

**VEILIGHEIDSPPLAN II
EINDCONCEPT ONDERZOEKSRAPPORT**

WETTERSKIP FRYSLAN

12 november 2014

: - Concept

C01012.100102.



Samenvatting

Het Veiligheidsplan II geeft uitsluitsel over het beleid en de maatregelen (inrichtings- en beheermaatregelen) om wateroverlast op korte en langere termijn tegen te gaan binnen de provinciale kaders ten aanzien van wateroverlast en veiligheidsnormen inclusief kosten en baten van de maatregelen en andere criteria. In het kader van het Veiligheidsplan II zijn voor het boezemsysteem berekeningen uitgevoerd met een verbeterd rekenmodel en zijn de nieuwste klimaatscenario's en statistische methoden toegepast om maatgevende boezemwaterstanden in hoogwatersituaties te bepalen. Hiermee is inzicht ontstaan in de kans op wateroverlast in de periode 2015-2050. Bovendien is de effectiviteit van maatregelen (en maatregelenpakketten) om wateroverlast te voorkomen beoordeeld.

Algemene uitgangspunten

Voor de berekeningen van de huidige en toekomstige situatie en de effectiviteit van de maatregelen zijn de volgende algemene uitgangspunten gehanteerd:

- De te realiseren maatregelen in boezem en deelsystemen zijn gebaseerd op de provinciale normen voor boezemkaden en regionale wateroverlast;
- Het kadeherstelprogramma wordt uiterlijk in 2027 voltooid op basis van de in 2002 vastgestelde Gemiddelde Maatgevende Boezemwaterstand van 0,16 m minus N.A.P.;
- De volgende leidende principes uit de eerder uitgevoerde studie VBA:
 - De trits vasthouden, bergen en afvoeren (VBA);
 - No-regret, alleen “geen spijt” maatregelen toepassen;
 - Integraliteit en integraal werken;
- De keuze en prioritering van maatregelen is gebaseerd op kosten en effectiviteit;

Onderzoek boezem

Voor de studie zijn probabilistische analyse uitgevoerd de huidige en toekomstige situatie, doorgerekend met de recent gepubliceerde KNMI-klimaatscenario's (W_L -scenario).

Huidige en toekomstige situatie

Uit de berekeningen blijkt dat:

- in 2015 de gemiddelde maatgevende boezemwaterstand (GMB) 2 cm onder de gemiddelde kadehoogte blijft. De boezemwaterstanden kunnen met de bestaande afvoer- en bergingsvoorzieningen onder de genormeerde kadehoogte worden gehouden. Het boezemsysteem voldoet in 2015 aan de norm.
- het boezemsysteem zonder verdere watersysteemmaatregelen in 2050 niet meer aan de veiligheidsnormen voldoet. De maatgevende boezemwaterstanden zijn in 2050 ca. 12 cm hoger dan in de huidige situatie en 10 cm hoger dan de gemiddelde kadehoogte.

De conclusie is dat voor de boezem in de komende 35 jaar maatregelen moeten worden getroffen om de gevolgen van klimaatontwikkeling tot 2050 te compenseren. Er moet een opgave van 10 cm worden gecompenseerd met maatregelen.

Maatregelen

Uit modelberekeningen blijkt dat geen enkele individuele maatregel voldoende effectief is om de stijging van de gemiddelde maatgevende boezemwaterstand als gevolg van klimaatontwikkeling te compenseren. De individuele maatregelen zijn onderling vergeleken op basis van effectiviteit (verlaging van maatgevende waterstand op de boezem), kosten en overige effecten. Alle maatregelen zijn doorgerekend

voor 2 verschillende hoogwatergebeurtenissen die beide een statistische kans van 1 keer per 100 jaar hebben. De gebeurtenissen onderscheiden zich door gestremde, dan wel niet gestremde lozing, de hoeveelheid neerslag en de windkracht uit zuidwestelijke richting. Uit modelberekeningen blijkt dat geen enkele individuele maatregel voldoende effectief is om de stijging van de gemiddelde maatgevende boezemwaterstand als gevolg van klimaatontwikkeling te compenseren. De meest kansrijke (en daarmee over het algemeen meest kosteneffectieve) maatregelen zijn daarom gebundeld in maatregelenpakketten.

