



# KBA calamiteiten- regeling 'hoge waterstanden VZM'



Opdrachtgever



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat





# KBA calamiteiten- regeling 'hoge waterstanden VZM'

---



Eindrapport

**Auteurs**

Bastiaan Kuijper  
Cor-Jan Vermeulen  
Ton Botterhuis

PR3833.10  
oktober 2018



## Samenvatting

De Mark-Dintel-Vliet (MDV) boezem in West-Brabant loost onder vrij verval via de Dintelsas en de Benedensas op het Volkerak-Zoommeer. De waterstand op het Volkerak-Zoommeer heeft een relatief grote invloed op de waterhoogten in de MDV boezem door het relatief kleine verhang in het benedenstroomse deel van dit watersysteem. Om mogelijke wateroverlast, of zelfs overstromingen, in het bovenstroomse deel van de MDV boezem te voorkomen is er een calamiteitenregeling 'hoge waterstanden Volkerak-Zoommeer t.g.v. hoge rivierafvoeren'. In de regeling is uitgewerkt dat bij overschrijden van het 'calamiteitenpeil' van NAP +0,50 m op het Volkerak-Zoommeer er extra wordt afgevoerd via de Krammersluizen.

Om een beeld te krijgen van de consequenties als de Krammersluizen bij een lager calamiteitenpeil worden ingezet, is een (beknopte) kosten-baten analyse uitgevoerd. Hierin zijn – naast de uitgangssituatie – twee afwijkende waarden voor het calamiteitenpeil beschouwd, namelijk NAP +0,15 m en NAP +0,30 m. Deze studie komt voort uit het project Slim Watermanagement waarin de waterbeheerders rondom het Volkerak-Zoommeer gezamenlijk zoeken naar optimalisaties in het waterbeheer.

De verlaging van het calamiteitenpeil naar NAP +0,30 m verlaagt de dijkversterkingskosten van de MDV-boezem met circa € 2,2 miljoen; bij een calamiteitenpeil van NAP +0,15 m is de besparing circa € 2,7 miljoen. Dit is minder dan 7% van de geschatte dijkversterkingskosten.

De gemiddelde inzetfrequentie, gemiddelde inzetduur en gemiddelde spuivolumina van de Krammersluizen zijn erg beperkt. Zelfs in de meest extreme situatie (2085 met een calamiteitenpeil van NAP +0,15 m) is dit minder dan viermaal per jaar, met een gemiddelde duur van 35 uur en een tijdgemiddelde afvoer van 1,65 m<sup>3</sup>/s. Door de beperkte toename van de inzetfrequentie en –duur van de Krammersluizen heeft de verlaging van het calamiteitenpeil weinig effect op de onderhoudskosten en de extra zoetwaterbelasting van de Oosterschelde. De kosten van oplopende wachttijden voor de scheepvaart bij de Krammersluizen zijn circa 6 duizend euro per jaar.

Het verlagen van het calamiteitenpeil op het Volkerak-Zoommeer is geen kosteneffectieve maatregel, met name omdat een lager calamiteitenpeil door de klimaatveranderingen niet meer haalbaar is. In de huidige situatie is het calamiteitenpeil van NAP +0,50 m redelijk goed haalbaar (tot ca. eens in de 100 jaar), maar voor de zichtjaren 2050 en 2085 niet meer.

Het grootste effect van een lager calamiteitenpeil op de overschrijdingsfrequentie van het Volkerak-Zoommeer is in situaties die relatief vaak voorkomen (herhalingstijden tussen de 10 en 100 jaar). Aanbevolen wordt te onderzoeken of een verlaging van het calamiteitenpeil de problemen van regionale wateroverlast kan verkleinen.

Gezien de effecten van klimaatveranderingen op het waterbeheer van het Volkerak-Zoommeer wordt aanbevolen de gevoeligheid van de overschrijdingsfrequentie voor verschillende klimaatscenario's te kwantificeren. Ook wordt aanbevolen de nut en noodzaak te onderzoeken van extra afvoermogelijkheden van het Volkerak-Zoommeer (door het vergroten van de capaciteit en/of verkleinen van faalkans en -duur van de Bathse spuisluis).

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Aanpak</b>	<b>3</b>
2.1	Consequenties Volkerak-Zoommeer	3
2.1.1	DEVO	3
2.1.2	Klimaatscenario's	6
2.1.3	Uitvoer	7
2.2	Consequenties Mark-Dintel-Vliet boezem	7
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>9</b>
3.1	Consequenties Volkerak-Zoommeer	9
3.1.1	Resultaten huidige situatie	9
3.1.2	Resultaten zichtjaar 2050	10
3.1.3	Resultaten zichtjaar 2085	11
3.1.4	Bespreking resultaten	12
3.1.5	Beschouwing overige aspecten	14
3.2	Consequenties Mark-Dintel-Vliet boezem	15
3.2.1	Dijkversterkingskosten	15
3.2.2	Effect op poldergemalen	18
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>21</b>
4.1	Conclusies	21
4.2	Aanbevelingen	22
<b>5</b>	<b>Referenties</b>	<b>23</b>

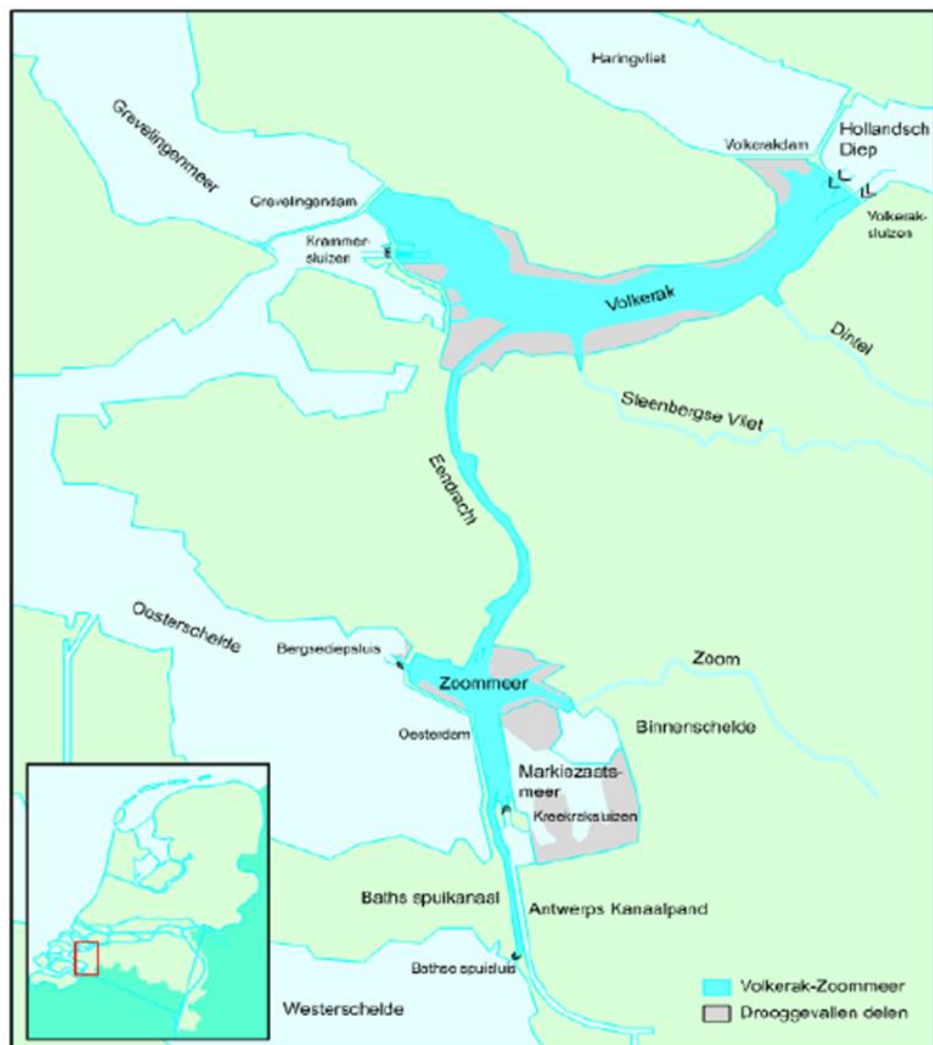




# 1 Inleiding

De Mark-Dintel-Vliet (MDV) boezem in West-Brabant loost onder vrij verval via twee sluiscomplexen (Dintelsas en Benedensas) op het Volkerak-Zoommeer (VZM). De waterstand op het VZM heeft een relatief grote invloed op de waterhoogten in de MDV boezem ten gevolge van het relatief kleine verhang in het benedenstroomse deel van dit watersysteem. Deze invloed reikt tot aan de bruggen van de A16 en HSL over de Mark bij een extreme (en zeldzame) boezemafvoer.

