het Markermeer.

### Kosten

Hoewel het meerpeil niet onder het streefpeil komt, zijn er mogelijk ook andere kosten dan die van de pompinstallaties (zie ook de 'peilthermometer' van Rijkswaterstaat).