Maatregelenpakketten

De volgende maatregelenpakketten zijn doorgerekend:

- a. Boezemuitbreiding, bergen in natuurgebieden en bufferen in deelsystemen (kosten € 21 miljoen);
- b. Boezemuitbreiding, bergen in natuurgebieden en het gemaal Lauwersoog (kosten € 66 miljoen)
- c. Boezemuitbreiding, bergen in natuurgebieden en gemaal Holwerd (kosten € 85 miljoen);
- d. Boezemuitbreiding, bergen in natuurgebieden en gemaal Harlingen (kosten € 48 miljoen).

De 4 pakketten zijn op basis van effectiviteit en de leidende principes (met name de trits vasthouden, bergen en afvoeren, integraliteit en het geen spijt principe) gekozen. In alle pakketten is het huidige anticiperende peilbeheer meegenomen.

De onderlinge vergelijking van de maatregelenpakketten wijst uit dat op de lange termijn het maatregelenpakket d.) het meest aantrekkelijk is. Dit pakket bestaat uit:

- het realiseren van 600 hectare boezemuitbreiding;
- het inrichten van 1500 hectare waterberging in natuurgebieden en
- het realiseren van een gemaal Harlingen met een capaciteit van 30 m³/s.

Het watersysteem voldoet hiermee aan de veiligheidsnormen tot na het zichtjaar 2050. Op de korte termijn is het bufferen in deelsystemen en het realiseren van waterberging in natuurgebieden het meest effectief. De fasering van de maatregelen in het voorkeursalternatief is als volgt:

- *Tot 2025 bufferen in deelsystemen:* Zolang het kadeherstelprogramma niet is voltooid, is het bufferen in de deelsystemen noodzakelijk om aan de norm te voldoen. Dit biedt de ruimte om waterberging en boezemuitbreiding gefaseerd aan te leggen, waardoor synergievoordelen kunnen worden gezocht.
- *Vanaf 2018 inrichten van bergingsgebieden:* Vanaf 2018 wordt geleidelijkerwijs 1500 hectare waterberging gerealiseerd in natuurgebieden. De waterberging is in 2035 voltooid. Als gevolg van de waterberging en het voltooiën van het kadeherstelprogramma is vanaf 2025 het bufferen niet meer noodzakelijk.
- *In 2035 realiseren van extra gemaalcapaciteit:* In 2035 wordt een gemaal Harlingen gerealiseerd met een capaciteit van 30 m³/s.

Indien op korte termijn extra veiligheid gewenst is, is het versnellen van het kadeherstelprogramma de meest effectieve oplossing.

Droge voeten

De berekeningen voor het Veiligheidsplan zijn uitgevoerd in samenhang met het project Droge Voeten 2050. De resultaten van beide onderzoeken zijn afgestemd. De maatregelen die in het kader van Droge Voeten 2050 worden gerealiseerd, hebben geen consequenties voor onze afwatering naar het Lauwersmeer. De maatregelen uit het Veiligheidsplan II hebben geen negatieve gevolgen voor de afwatering van waterschap Noorderzijlvest naar het Lauwersmeer.

Onderzoek deelsystemen

Voor alle deelsystemen geldt tevens op basis van het huidige waterschapsbeleid dat de kans op wateroverlast niet mag verslechteren door de klimaatontwikkeling. Ook daarvoor moeten maatregelen getroffen worden. Om klimaatontwikkeling te compenseren is volgens het bestaande beleid realisatie van 1% extra berging (van gemiddeld 2% naar 3%) in de deelsystemen noodzakelijk tot 2030.