*Figuur 1  
Watersysteem  
Volkerak-Zoommeer*



Bij normaal beheer wordt water afgevoerd via de Bathse spuisluis. Om mogelijke wateroverlast, of zelfs overstromingen, in het bovenstroomse deel van de MDV boezem (waaronder het stedelijke gebied van Breda en Etten-Leur) te voorkomen is de calamiteitenregeling 'hoge waterstanden VZM t.g.v. hoge rivierafvoeren' opgesteld. Deze regeling bevat o.a. de maatregel dat bij een verwachte waterstand boven NAP +0,50 m bij meetlocatie Nieuw

Vossemeer er via de Krammersluizen water wordt afgevoerd naar de Oosterschelde.

Vanuit het project Slim Watermanagement regio Volkerak-Zoommeer is aanHKV gevraagd een quick-scan uit te voeren naar de consequenties van een mogelijke verlaging van het peil waarbij deze maatregel wordt ingezet (aangeduid met 'calamiteitenpeil').

De quick-scan bestaat uit een (beknopte) kosten-baten analyse waarbij – naast de uitgangssituatie – nog twee afwijkende waarden van het calamiteitenpeil worden beschouwd, namelijk NAP +0,15 m en NAP +0,30 m.

Het verlagen van het calamiteitenpeil heeft potentiële baten voor de versterkingsopgave van de keringen langs de MDV-boezem en resulteert naar verwachting in lagere energiekosten en minder maalstops voor de gemalen langs de boezem.

Aan de andere kant betekent een verlaging van het calamiteitenpeil dat de Krammersluizen intensiever worden gebruikt voor waterafvoer hetgeen consequenties heeft voor de scheepvaart (de sluis zal vaker gestremd zijn), de onderhoudsinspanningen aan de Krammersluis en de zoetbelasting van de Oosterschelde.

## 2 Aanpak

### 2.1

#### Consequenties Volkerak-Zoommeer

Het Volkerak-Zoommeer en de MDV-boezem zijn twee watersystemen die elkaar in sterke mate beïnvloeden. Het verlagen van het calamiteitenpeil is alleen effectief als er in de voorkomende gevallen (voldoende) gespuid kan worden bij de Krammersluizen, hetgeen afhankelijk is de waterstanden op de Oosterschelde. Wordt hieraan voldaan, dan worden de waterstanden op de MDV boezem verlaagd.

Een verlaging van het calamiteitenpeil betekent dat de Krammersluizen intensiever worden gebruikt voor waterafvoer, hetgeen consequenties heeft voor de scheepvaart (de sluis zal vaker gestremd zijn), de onderhouds-inspanningen aan de Krammersluis en de zoetbelasting van de Oosterschelde. Daarbij is de vraag in hoeverre de beschouwde calamiteitenpeilen haalbaar zijn en of de voorgestelde verlaging ook robuust is naar de toekomst: de verwachte klimaatveranderingen beïnvloeden namelijk de spui mogelijkheden bij de Krammersluizen (en de Bathse spuisluis). De gemiddelde waterstand op Oosterschelde (en Westerschelde) zal stijgen.

#### 2.1.1

#### DEVO

Om de consequenties van de verschillende calamiteitenpeilen op het Volkerak-Zoommeer (VZM) in beeld te brengen wordt gebruik gemaakt van het rekenmodel DEVO (Geerse et al, 2017). DEVO is een stochastisch rekenmodel voor de meerpeilstatistiek van het VZM, ontwikkeld door HKV in opdracht van Rijkswaterstaat. Daarnaast wordt DEVO gebruikt om de 'technische' haalbaarheid van de verlaging van het calamiteitenpeil te beoordelen.

In DEVO worden de volgende stochasten gehanteerd: Brabantse rivierafvoer, overige afvoer uit neerslag, buitenwaterstanden Westerschelde (Bathse spuisluis) en Oosterschelde (Krammersluizen), inzet van het VZM voor berging (in het kader van Ruimte voor de Rivier), wind en falen Bathse spuisluis. Hieronder volgt een overzicht van de rekeninstellingen voor de DEVO-berekeningen.

##### 1. Afvoer

In model DEVO wordt afvoerstatistiek voor de boezemafvoer (Dintel + Steenbergse Vliet) gebruikt die afkomstig is uit het probabilistisch model voor Brabant, beschreven in (Kuijper et al, 2014). Die statistiek is afgeleid van dagwaarden afkomstig uit een neerslag-afvoerberekening met een model van de periode 1902 - 2003. Het tijdsverloop van de afvoer is schematisch beschreven via een geknikt trapezium met een topduur van 18 uur. Voor meer details wordt verwezen naar paragraaf 3.1 van (Geerse

et al, 2017). De precieze invoerbestanden en invoerparameters m.b.t. de afvoer zijn terug te vinden in bijlage A en B van genoemd rapport.

## 2. Neerslag

Ten behoeve van het model DEVO is statistiek afgeleid voor de 20-daagse neerslagsom voor Zuid-Nederland (station Gilze-Rijen). Dat is gedaan door een exponentiële verdeling te fitten voor waarnemingen boven een zekere drempelwaarde, waarna een trendcorrectie is toegepast (verhoging van de statistiek met 14%) om statistiek te verkrijgen die representatief is voor het zichtjaar 2015. Net als bij de afvoer wordt voor het tijdsverloop van de neerslag uitgegaan van een geknikt trapezium, met een topduur van 3 dagen. De omrekening van het neerslagverloop naar een afwaterend debiet vindt plaats door de oppervlakte van het afwaterend gebied te verdisconteren. Voor meer details wordt verwezen naar paragraaf 3.2 van (Geerse et al, 2017). De precieze invoerbestanden en invoerparameters m.b.t. de neerslag zijn terug te vinden in bijlage A en B van genoemd rapport.

## 3. Correlatie afvoer en neerslag

In het model DEVO wordt de correlatie beschouwd tussen de stochasten boezemafvoer en de neerslag. Dat wordt gedaan met een versimpeld correlatiemodel, waarbij bij iedere (boezem)afvoer slechts twee mogelijke waarden voor de neerslag (20-daagse som) kunnen voorkomen, met kansen  $p$  en  $1-p$ . Een dergelijk correlatiemodel is ontwikkeld in (Van Haaren en Geerse, 2015), en met succes toegepast in (Geerse en Kuijper, 2015) op onder meer de correlatie tussen de IJsselafvoer en de neerslag van Noord-Nederland in het model DEZY. Voor meer details wordt verwezen naar paragraaf 3.3 van (Geerse et al, 2017). De precieze invoerbestanden en invoerparameters m.b.t. de correlatie zijn terug te vinden in bijlage A en B van genoemd rapport.

## 4. Wind en buitenwaterstanden

Voor de wind (stations Vlissingen en Tholen) en de buitenwaterstanden op de Westerschelde (Bathse spuisluis) en Oosterschelde (Krammersluizen) is een kansverdeling geconstrueerd op basis van beschikbare meetreeksen met uurwaarden over de periode 1989 t/m 2014. Op de gemeten waterstanden is een eenvoudige homogenisatie uitgevoerd richting het zichtjaar 2015 om rekening te houden met de zeespiegelstijging over deze periode (lineaire toename zeespiegelstijging van 20 cm in de afgelopen eeuw). Verder is in het model rekening gehouden met de correlatie tussen de Brabantse rivierafvoer en de zeewaterstand. Voor meer details wordt verwezen naar paragraaf 3.5 van (Geerse et al, 2017). De precieze invoerbestanden en invoerparameters m.b.t. de wind, buitenwaterstanden en correlatie met de afvoer zijn terug te vinden in bijlage A en B van genoemd rapport.

## 5. Bathse spuisluis

De spuiformules voor de Bathse spuisluis zijn terug te vinden in paragraaf 4.2.1 van (Geerse et al, 2017). In DEVO kan gerekend worden met mogelijk falen van de spuisluis. In dat geval moeten verschillende

faalmodi worden opgegeven, bestaande uit het aantal falende spuikokers en de bijbehorende hersteltijd. De precieze modellering wordt beschreven in hoofdstuk 6 van het genoemde rapport. De standaardinvoer met betrekking tot de faalmodi is gebaseerd op RCM-cost analyses. Zoals aangetoond in paragraaf 10.2 van (Geerse et al, 2017) is het meenemen van alleen faalmodus F20 representatief voor het beschouwen van alle faalmodi tegelijk. F20 betreft de faalmodus waarbij alle spuikokers uitvallen gedurende de volledige basisduur (20 dagen).