Onderzocht is welke maatregelen het meest (kosten)effectief zijn om de klimaatontwikkeling te compenseren. Voor de deelsystemen zijn berekeningen uitgevoerd om de effectiviteit van maatregelen te bepalen. Het gaat om de maatregelen:

- extra maalcapaciteit;
- water vasthouden met behulp van geautomatiseerde stuwen;
- waterberging door het verbreden van hoofdwatgangen

Uit de berekeningen blijkt dat waterberging de meest effectieve maatregel is van de drie. Het automatiseren van stuwen is minder effectief. Het vergroten van maalcapaciteit heeft onvoldoende effect om wateroverlast te voorkomen, maar verkort wel de duur daarvan. Geen enkele maatregel is kosteneffectief, waterberging is van de drie maatregelen de meest kosteneffectieve. Uit de situatie die doorgerekend blijkt verder dat 1 % extra waterberging voor een overcompensatie van de klimaatontwikkeling kan zorgen.

De conclusie is dat:

- Waterberging de meest effectieve maatregel is om wateroverlast te voorkomen;
- Geen enkele maatregel om klimaatontwikkeling te compenseren kosteneffectief is;
- Het huidige beleid om wateroverlast in deelsystemen tegen te gaan wordt voortgezet, waarbij in de keuze en fasering van maatregelen rekening wordt gehouden met de (kosten)effectiviteit..

Inhoud

Samenvatting	1
1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding.....	7
1.2 Doel.....	7
1.3 Proces.....	8
1.4 Leeswijzer.....	8
2 Huidige situatie	9
2.1 Beschrijving beheergebied.....	9
2.2 Peilbeheer.....	10
2.3 Samenvatting VBA en veiligheidsplan 2008.....	11
2.4 Voortgang uitvoering Veiligheidsplan 2008.....	12
2.5 Evaluatie: beleid en maatregelen.....	12
3 Uitgangspunten	13
3.1 Beleidsmatige uitgangspunten.....	13
3.2 Klimaatontwikkeling.....	14
3.3 Modellerings.....	16
3.3.1 Modelsoftware.....	16
3.3.2 Stochastische analyse.....	16
3.3.3 Gemiddelde maatgevende boezemwaterstand.....	17
3.4 Relatie met andere projecten.....	17
3.4.1 Toekomstbestendig watersysteem.....	18
3.4.2 Veenweidevisie.....	18
3.4.3 Kadeherstelprogramma.....	18
3.4.4 Stroomgebiedsbeheerplannen (Kaderrichtlijn Water).....	18
3.4.5 Differentiatie regionale keringen.....	19
3.4.6 Lokale kaden.....	19
3.4.7 Droge Voeten 2050.....	19
4 Resultaten waterveiligheid boezem	20
4.1 Huidige toestand.....	20
4.1.1 Gemiddeld boezempeil.....	20
4.1.2 Coïncidentie.....	21
4.1.3 Opgave huidige toestand (zichtjaar 2015).....	22
4.2 Zichtjaar 2050.....	22
4.2.1 Gemiddeld boezempeil.....	23
4.2.2 Opgave zichtjaar 2050.....	23
4.3 Kansrijke maatregelen en pakketten.....	25
4.3.1 Vergelijking van individuele maatregelen.....	26
4.3.2 Verkennende maatregelpakketten.....	27
4.4 Maatregelenpakketten.....	29
4.4.1 Vergelijking effectiviteit.....	30