Voor inzet van de Bathse spuisluis wordt een streefpeil van NAP +0,10 m voor het VZM gehanteerd (m.a.w.: de spuisluis gaat afvoeren bij meerpeilen boven dit niveau). Voor deze quick-scan is besloten om te rekenen mét mogelijk falen van de Bathse spuisluis, waarbij (omwille van de rekentijd) alleen faalmodus F20 is meegenomen.

#### 6. Krammersluizen

De spuiformules voor de Krammersluizen zijn terug te vinden in paragraaf 4.2.3 van (Geerse et al, 2017). In paragraaf 5.2.2 van hetzelfde rapport wordt uitgelegd dat wordt gerekend met een start- en een stopcriterium voor inzet van de Krammersluizen. Dat wil zeggen: er wordt gespuid als het meerpeil hoger is dan de startwaarde voor spuien, standaard gelijk aan NAP +0,50 m. Het spuien wordt gestopt op het moment dat de stopwaarde wordt bereikt, standaard gelijk aan NAP +0,15 m. In deze quick-scan is de startwaarde voor spuien gelijk aan het calamiteitenpeil.

Het start- en stopcriterium voor de Krammersluizen vormen de aan te passen parameters als het gaat om het calamiteitenpeil. Hierbij moet eigenlijk rekening worden gehouden met het feit dat het calamiteitenpeil een lokale waterstand betreft (bij meetlocatie Nieuw Vossemeer) en het start- en het stopcriterium slaan op de ruimtelijk gemiddelde waterstand. Bovendien gaat het in het laatste geval om *optredende* meerpeilen, waar het calamiteitenpeil een *verwachte* waterstand betreft. De vertaling van het calamiteitenpeil naar de benodigde invoerparameters wordt tenslotte bemoeilijkt doordat geen duidelijk stopcriterium is vastgelegd in de calamiteitenregeling. Aangezien dit project een quick-scan betreft is op dit punt een pragmatisch uitgangspunt gekozen:

Besloten is, om in dit project het startcriterium voor de Krammersluizen gelijk te nemen aan het beschouwde calamiteitenpeil en het stopcriterium gelijk aan streefpeil (dat laatste heeft als consequentie dat wanneer de Krammersluizen eenmaal worden ingezet, wordt gespuid zolang het meerpeil boven streefpeil ligt).

#### 7. Inzet VZM voor waterberging

In het model DEVO kan gerekend worden met inzet van het VZM voor waterberging. De inzetfrequentie vormt hierbij een invoerparameter voor het model. De daadwerkelijke berekening maakt gebruik van de conditionele inzetkans gegeven de Brabantse rivierafvoer. Wanneer gerekend wordt met een andere inzetfrequentie dan de standaardwaarde

(1/1430), dan worden deze conditionele inzetkansen geschaald om op de juiste frequentie uit te komen. Voor deze quick-scan is gerekend met de standaardwaarde voor de inzetfrequentie.

Voor het doorrekenen van gebeurtenissen mét inzet van het VZM voor waterberging wordt gebruik gemaakt van een tijdreeks van waterstanden bij Rak Noord en gegeven spuiformules voor de Volkeraksluizen. Bij inzet van het VZM als berging worden de Volkeraksluizen geopend om water van het Hollandsch Diep te spuien richting het VZM. Na afloop van de storm(opzet) kunnen de sluizen worden gebruikt om water terug te spuien van het VZM naar het Hollandsch Diep. Enige tijd is dan (in DEVO) sprake van een open verbinding tussen beide zijden van de sluizen. Als het water op het VZM voldoende is gezakt worden de sluizen weer gesloten.

Voor meer details wordt verwezen naar paragraaf 3.6, paragraaf 4.2.2 en paragraaf 5.2.2 van (Geerse et al, 2017). De precieze invoerparameters zijn terug te vinden in bijlage B van het genoemde rapport.

#### 8. Streefpeil

Het streefpeil voor het VZM is gelijk aan NAP +0,10 m. Concreet wil dat zeggen, dat de Bathse spuisluis gaat afvoeren bij meerpeilen boven dit niveau. Binnen DEVO wordt de initiële waterstand op het VZM gelijk genomen aan NAP +0,10 m (zie paragraaf 5.2.3 van Geerse et al, 2017). Voor alle overige invoer zijn voor deze quick-scan standaardwaarden gebruikt conform bijlage A en B van het genoemde rapport.

### 2.1.2

#### Klimaatscenario's

Voor de huidige situatie is gebruik gemaakt van de standaard invoerstatistiek voor het model DEVO zoals hierboven beschreven (representatief voor het zichtjaar 2015). Daarnaast zijn berekeningen gemaakt voor de zichtjaren 2050 en 2085, waarbij telkens de zeespiegelstijging en de toename van de neerslag in rekening is gebracht.

- Voor de zeespiegelstijging zijn we uitgegaan van 5,5 mm/jaar over de periode 2015 tot 2050 en van 7,25 mm/jaar over de periode 2050 tot 2085. Deze getallen komen overeen met de gemiddelde verwachte zeespiegelstijging rond 2050 en 2085 volgens het KNMI'14  $W_H$  scenario. Dit leidt tot afgerond 20 cm over de periode 2015 tot 2050 en nog eens 25 cm over de periode 2050 tot 2085.
- De toename van neerslag is meegenomen door zowel de Brabantse rivierafvoer als de overige neerslagafvoer met een factor te vermenigvuldigen. Hierbij zijn we uitgegaan van een toename van 17% in 2050 en 30% in 2085, volgens het KNMI'14  $W_H$  scenario.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de aangenomen zeespiegelstijging en factoren voor toename van de afvoer/neerslag t.o.v. 2015.

Tabel 1  
Overzicht gebruikte  
zeespiegelstijging en  
toename afvoer/  
neerslag t.o.v.  
referentiejaar 2015

Zichtjaar	Zeespiegelstijging	Factor afvoer/ neerslag
2050	20 cm	1,17
2085	45 cm	1,30

### 2.1.3

### Uitvoer

Het belangrijkste rekenresultaat van DEVO betreft de overschrijdingsfrequenties van de maximale en de gemiddelde waterstand op het VZM. Aan de hand van de frequentielijnen kan worden nagegaan in hoeverre het beschouwde calamiteitenpeil is te handhaven. Daarnaast kan gedetailleerde modeluitvoer worden verkregen voor afzonderlijk doorgerekende gebeurtenissen. Dergelijke gebeurtenissen betreffen combinaties van de piekafvoer in Brabant, het neerslagvolume, de tijdreeks met wind en buitenwaterstanden, de faalmodus Bathse spuisluis en al dan geen inzet van het VZM voor waterberging. Deze gedetailleerde uitvoer bevat o.a. de tijdreeks van het spuivolume bij de Krammersluizen voor de betreffende gebeurtenis.

Binnen dit project willen we veranderingen kwantificeren van:

- a. Inzetfrequentie en – duur Krammersluizen;
- b. Spuivolumina.

Hiervoor is het niet voldoende om de tijdreeks van het spuivolume voor alle afzonderlijk doorgerekende gebeurtenissen te hebben. Per gebeurtenis moet op basis van de tijdreeks de inzetduur en het gemiddelde spuidebiet door de Krammersluizen worden bepaald, waarna deze gewogen worden over alle gebeurtenissen met behulp van de bijbehorende kansen. Hiervoor heeft een (relatief kleine) uitbreiding van de code plaatsgevonden. Het resultaat is dat per berekening wordt aangegeven:

- Met welke frequentie het spuien door de Krammersluizen is ingezet,
- De gemiddelde tijd dat wordt gespuid (als percentage van het winterhalfjaar), en
- Het gemiddelde debiet waarmee wordt gespuid.

Op basis van deze resultaten wordt een (beknopte) beschouwing gegeven van de consequenties voor de extra zoetbelasting Oosterschelde, de scheepvaart en voor de onderhoudsinspanningen aan de Krammersluizen. Verondersteld wordt het effect van de aanpassingen van het calamiteitenpeil op het energieverbruik van de Krammersluizen verwaarloosbaar is.

## 2.2

### Consequenties Mark-Dintel-Vliet boezem

Het verlagen van het calamiteitenpeil heeft potentiële baten voor de versterkingsopgave van de keringen langs de MDV-boezem en resulteert naar verwachting in lagere energiekosten en minder maalstops voor de gemalen langs de boezem.

Voor de huidige versterkingsopgave hebben we ons gebaseerd op het rapport "Hydraulische belasting Verbetering regionale keringen, deelgebieden Oost en West" (Arcadis, 2018). Om de versterkingsopgave om te rekenen naar dijkversterkingskosten maken we gebruik van de door het waterschap toegeleverde kosten-kentallen.