4.4.2	Vergelijking Effectiviteit	33
4.4.3	Kostenbatenanalyse	36
4.4.4	Kosteneffectiviteit	38
4.4.5	Maatschappelijke kostenbatenanalyse	39
4.4.6	Multicriteria analyse	40
4.5	Voorkeursalternatief.....	40
5	Resultaten deelsystemen	42
5.1	Toestand deelsystemen in 2030.....	42
5.2	Maatregelen studie vasthouden, bergen en afvoeren 2006	43
5.3	Effectiviteit en kostenbatenanalyse maatregelen.....	44
5.4	Normopgave	44
5.5	Klimaatopgave	45
5.6	Overzicht maatregelen deelsystemen	46
6	Conclusies	47
6.1	Waterveiligheid boezem	47
6.1.1	Op lange termijn onvoldoende veilig.....	47
6.1.2	Voorkeurspakket maatregelen	48
6.1.3	Relatie kadeherstelprogramma	48
6.1.4	Versnelde realisatie gemaal Harlingen Versus kadeherstel	49
6.1.5	Fasering	49
6.2	Klimaatontwikkeling en wateroverlast deelsystemen.....	50
6.3	Financiële consequenties.....	51
6.3.1	Lasten- en tariefontwikkeling op lange termijn.....	51
7	Vervolg.....	53
7.1	Plan van aanpak aanwijzing en inrichting waterbergingsgebieden	53
7.2	Peilbesluit boezem	53
7.3	Uitwerking bufferen in deelsystemen.....	53
7.4	Optimaliseren operationeel peilbeheer en calamiteitenmanagement.....	54
7.5	Leidraad inrichting landelijk gebied	54
7.6	Waterakkoorden	54
7.7	Cyclische toetsing situatie boezem en deelsystemen	54
7.7.1	Indicatoren voor voortgang en evaluatie.....	55
	Literatuurlijst	56
Bijlage 1	Second opinion Deltares.....	57
Bijlage 2	Rapport waterberging in natuurgebieden	58
Bijlage 3	Factsheets individuele maatregelen.....	59
Bijlage 4	Rapport gemaal Lauwersoog.....	60
Bijlage 5	Advies Droge Voeten 2050.....	61
Bijlage 6	Coincidentieonderzoek.....	62

1 Inleiding

1.1 AANLEIDING

In 2008 is het vigerende veiligheidsplan door het Algemeen Bestuur van het waterschap vastgesteld. In het veiligheidsplan is beleid opgenomen om wateroverlast als gevolg van klimaatontwikkeling, zeespiegelstijging en bodemdaling te voorkomen. Het veiligheidsplan is een aanvulling en wijziging op het in 2006 genomen AB-besluit over de studie VBA. Sinds 2008 hebben zich diverse ontwikkelingen voorgedaan, die om een herbeschouwing van het veiligheidsplan uit 2008 vragen.

De belangrijkste ontwikkelingen zijn hieronder opgesomd:

- Het veiligheidsplan is in 2012 geëvalueerd en op basis van de uitkomsten van deze evaluatie zijn een aantal vraagstukken en vervolgacties geformuleerd. Als belangrijkste actie wordt de uitvoering van een nieuwe optimalisatiestudie naar de afwatering van het beheergebied genoemd, waarin onderzoek wordt gedaan naar maatregelen voor de boezem, de deelsystemen en de kaden.
- Eind 2012 is duidelijk geworden dat versnelde realisatie van het Lauwersooggemaal in 2015 niet haalbaar is.
- In de provincies Groningen en Drenthe wordt de studie 'Droge Voeten 2050' uitgevoerd. In deze studie worden maatregelen bekeken om wateroverlast in Groningen en Drenthe te voorkomen. In de studie wordt ook de afwatering naar het Lauwersmeer en het gemaal Lauwersoog onderzocht. Hierdoor is er een relatie met het Veiligheidsplan. Het waterschap is betrokken bij de studie.
- In juni 2014 heeft het KNMI de nieuwste klimaatscenario's ("KNMI'14") gepresenteerd. Deze klimaatscenario's wijken af van de klimaatscenario's die voor de studie VBA en het Veiligheidsplan zijn gebruikt.

Bovenstaande ontwikkelingen zijn aanleiding geweest om het Veiligheidsplan 2008 te actualiseren. Het geactualiseerde Veiligheidsplan wordt in dit rapport als Veiligheidsplan II aangeduid

1.2 DOEL

Het Veiligheidsplan II geeft uitsluitel over het beleid en de maatregelen (inrichtings- en beheermaatregelen) om wateroverlast op korte en langere termijn tegen te gaan binnen de provinciale kaders ten aanzien van wateroverlast en veiligheidsnormen inclusief kosten en baten van de maatregelen en andere criteria. Daarnaast wordt de relatie met het kadeherstelprogramma toegelicht en eventuele fasering weergegeven. Als zichtjaar voor de langere termijn wordt het jaar 2050 gehanteerd. Als referentiejaar is ook het jaar 2030 gebruikt om de verschillen met de opgave en maatregelen uit het Veiligheidsplan uit 2008 te duiden. Klimaatontwikkeling en andere autonome ontwikkelingen zijn in de advisering meegenomen.