Om ook de dijkversterkingskosten in te schatten voor de situatie met een calamiteitenpeil van NAP +0,30 m en NAP +0,15 m gaan we uit van de verandering in maatgevende hoogwaterstanden (MHW's) door aanpassing van het calamiteitenpeil.

Er wordt vervolgens een (beknopte) beschouwing gegeven van de consequenties voor energiekosten van de poldergemalen, waarbij gebruik gemaakt wordt van de resultaten van DEVO (zie paragraaf 2.1.1), m.n. de frequentie waarmee de Krammersluizen worden ingezet afhankelijk van het beschouwde calamiteitenpeil.



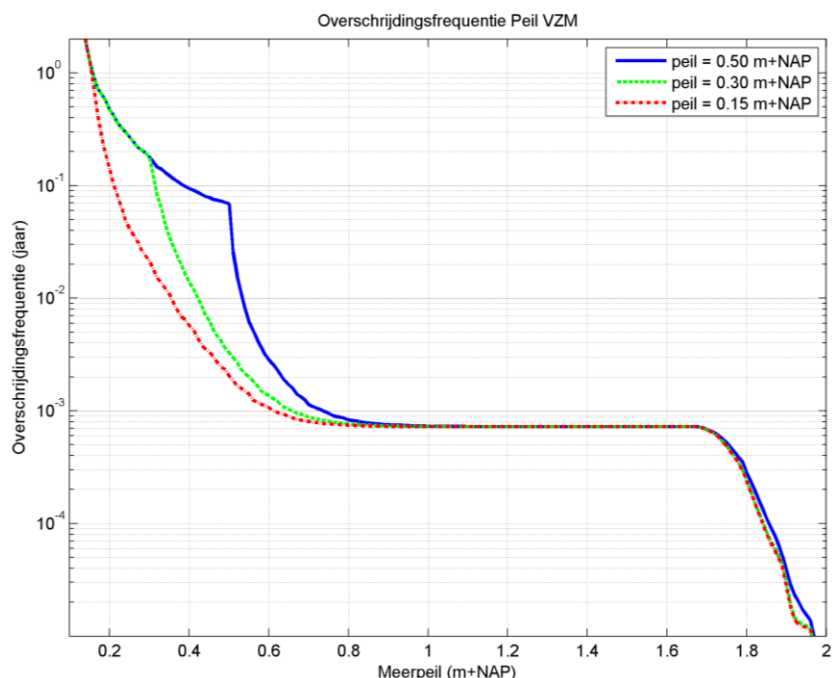
# 3 Resultaten

## 3.1 Consequenties Volkerak-Zoommeer

### 3.1.1 Resultaten huidige situatie

Onderstaande figuur geeft de overschrijdingsfrequentie van de waterstand op het VZM zoals berekend met DEVO bij de verschillende waarden voor het calamiteitenpeil. Voor de volledigheid merken we op, dat de sprong tussen meerpeil 0,8 en 1,8 m+NAP wordt veroorzaakt door meenemen van de inzet van het VZM voor berging (in het kader van RvdR), uitgaande van een inzetfrequentie van  $1/1430^e$  per jaar.

*Figuur 2  
Overschrijdings-  
frequentielijnen  
waterstand VZM,  
afhankelijk van  
calamiteitenpeil*



Onderstaande tabellen geven de waterstanden bij enkele herhalingstijden en informatie over jaarlijkse inzet van de Krammersluizen per calamiteitenpeil.

*Tabel 2  
Waterstanden VZM  
(m+NAP) per  
herhalingstijd,  
afhankelijk van  
calamiteitenpeil*

Herhalingstijd [jaar]	Calamiteitenpeil NAP +0,50 m	Calamiteitenpeil NAP +0,30 m	Calamiteitenpeil NAP +0,15 m
1	0,16	0,16	0,15
10	0,39	0,31	0,21
100	0,53	0,42	0,36
1000	0,74	0,66	0,61
10000	1,86	1,84	1,84

Tabel 3  
Kentallen inzet  
Krammersluizen,  
afhankelijk van  
calamiteitenpeil

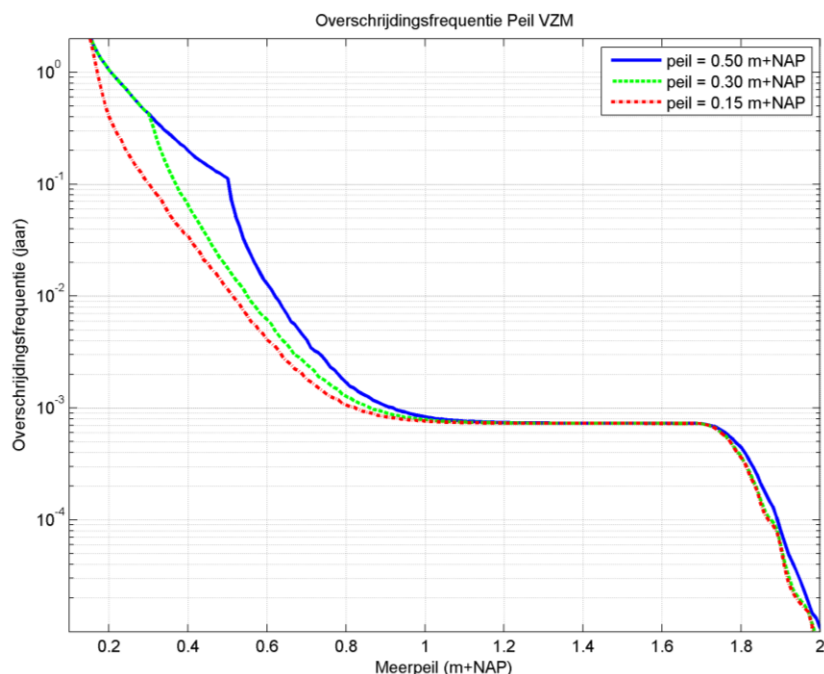
Inzet Krammersluizen	Calamiteitenpeil NAP +0,50 m	Calamiteitenpeil NAP +0,30 m	Calamiteitenpeil NAP +0,15 m
Frequentie / jaar	1/14,5	1/5,6	1,27
Gem. duur / jaar	2,2 uur	3,9 uur	9,5 uur
Gem. debiet / jaar	0,11 m <sup>3</sup> /s	0,20 m <sup>3</sup> /s	0,50 m <sup>3</sup> /s

### 3.1.2

## Resultaten zichtjaar 2050

Onderstaande figuur en tabellen geven dezelfde resultaten als in paragraaf 3.1.1, maar dan voor de situatie in het zichtjaar 2050. Hierbij is uitgegaan van 20 cm zeespiegelstijging en 17% toename van de afvoer en neerslag t.o.v. de huidige situatie. Voor de volledigheid merken we op, dat in deze berekeningen is uitgegaan van dezelfde inzetfrequentie van het VZM van 1/1430<sup>e</sup> per jaar, hoewel verwacht mag worden dat het VZM in de toekomst ook vaker ingezet wordt voor berging.

Figuur 3  
Overschrijdings-  
frequentielijnen  
waterstand VZM,  
afhankelijk van  
calamiteitenpeil  
(2050)



Tabel 4  
Waterstanden VZM  
(m+NAP) per  
herhalings-  
tijd,  
afhankelijk van  
calamiteitenpeil  
(2050)

Herhalings- tijd [jaar]	Calamiteitenpeil NAP +0,50 m	Calamiteitenpeil NAP +0,30 m	Calamiteitenpeil NAP +0,15 m
1	0,21	0,21	0,17
10	0,50	0,37	0,30
100	0,62	0,55	0,51
1000	0,92	0,86	0,82
10000	1,89	1,88	1,87

Tabel 5  
Kentallen inzet  
Krammersluizen,  
afhankelijk van  
calamiteitenpeil  
(2050)