Wateroverlast versus waterveiligheid

In deze studie worden de termen wateroverlast en (water)veiligheid. Voor de waterveiligheid van de Friese boezem is voor regionale keringen een veiligheidsnorm afgesproken. Deze norm is gebaseerd op een gewenst veiligheidsniveau, waarbij zowel gekeken is naar de economische schade als het veiligheidsrisico. Bij wateroverlast betreft het zuiver economische schade, waarbij nauwelijks een veiligheidsrisico bestaat. Dit is bijvoorbeeld het geval als inundatie optreedt vanuit het regionale watersysteem. Voor delen van het Friese boezem is het veiligheidsrisico dermate laag dat ook bij het falen van een regionale kering eerder sprake is van wateroverlast dan van onvoldoende waterveiligheid bij doorbraak van een regionale kering.

1.3 PROCES

Voor het Veiligheidsplan II is een aantal maatregelen voor de boezem en de deelsystemen onderzocht. Voor het onderzoek zijn berekeningen met het SOBEK-rekenmodel uitgevoerd en zijn de gevolgen van de maatregelen in beeld gebracht. Van veel maatregelen is de nodige informatie bekend, omdat hier al eerder onderzoek naar is gedaan. De maatregelen zijn vervolgens op verschillende niveaus onderling vergeleken:

- Kosten en baten van een maatregel voor het waterschap (KBA). Het gaat bijvoorbeeld om de investeringskosten en eventuele besparingen op andere maatregelen of onderhoudskosten;
- Kosten en baten van een maatregel voor de maatschappij (MKBA). Het gaat bijvoorbeeld om meer of minder nat- c.q. droogteschade met consequenties voor de gewasopbrengst;
- Overige effecten zoals het effect op ecologie, duurzaamheid etc. (MCA). Het gaat om effecten die niet op geld waardeerbaar zijn.

Uit de maatregelen voor de boezem zijn diverse maatregelenpakketten samengesteld. Deze pakketten zijn opnieuw doorgerekend en beschouwd op bovenstaande aspecten. Er is gekeken naar de effectiviteit en kostenbatenverhouding van de maatregelen voor de deelsystemen. Op 16 juni 2014 is een tussentijdse rapportage in de gezamenlijk commissies behandeld. De methodieken en uitkomsten van het onderzoek zijn door kennisinstituut Deltares daarna beoordeeld. Hun aanbevelingen zijn waar mogelijk meegenomen in het verdere traject van het Veiligheidsplan II.

Op basis van de uitkomsten zijn door het bestuur keuzes gemaakt over de te nemen maatregelen en de termijnen waarbinnen deze maatregelen worden gerealiseerd. De maatregelen uit het Veiligheidsplan II worden opgenomen in het nieuwe waterbeheerplan 2016-2021.

1.4 LEESWIJZER

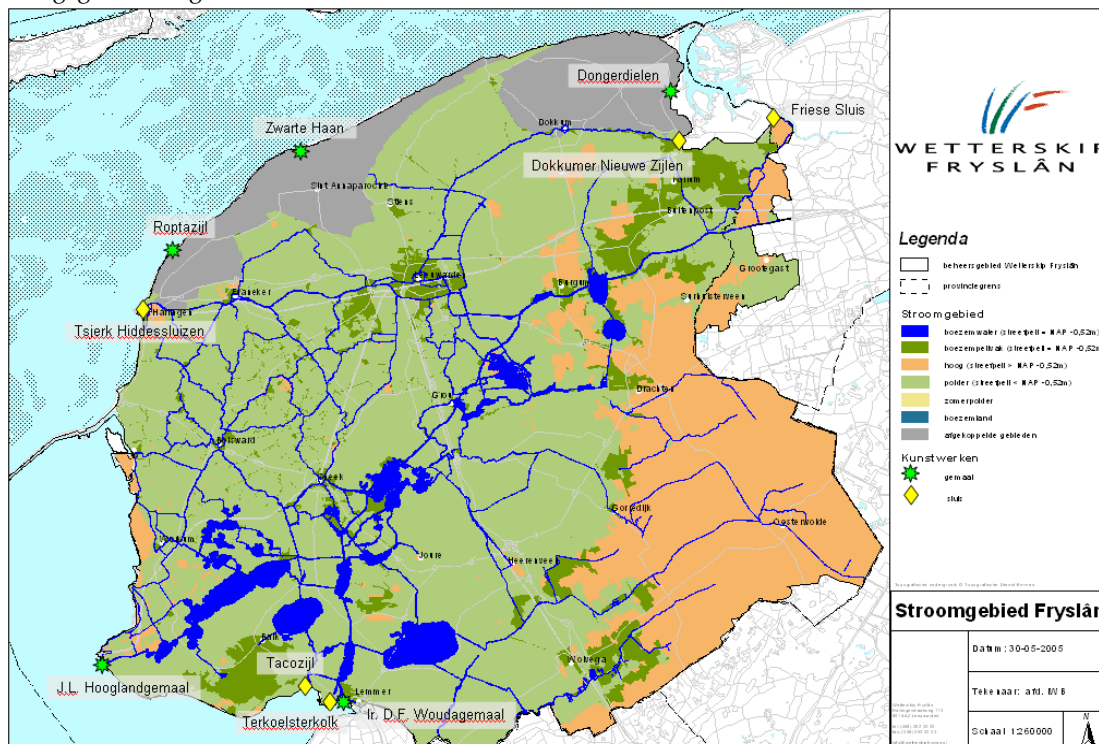
Dit onderzoeksrapport is een onderbouwing van het bestuursbesluit. In hoofdstuk 2 wordt het huidige watersysteem van het beheergebied beschreven en het bestaande beleid uit de studie VBA en het Veiligheidsplan 2008 toegelicht. Hoofdstuk 3 gaat over de uitgangspunten die zijn gehanteerd voor de berekeningen en de samenstelling van de maatregelpakketten. In hoofdstuk 4 worden de uitkomsten van de berekeningen voor het boezemsysteem toegelicht. Hoofdstuk 5 behandelt de deelsystemen. In hoofdstuk 6 worden conclusies getrokken over de te nemen maatregelen en het te voeren beleid. Hoofdstuk 7, tenslotte, gaat over de uitwerking en implementatie van het Veiligheidsplan II.

2 Huidige situatie

2.1 BESCHRIJVING BEHEERGEBIED

Het beheergebied van Wetterskip Fryslân heeft een totale oppervlakte van 333.980 hectare en bestaat uit het boezemstelsel met vrij voor de boezem liggende gebieden met een oppervlakte van 42.310 hectare, hoger gelegen gebieden die via een stuw direct op de boezem afwateren met een oppervlakte van 64.030 hectare, en polders met een oppervlakte van 195.880 hectare, die via een gemaal afwateren naar de boezem. In het noorden liggen drie gebieden die direct naar de Waddenzee afvoeren. De gemalen Roptazijl, Zwarte Haan en Dongerdielen voeren het water van deze gebieden af. De oppervlakte van deze gebieden is totaal 31.760 hectare. Daarnaast maken de eilanden Vlieland, Ameland, Terschelling en Schiermonnikoog deel uit van het beheergebied van Wetterskip Fryslân.

Het huidige watersysteem van het vaste land van Fryslân en het Groningse Westerkwartier is weergegeven in figuur 1.