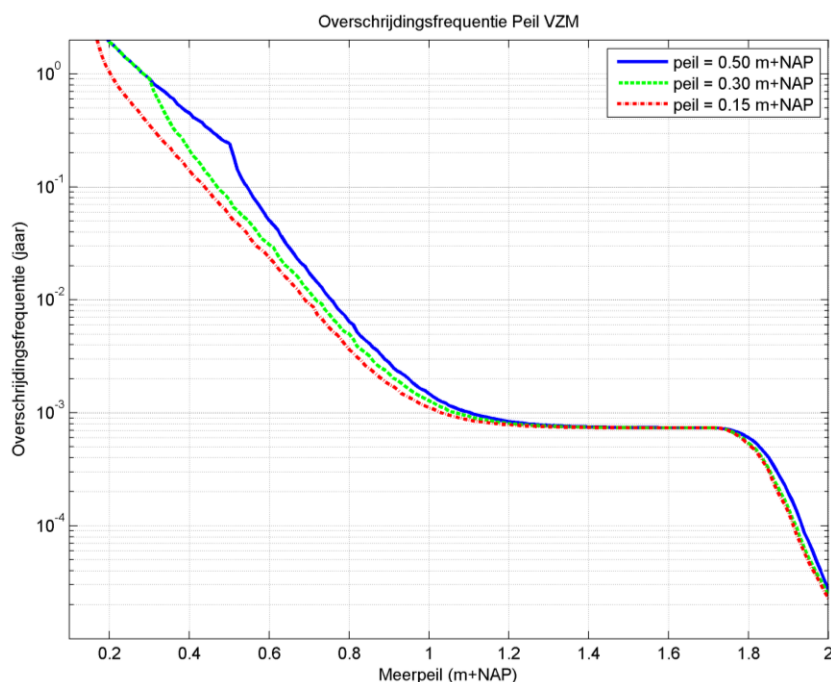
Inzet Krammersluizen	Calamiteitenpeil NAP +0,50 m	Calamiteitenpeil NAP +0,30 m	Calamiteitenpeil NAP +0,15 m
Frequentie / jaar	1/8,9	1/2,3	2,16
Gem. duur / jaar	3,5 uur	8,2 uur	19,0 uur
Gem. debiet / jaar	0,19 m <sup>3</sup> /s	0,43 m <sup>3</sup> /s	0,96 m <sup>3</sup> /s

### 3.1.3

## Resultaten zichtjaar 2085

Onderstaande figuur en tabellen geven dezelfde resultaten als in paragraaf 3.1.1, maar dan voor de situatie in het zichtjaar 2085. Hierbij is uitgegaan van 45 cm zeespiegelstijging en 30% toename van de afvoer en neerslag t.o.v. de huidige situatie. Voor de volledigheid merken we op, dat in deze berekeningen is uitgegaan van dezelfde inzetfrequentie van het VZM van 1/1430<sup>e</sup> per jaar, hoewel verwacht mag worden dat het VZM in de toekomst ook vaker ingezet wordt voor berging.

*Figuur 4  
Overschrijdings-  
frequentielijnen  
waterstand VZM,  
afhankelijk van  
calamiteitenpeil  
(2085)*



*Tabel 6  
Waterstanden VZM  
(m+NAP) per  
herhalingstijd,  
afhankelijk van  
calamiteitenpeil  
(2085)*

Herhalingstijd [jaar]	Calamiteitenpeil NAP +0,50 m	Calamiteitenpeil NAP +0,30 m	Calamiteitenpeil NAP +0,15 m
1	0,29	0,29	0,20
10	0,54	0,47	0,44
100	0,76	0,72	0,69
1000	1,10	1,07	1,03
10000	1,93	1,92	1,91

*Tabel 7  
Kentallen inzet  
Krammersluizen,  
afhankelijk van  
calamiteitenpeil  
(2085)*

Inzet Krammersluizen	Calamiteitenpeil NAP +0,50 m	Calamiteitenpeil NAP +0,30 m	Calamiteitenpeil NAP +0,15 m
Frequentie / jaar	1/4,1	1/1,1	3,69
Gem. duur / jaar	7,3 uur	17,7 uur	35,4 uur
Gem. debiet / jaar	0,37 m <sup>3</sup> /s	0,84 m <sup>3</sup> /s	1,65 m <sup>3</sup> /s

## Bespreking resultaten

Het verlagen van het calamiteitenpeil heeft vooral effect op gebeurtenissen die relatief vaak optreden. In de huidige situatie vertoont de frequentielijn bij een calamiteitenpeil van NAP +0,50 m een duidelijke knik (zie Figuur 2): tot circa eens in de 100 jaar wordt dit peil niet of nauwelijks overschreden. Bij een calamiteitenpeil van NAP +0,30 m is deze knik al minder duidelijk. De eens in de 100 jaar waterstand ligt daarbij op NAP +0,42 m. Bij een calamiteitenpeil van NAP +0,15 m is de knik nauwelijks meer zichtbaar en ligt de eens in de 100 jaar waterstand op NAP +0,36 m. De verlaagde calamiteitenpeilen zijn in die zin niet goed haalbaar; bij extremere gebeurtenissen zal de waterstand op het VZM toch significant hoger komen dan de waarde van het calamiteitenpeil.

In 2050 en 2085 zijn de calamiteitenpeilen (onder de aangenomen klimaatveranderingen) nog minder goed haalbaar. De knikken in de frequentielijnen worden steeds minder duidelijk (zie Figuur 3 en Figuur 4) en de eens in de 100 jaar waterstanden komen steeds dichter bij elkaar te liggen. In 2085 is de eens in de 100 jaar waterstand bij een calamiteitenpeil van NAP +0,50 m bijvoorbeeld gelijk aan NAP +0,76 m (ofwel 26 cm hoger dan de waarde van het calamiteitenpeil).

Dat de lagere calamiteitenpeilen minder goed haalbaar zijn heeft onder andere te maken met het feit dat bij lagere waterstanden minder goed gespuid kan worden. Dit wordt geïllustreerd in het voorbeeld van Figuur 5, waarin tijdsverlopen uit DEVO zijn te zien voor één specifieke gebeurtenis, bij verschillende waarden van het calamiteitenpeil.

Zodra de waterstand het calamiteitenpeil overschrijdt (de rode lijn in de onderste figuren ligt dan boven de paarse lijn), wordt er – indien mogelijk – gespuid bij de Krammersluizen (te zien aan de blauwe lijn in de bovenste figuren). In de onderste figuren is goed te zien, dat de waterstand in deze gebeurtenis steeds verder boven het calamiteitenpeil uitschiet, naarmate het calamiteitenpeil lager ligt. Dat heeft overigens ook te maken met het moment waarop het calamiteitenpeil wordt overschreden. Bij een hogere calamiteitenpeil ligt dat moment verder in de tijd, waardoor de piek van de neerslag-afvoergolf al voorbij is.

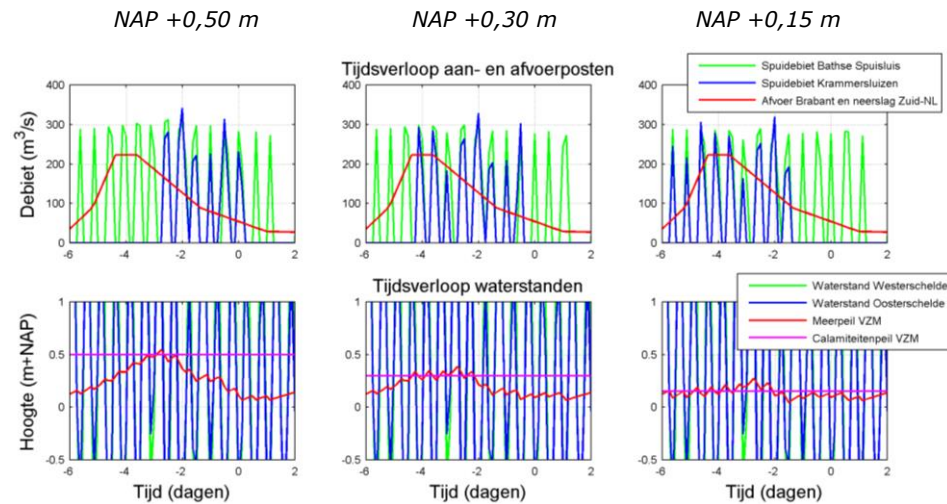
De inzetstrategie van de Krammersluizen is gebaseerd op twee regels:

1. Bij een verwachte waterstand bij Trambrug (Breda) van NAP +1,70 m of hoger i.c.m. een waterstand van NAP +0,15 m op het VZM;
2. Bij een verwachte waterstand bij Vossemeer van NAP +0,50 m of hoger.

In de quick-scan is alleen gekeken naar het overschrijden van het calamiteitenpeil. Als aangehouden wordt dat NAP +1,70 m bij Trambrug een 1:100 jaar gebeurtenis is, kan in 2085 de waterstand op het VZM niet beneden NAP +0,50 m gehouden worden (de gemiddelde waterstand op het VZM is NAP +0,69 m bij een calamiteitenpeil NAP +0,15 m en herhalingstijd van 100 jaar). In 2050 ligt deze gemiddelde waterstand net boven de NAP +0,50 m, in 2015 is dit NAP +0,36 m).