Figuur 1 Huidige watersysteem van de Friese boezem

In tabel 1 is de capaciteit van de afvoerende kunstwerken van de Friese boezem weergegeven. Tijdens een normaal jaar wordt 70% van het afgevoerde water via de drie spuisluizen geloosd (afvoer onder vrij

verval) en zo'n 30% via de twee boezemgemalen. Tijdens extreme perioden is deze verdeling anders. De spuuisluizen nemen dan 30% van de totale afvoer voor hun rekening terwijl de gemalen 70% van het overtollige water afvoeren.

	Jaargemiddeld		Gemiddeld extreme perioden	
	Afvoer		Afvoer	
	Miljoen m ³	%	m ³ /s	%
Afvoer onder vrij verval		70		30
Harlingen Tjerk Hiddessluizen	100		5	
Dokkumer Nieuwe Zijlen	650		55	
Zoutkamp	200		10	
Boezemgemalen		30		70
J.L. Hooglandgemaal	400		95	
Ir. D.F. Woudagemaal	25		65	

Tabel 1 Kengetallen boezem voor een gemiddelde jaarsituatie en voor een gemiddeld extreme hoogwaterperiode.

2.2 PEILBEHEER

Het watersysteem is ontworpen op een combinatie van berging en afvoercapaciteit, waarbij voor de deelsystemen de afwateringstelsels doorgaans zijn gedimensioneerd op het afvoeren van circa 11 tot 12 millimeter neerslag per etmaal. Grotere hoeveelheden neerslag kunnen niet worden afgevoerd en worden tijdelijk in het deelsysteem geborgen. Dit leidt tijdelijk tot hogere waterstanden. In zeer extreme situaties kunnen percelen onderlopen. Het operationele peilbeheer van de boezem richt zich het zo goed mogelijk gebruik maken van de bestaande infrastructuur gedurende droge, reguliere, natte en extreem natte situaties. Onderstaand kader beschrijft de wijze waarop het operationeel peilbeheer op dit moment wordt uitgevoerd en kunstwerken worden aan gestuurd.

Operationeel peilbeheer

De sturing van de kunstwerken voor het operationeel beheer van de Friese boezem is in de laatste 10 jaren geleidelijk veranderd. Voorheen werd er gestuurd op een opgetreden gemiddelde boezemwaterstand en op de verwachte neerslag tot enkele dagen vooruit. Tegenwoordig beschikt Watterskip Fryslân over een ondersteuningssysteem voor de dagelijkse beslissing(en) voor de inzet van de aan- en afvoerkunstwerken. Het Beslissing Ondersteunend Systeem (BOS) combineert de informatie van verwachte neerslag en de mogelijke natuurlijke afvoer tot 8 dagen vooruit met de verwachte toevoer van water naar de Friese boezem. De inzet is meer en meer gericht op het in evenwicht brengen van de verwachte aanvoer en de afvoer van overtollig water en of aanvulling van tekorten.

Daarnaast wordt bij het Boezembeheer gebruik gemaakt van de opgedane ervaring en wordt er integraal gestuurd op vismigratie, verziltingsbestrijding en eventuele calamiteiten of het voorkomen er van.

Hieronder worden de uitgangspunten en vuistregels van het operationeel peilbeheer toegelicht:

- Afvoer via spuien (natuurlijke afvoer) gaat boven bemaling. Indicatief kan bij een cumulatieve neerslagverwachting tot 30 mm in een week worden volstaan met spuien. Eventueel aanvullende bemaling met het Hooglandgemaal bij een indicatie van 30 tot 60 mm cumulatieve neerslagverwachting in een week. Eventueel of waarschijnlijk aanvullend bemalen met het Woudagemaal bij een cumulatieve neerslagverwachting van meer dan 60 mm in een week. Het peilbeheer betreft een situatie in een natte periode/seizoen met weinig verdamping en verzadigde bodem.
- Met behulp van het BOS wordt de afvoer bepaald op basis van de verwachte neerslag en windeffecten. De horizon is hierbij 8 dagen voor zowel de verwachte neerslag en toevoer als de verwachte natuurlijke afvoer.