De waterstand NAP +1,70 m bij Trambrug komt overeen met een afvoer van circa 155 m<sup>3</sup>/s. Voor zichtjaren 2015 en 2050 treedt een overschrijding van NAP +0,50 m ook op bij lagere afvoeren. Met andere woorden een waterstand op het VZM van NAP 0,50 m kan ook optreden met een waterstand bij Trambrug lager dan NAP +1,70 m. Voor zichtjaar 2085 treedt overschrijding van NAP +0,50 m op het VZM op in combinatie met afvoer vanuit Brabant hoger dan 155 m<sup>3</sup>/s). Kortom, tussen 2050 en 2085 ligt het omslagpunt waarin de 1:100 waterstand op het VZM boven de NAP +0,50 m uitkomt.

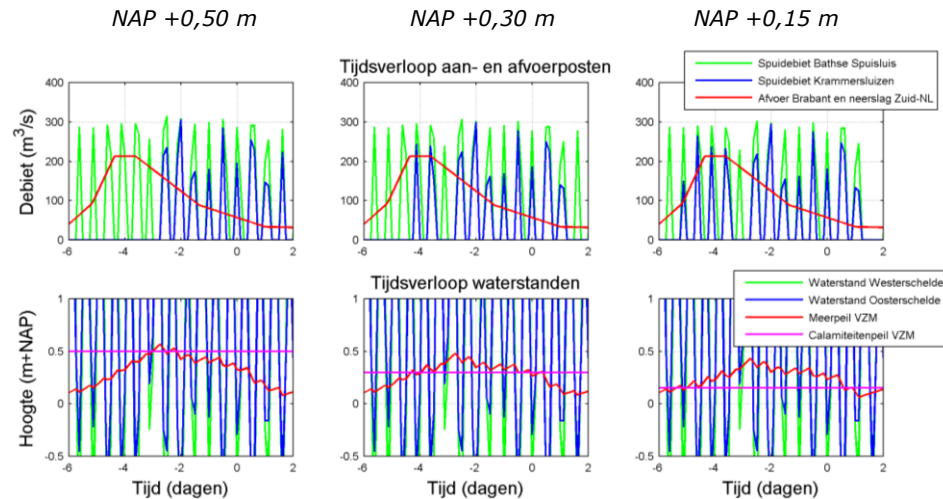
*Figuur 5  
Tijdsverlopen DEVO  
voor één specifieke  
gebeurtenis, bij  
verschillende  
calamiteitenpeilen*



Dat de calamiteitenpeilen in 2050 en 2085 minder goed haalbaar zijn dan in de huidige situatie heeft vooral te maken met de aangenomen zeespiegelstijging, waardoor er minder goed gespuid kan worden bij de Krammersluizen. Dit wordt geïllustreerd in het voorbeeld van Figuur 6. Dit betreft een gebeurtenis met een vergelijkbaar neerslag-afvoerverloop als in het voorbeeld van Figuur 5 en met eenzelfde verloop van de zeewaterstanden, met dit verschil dat de zeewaterstanden 45 cm zijn verhoogd (het verschil tussen 2085 en de huidige situatie).

In dit voorbeeld is duidelijk te zien dat met name de verlaagde calamiteitenpeilen veel verder worden overschreden dan in het voorbeeld van Figuur 5 (vrijwel zelfde situatie, maar met lagere zeewaterstanden). De piekwaterstanden in dit voorbeeld liggen veel dichterbij elkaar dan in het voorbeeld van Figuur 5. Verder is te zien dat er langer doorgespuid wordt bij de Krammersluizen.

*Figuur 6  
Tijdsverlopen DEVO  
voor specifieke  
gebeurtenis bij  
verhoogde  
zeewaterstanden*



### 3.1.5

### Beschouwing overige aspecten

Een verlaging van het calamiteitenpeil betekent dat de Krammersluizen intensiever worden gebruikt voor waterafvoer hetgeen consequenties heeft voor onderhoud van de Krammersluizen, de scheepvaart (de sluis zal vaker gestremd zijn) en de zoetwaterbelasting van de Oosterschelde.

De extra inzet van de Krammersluizen door een lager calamiteitenpeil betekent langere wachttijden voor de scheepvaart. In (Stratelligence, 2014) is berekend dat de 'kosten' voor extra wachttijd bij de Krammersluizen € 168 per uur zijn. Deze indicatie is overigens afgeleid voor zichtjaar 2030. De extra wachttijd is in het meest extreme geval (zichtjaar 2085 met laagste calamiteitenpeil) minder dan 36 uur per jaar, ofwel circa 6 duizend euro. De kosten voor de scheepvaart als gevolg van een lager calamiteitenpeil zijn dus verwaarloosbaar.

Voor de effecten van de zoetwaterbelasting van de Oosterschelde zijn geen kostengetallen beschikbaar (informatie Rijkswaterstaat). De maximale zoetwaterbelasting bij verlagen van het calamiteitenpeil is minder dan 250 duizend m<sup>3</sup> per jaar (36 uur met gemiddelde van 1,65 m<sup>3</sup>/s). Voor het IZZS<sup>1</sup> is gekeken naar de toelaatbare, structurele afvoer van zoet water naar de Oosterschelde. Daarbij is gekeken naar de verlaging van de chlorideconcentratie als gevolg van deze afvoer. Hierin is gesteld dat er geen schadelijke effecten zijn voor de natuur en de schelpdierkweek als de chlorideconcentratie van 14 g/l in het groeiseizoen en 11 g/l daarbuiten niet wordt overschreden. De structurele debieten van de Krammersluizen zijn 9 m<sup>3</sup>/s in het groeiseizoen en 29 m<sup>3</sup>/s daarbuiten. Incidenteel en gedurende een beperkte tijd een extra belasting (van minder dan 1,65 m<sup>3</sup>/s) zal hierop weinig effect hebben.

<sup>1</sup> innovatieve zout-zoutscheiding



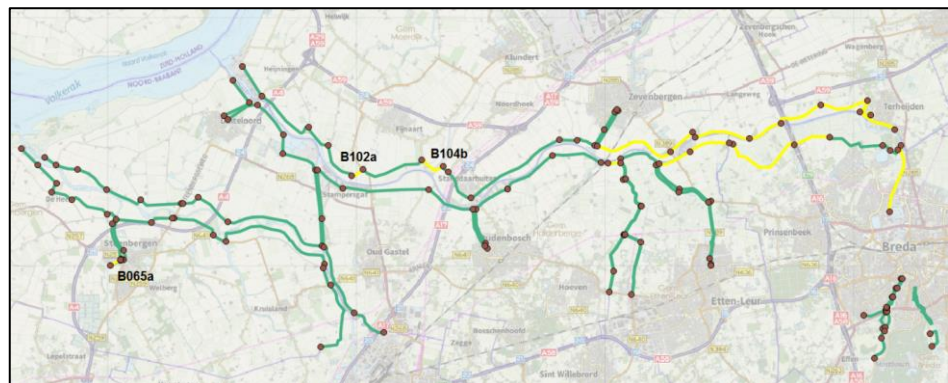
Een verlaging van het calamiteitenpeil heeft een beperkt effect op de inzet en duur van de Krammersluizen en zal geen significante extra onderhoudskosten met zich meebrengen.

### 3.2 Consequenties Mark-Dintel-Vliet boezem

#### 3.2.1 Dijkversterkingskosten

In deze quick-scan maken we een inschatting van de dijkversterkingskosten bij de verschillende waarden van het calamiteitenpeil. Hierbij baseren we ons op het rapport "Hydraulische belasting Verbetering regionale keringen, deelgebieden Oost en West" (Arcadis, 2018). In bijlage G van dit rapport (Resultaten benodigde ophoging) is voor 20 dijkvakken (per rekenpunt) de waarde aangegeven van de aanwezige kruinhoogte, de ontwerphoogte en de daaruit volgende ophoging. Deze dijkvakken zijn weergegeven in Figuur 7 (geel gekleurd). Zoals te zien in de figuur, liggen de betreffende dijkvakken allemaal oostelijk van Zevenbergen, met uitzondering van drie dijkvakken, te weten: B065a, B102a en B104b.

*Figuur 7  
Ligging dijkvakken  
uit bijlage G rapport  
"Hydraulische  
belasting  
Verbetering  
regionale keringen,  
deelgebieden Oost  
en West" (Arcadis,  
2018) – geel  
gekleurd*



Om de benodigde verhoging om te rekenen naar dijkversterkingskosten maken we gebruik van de door het waterschap toegeleverde kosten-kentallen (Douben, 2018) zoals weergegeven in Tabel 8. Dit betreft een globale kostenschatting, die alleen gebaseerd is op de benodigde dijkverhoging.

*Tabel 8  
Kosten-kentallen  
dijkverhoging  
regionale keringen  
(Douben, 2018)*

Verhoging regionale keringen (m)	Globale kosten excl. BTW (€/m')
0,0 - 0,1	695
0,1 - 0,2	730
0,2 - 0,3	775
0,3 - 0,4	820
0,4 - 0,5	945
0,5 - 0,6	1065
0,6 - 0,7	1110
0,7 - 0,8	1155
0,8 - 0,9	1215
0,9 - 1,0	1275
> 1,0	1520

Tabel 9 geeft de berekening van de dijkversterkingskosten op basis van de hierboven beschreven gegevens. Dit betreft dus de 20 dijkvakken uit bijlage G van (Arcadis, 2018), waarvoor de lengtes apart zijn toegeleverd door het waterschap. De genoemde ophoging in Tabel 9 komt overeen met de *gemiddelde ophoging* uit de tabel in bijlage G, waarbij – voor zover nodig – het gemiddelde is genomen over de verschillende rekenpunten per dijkvak.

Tabel 9  
Berekening  
dijkversterkingskost  
en referentie  
(calamiteitenpeil  
NAP +0,50 m)

Omschrijving dijkvak	Lengte (m)	Ophoging (m)	Klasse ophoging	Kosten ophoging (€/m')	Kosten dijkvak (miljoen €)
B065a - Doornedijkje	485	-	-	-	0,00
B097d - Goudbloemse Dijk	526	0,34	0,3 - 0,4	820	0,43
B098a - Zeedijk	1395	-	-	-	0,00
B098b - Zeedijk	1676	0,03	0,0 - 0,1	695	1,16
B098c - Zeedijk	150	0,60	0,5 - 0,6	1065	0,16
B098d - Zeedijk	3466	0,52	0,5 - 0,6	1065	3,69
B099a - Rooskensdonkdijk	1491	0,59	0,5 - 0,6	1065	1,59
B100b - Markdijk West	2796	0,79	0,7 - 0,8	1155	3,23
B102a - Kwartierse dijk	522	-	-	-	0,00
B104b - Blaakse dijk	1105	-	-	-	0,00
B112 - Markdijk (oostelijk van Nollekensas)	3360	-	-	-	0,00
B113 - Zuiddijk	1205	0,47	0,4 - 0,5	945	1,14
B114a - Markdijk (oostelijk van Roville)	2284	0,41	0,4 - 0,5	945	2,16
B114b - Markdijk (oostelijk van Roville)	244	0,04	0,0 - 0,1	695	0,17
B115 - Zonzeelse dijk	1466	0,51	0,5 - 0,6	1065	1,56
B116a - Markdijk (westelijk van Terheijden)	1989	0,72	0,7 - 0,8	1155	2,30
B116b - Markdijk (westelijk van Terheijden)	1952	0,34	0,3 - 0,4	820	1,60
B117a - Schansdijk	885	0,63	0,6 - 0,7	1110	0,98
B117b - Schansdijk	744	0,70	0,6 - 0,7	1110	0,83
B118 - Molenpolderkade	1317	0,70	0,6 - 0,7	1110	1,46



De totale dijkversterkingskosten worden volgens bovenstaande berekening ingeschat op € 22,5 miljoen. Dit betreft de kosten in de referentiesituatie (met een calamiteitenpeil van NAP +0,50 m). Door het waterschap is in de planvoorbereiding voor de verbetering van regionale keringen langs de Mark-Dintel-Vliet boezem een reservering gemaakt van ca. 40 miljoen euro. Om de resultaten vergelijkbaar met de planvorming van het waterschap te houden hanteren we een correctiefactor 1,75 (namelijk 40/22,5).

Om ook de dijkversterkingskosten in te schatten voor de situatie met een calamiteitenpeil van NAP +0,30 m en NAP +0,15 m maken we gebruik van door het waterschap toegeleverde Sobek-resultaten. Dit betreft berekende maatgevende hoogwaterstanden (MHW's) bij verschillende waarden voor het calamiteitenpeil (op basis van een 'dynamische golf'). Deze MHW's zijn voor de relevante dijkvakken opgenomen in Tabel 10. Bij het opstellen van deze tabel zijn de door Sobek berekende waterstanden telkens grofweg gemiddeld over alle uitvoerpunten langs het dijkvak.

*Tabel 10  
Maatgevende  
hoogwaterstanden  
(MHW's) in m+NAP  
per dijkvak en  
calamiteitenpeil*

Omschrijving dijkvak	Calamiteiten- peil NAP +0,50 m	Calamiteiten- peil NAP +0,30 m	Calamiteiten- peil NAP +0,15 m
B065a - Doornedijkje	0,58	0,40	0,28
B097d - Goudbloemse Dijk	1,34	1,29	1,25
B098a - Zeedijk	1,40	1,35	1,32
B098b - Zeedijk	1,43	1,38	1,35
B098c - Zeedijk	1,44	1,39	1,36
B098d - Zeedijk	1,45	1,41	1,38
B099a - Rooskensdonkdijk	1,53	1,50	1,47
B100b - Markdijk West	1,62	1,58	1,55
B102a - Kwartierse dijk	0,92	0,82	0,74
B104b - Blaakse dijk	1,03	0,94	0,87
B112 - Markdijk (oostelijk van Nollekensas)	1,36	1,30	1,27
B113 - Zuiddijk	1,41	1,36	1,33
B114a - Markdijk (oostelijk van Roville)	1,43	1,39	1,36
B114b - Markdijk (oostelijk van Roville)	1,42	1,37	1,34
B115 - Zonzeelse dijk	1,46	1,42	1,39
B116a - Markdijk (westelijk van Terheijden)	1,55	1,51	1,49
B116b - Markdijk (westelijk van Terheijden)	1,53	1,49	1,47
B117a - Schansdijk	1,56	1,53	1,50
B117b - Schansdijk	1,56	1,52	1,50
B118 - Molenpolderkade	1,57	1,54	1,51

Bij het bepalen van de dijkversterkingskosten is de verlaging van de MHW's bij een ander calamiteitenpeil rechtstreeks doorvertaald naar een verlaging van de ontwerphoogtes zoals genoemd in bijlage G van (Arcadis, 2018). Op deze manier is ook voor de calamiteitenpeilen NAP +0,30 m en NAP +0,15 m de ophoging per dijkvak bepaald, waarna de kostenberekening opnieuw is

uitgevoerd conform de wijze van Tabel 9. Dit geeft als resultaat voor de totale kosten:

- Calamiteitenpeil NAP +0,50 m: € 40,5 miljoen (1,75\*€ 22,5 miljoen)
- Calamiteitenpeil NAP +0,30 m: € 38,3 miljoen (1,75\*€ 21,3 miljoen)
- Calamiteitenpeil NAP +0,15 m: € 37,8 miljoen (1,75\*€ 21,0 miljoen)

### 3.2.2

#### Effect op poldergemalen

Het verlagen van het calamiteitenpeil resulteert naar verwachting in lagere energiekosten en minder maalstops voor de gemalen langs de boezem. Voor een eerste inschatting van de potentiële baten door lagere energiekosten redeneren we als volgt.

We nemen aan dat de gemalen in de huidige situatie grofweg de helft van de tijd aan het draaien zijn (dit geldt bijvoorbeeld voor gemaal De Pals uit door het waterschap toegeleverde gegevens over de periode 15-12-2014 t/m 2-7-2018), dus zeg in totaal 180 dagen per jaar. De gemiddelde opvoerhoogte is daarbij orde grootte 1 m (blijkt ook uit toegeleverde gegevens over de gemalen).

Voor de situatie met een verlaagd calamiteitenpeil geldt dat wanneer de Krammersluizen daadwerkelijk worden ingezet de boezemwaterstand lager wordt dan in de huidige situatie en daarmee dus ook de opvoerhoogte van de gemalen. Deze verlaging is maximaal gelijk aan de verlaging van het calamiteitenpeil. Bij een calamiteitenpeil van NAP +0,15 m valt dus de grootste winst te verwachten. De maximale verlaging van de opvoerhoogte is dan gelijk aan 0,35 m. Die verlaging treedt dus alleen op wanneer de Krammersluizen daadwerkelijk worden ingezet. Bij een calamiteitenpeil van NAP +0,15 m is dat het vaakst, ca. 1 tot 4 keer per jaar (afhankelijk van het beschouwde zichtjaar, zie Tabel 3, Tabel 5 en Tabel 7).

Het maximale effect op de energiekosten bestaat dus uit een verlaging van de opvoerhoogte met ca. 1/3, die ca. 4 keer per jaar, zeg 8 dagen, optreedt (als we even aannemen dat de waterstand door inzet van de Krammersluizen twee dagen lang verlaagd is ten opzichte van de huidige situatie, hetgeen wel als een bovengrens mag worden gezien). Uitgaande van een draaitijd van 180 dagen per jaar, treedt die verlaging van de opvoerhoogte dan ca. 4,5% van de tijd op. Dat betekent dat de opvoerhoogte gemiddeld over de tijd met maximaal 1,5% wordt verlaagd door verlaging van het calamiteitenpeil (95% van de tijd is er de maximale 100% opvoerhoogte en 4,5% van de tijd is 2/3 van de opvoerhoogte, ofwel gemiddeld  $95*1 + 4,5*2/3 = 98,5$  van de opvoerhoogte).

Aangezien het hier om een absolute bovengrensbepaling gaat, kunnen we concluderen dat de gemiddelde opvoerhoogte door aanpassing van het calamiteitenpeil vrijwel niet zal veranderen en dat de verlaging van de energiekosten verwaarloosbaar klein is.

Op basis van de beschikbare data zijn er geen conclusies te trekken over het effect van een lager calamiteitenpeil op de maalstops. Voor deze analyse zijn frequentielijnen nodig van boezemwaterstanden om de verlaging in maatgevende peilen te vertalen naar reductie van het aantal maalstops.



# 4 Conclusies en aanbevelingen

## 4.1

### Conclusies

De belangrijkste resultaten van deze quick-scan zijn:

1. De DEVO-resultaten laten zien dat verlaging van het calamiteitenpeil 'technisch' slecht haalbaar is. In de huidige situatie is het calamiteitenpeil van NAP +0,50 m redelijk goed haalbaar (tot ca. eens in de 100 jaar), maar voor de zichtjaren 2050 en 2085 geldt ook dat niet meer. Om dit toch te realiseren moet gedacht worden aan extra spui- en/of pompcapaciteit.
2. De gemiddelde inzetfrequentie, gemiddelde inzetduur en gemiddelde spui volumina van de Krammersluizen zijn erg beperkt. Zelfs in de meest extreme situatie (2085 met een calamiteitenpeil van NAP +0,15 m) gaat het nog slechts om 3,69x per jaar (35,4 uur) en een tijdgemiddelde afvoer van 1,65 m<sup>3</sup>/s.
3. Door de beperkte extra inzetfrequentie en -duur van de Krammersluizen heeft de verlaging van het calamiteitenpeil weinig effect op de onderhoudskosten en de extra zoetwater belasting van de Oosterschelde. De kosten van oplopende wachttijden voor de scheepvaart bij de Krammersluizen zijn verwaarloosbaar (circa 6 duizend euro per jaar).
4. Volgens de globale kostenschatting resulteert een verlaging van het calamiteitenpeil naar NAP +0,30 m in ca. € 2,2 miljoen lagere dijkversterkingskosten, en een verlaging van het calamiteitenpeil naar NAP +0,15 m in ca. € 2,7 miljoen lagere dijkversterkingskosten. Dit is relatief weinig (minder dan 7%) t.o.v. de geschatte originele dijkversterkingskosten.
5. Met een bovengrensbenadering is aangetoond dat de opvoerhoogte van de gemalen langs de MDV-boezem gemiddeld over de tijd met maximaal 1,5% wordt verlaagd door verlaging van het calamiteitenpeil. Op basis hiervan kunnen we concluderen dat de gemiddelde opvoerhoogte door aanpassing van het calamiteitenpeil vrijwel niet zal veranderen en dat de verlaging van de energiekosten verwaarloosbaar klein is.

Samenvattend betekent dit dat het verlagen van het calamiteitenpeil op het Volkerak-Zoommeer geen kosteneffectieve maatregel is, met name omdat door de klimaatveranderingen de verlaging van het calamiteitenpeil niet robuust is.

## Aanbevelingen

Gezien de effecten van klimaatveranderingen op het waterbeheer van het Volkerak-Zoommeer wordt aanbevolen nut en noodzaak van extra afvoermogelijkheden nader te onderzoeken. Naast het fysiek vergroten van de afvoercapaciteit kan hierbij ook gekeken worden naar mogelijkheden voor het verkleinen van de faalkans en –duur van de Bathse spuisluis. Uit eerder onderzoek (Kuijper et al, 2014) is bekend dat falen een sterke invloed heeft op het beheersen van de waterstand op het Volkerak-Zoommeer.

De grootste winst bij het verlagen van het calamiteitenpeil is in situaties die relatief vaak voorkomen, d.w.z. met herhalingstijden tussen de 10 en 100 jaar. Dit maakt het interessant om te onderzoeken of een verlaging van het calamiteitenpeil juist de pijn van de meest voorkomende situaties van regionale wateroverlast kan verkleinen. Vooral omdat de nadelen ten gevolge van het inzetten van de Krammersluizen als spuimiddel (zoetwaterlast Oosterschelde, scheepvaartstremmingen, etc.) meevallen. Hierbij kan gezocht worden naar het optimale calamiteitenpeil, om een juiste balans tussen voor- en nadelen te vinden.

Het effect van het verlagen van het calamiteitenpeil op de overschrijdingsfrequentie van waterstanden op het Volkerak-Zoommeer roepen vragen op die buiten de scope van de quick-scan vielen, maar aanleiding zijn voor aanvullend onderzoek. Dit betreft:

- In de berekeningen is uitgegaan van een inzetfrequentie van het Volkerak-Zoommeer voor waterberging van  $1/1430^e$  per jaar. Interessant is om te onderzoeken hoe de overschrijdingsfrequentie van het Volkerak-Zoommeer verandert als deze inzetfrequentie verandert;
- Het klimaat heeft een sterke invloed op de overschrijdingsfrequentie van het VZM. In de quick-scan is uitgegaan van  $W_H$  als worst-case benadering. Het verdient aanbeveling de gevoeligheid van op de klimaatscenario's op de overschrijdingsfrequentie van het Volkerak-Zoommeer beter in beeld te brengen;
- Aanbevolen wordt om de effectiviteit van 'Slim Watermanagement' maatregelen, zoals bijvoorbeeld 'voorspuien', op de overschrijdingsfrequentie van het Volkerak-Zoommeer te kwantificeren.

# 5 Referenties

## **Arcadis, 2018**

Egon Bijlsma en Laura Vosteryte. *Hydraulische belasting (16IT007624); Verbetering regionale keringen, deelgebieden oost en west*. Arcadis, rapport 079733752. In opdracht van Waterschap Brabantse Delta. Februari 2018.

## **Douben, 2018**

Klaas-Jan Douben. *Schatting verhoging regionale keringen Brabantse Delta per dijkvak en schatting globale kosten per m'*. Waterschap Brabantse Delta, 29 juni 2018.

## **Geerse en Kuijper, 2015**

Chris Geerse en Bastiaan Kuijper. *Probabilistisch model frequentielijnen IJsselmeergebied; Hoofdrapport van model DEZY*. HKV lijn in water, rapport PR3013.10. In opdracht van Rijkswaterstaat-WVL. Mei 2015.

## **Geerse et al, 2017**

Chris Geerse, Dirk van Haaren en Bastiaan Kuijper. *Probabilistisch model meerpeilstatistiek Volkerak-Zoommeer (DEVO); Versie 2.1*. HKV lijn in water, rapport PR3689.10. In opdracht van Rijkswaterstaat-WVL. December 2017.

## **Kuijper et al, 2014**

Bastiaan Kuijper, Chris Geerse, Jan Stijnen, Ton Botterhuis, Rudolf Versteeg, Matthijs Duits en Iris Vreugdenhil. *Effect waterberging Volkerak-Zoommeer op waterstanden Mark-Dintel-Vliet boezem; Aanvullende analyses*. HKV lijn in water, rapport PR2904.10. In opdracht van Rijkswaterstaat-RvdR. Oktober 2014.

## **Stratelligence, 2014**

Gigi van Rhee, *MKBA bij Rijksstructuurvisie Grevelingen en Volkerak-Zoommeer*. Stratelligence. In opdracht van Kernteam Rijksstructuurvisie Grevelingen en Volkerak-Zoommeer. Juli 2015.

## **Van Haaren en Geerse, 2015**

Dirk van Haaren en Chris Geerse. *Correlaties neerslag, afvoer en zeewaterstand IJsselmeergebied*. HKV lijn in water, rapport PR3042.10. In opdracht van Rijkswaterstaat-WVL. Mei 2015.



### **Hoofdkantoor**

HKV lijn in water BV  
Botter 11-29  
8232 JN Lelystad  
Postbus 2120  
8203 AC Lelystad

### **Nevenvestiging**

Elektronicaweg 12  
2628 XG Delft

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