Momenteel is het verwachte windeffect binnen het boezemsysteem nog geen sturend mechanisme bij de inzetbepaling. Wel wordt op basis van ervaring en absolute waarden in de lokale waterstand als gevolg van wind de scheefstand afgetopt door te spuien op het Lauwersmeer.

- Bij het spuien wordt zo min mogelijk de spuicapaciteit van de Tjerk Hiddessluis gebruikt. In de verziltingsbestrijding is deze sluis van groot belang van maart tot en met augustus.
- Voor de vismigratie zijn de schutsluizen langs de Friese IJsselmeerkust grotendeels geautomatiseerd. In de intrekperiode wordt beperkt water naar binnen gelaten om zo intrekende vis mee te nemen. Bij de uittrek in de herfst wordt ook bepekt water ingelaten, als lokstream, om zo vis de kolk in te laten zwemmen waarna ze naar buiten worden geschut. Ook vindt vismigratie plaats via de uitwateringssluizen naar de Waddenzee en het Lauwersmeer.
- Indien er een calamiteit als gevolg van een verontreiniging optreedt wordt de kwantitatieve inzet bijgesteld op de gegeven situatie. Soms is dat versneld afstromen en verdunnen of soms is dat stoppen van de afvoer om de verontreiniging te kunnen isoleren.
- Niet de actuele waterstanden maar de verwachte gemiddelde boezemwaterstand is bepalend voor de inzet van de afvoerkunswerken. Als gevolg van afwijkingen ten opzichte van de weerverwachtingen kan het achteraf onnodig zijn geweest om op te schalen in de inzet van de afvoerkunswerken. Dit is inherent aan het weer.
- Door benutting van de ruimte in het systeem in de tijd kan er maximaal onder natuurlijk verval worden afgevoerd en hoeft er minimaal worden gemalen. Door ervaring zal in de zomer de waterstand tijdelijk (2-5 dagen) wel eens bewust boven streefpeil worden gehouden en in de winter bewust onder het streefpeil worden gebracht.

2.3 SAMENVATTING VBA EN VEILIGHEIDSPAN 2008

In de afgelopen jaren heeft het waterschap 2 studies uitgevoerd naar de afwatering van het beheergebied in het licht van de toekomstige klimaatontwikkeling.

Op 11 juli 2006 heeft het Algemeen Bestuur het voorstel "*Vasthouden, Bergen en Afoer van water in Fryslân (VBA)*" vastgesteld.

De belangrijkste maatregelen tot 2030 betroffen voor de boezem:

- uitbreiden boezemoppervlakte (1.400 ha)
- realisatie retentiepolders (700 ha)
- anticiperen op weersvoorspellingen;
- renovatie gemaal J.L. Hoogland (20 m³/s);
- gemaal Vijfhuizen (10 m³/s);
- Realisatie van een tijdelijke gemaal bij Harlingen dat rond 2020 wordt vervangen door een permanent gemaal.
- Handhaven gemiddelde maatgevende boezemwaterstand uit 2002 als uitgangspunt voor kadehoogten.

De belangrijkste maatregelen tot 2030 betroffen voor de deelsystemen:

- Intensiever sturen met geautomatiseerde stuwen (40.000 ha);
- extra oppervlaktewater in deelsystemen (1.650 ha);
- extra poldergemaalcapaciteit (20.000 ha uitbreiden met 10%).

Met de uitvoering van de maatregelen kon aan de norm worden voldaan in gebieden waar dat nog niet het geval was en kon de klimaatontwikkeling in alle gebieden tot 2030 gecompenseerd worden.

Op 11 mei 2008 is het **Veiligheidsplan** door het Algemeen Bestuur vastgesteld. Het Veiligheidsplan 2008 is een aanpassing van het VBA-besluit voor wat betreft de maatregelen voor de boezem. Vanuit een samenhangende visie op het peilbeheer van de boezem en het herstelprogramma "Oevers en Kaden" zijn aanpassingen in het VBA-besluit doorgevoerd. In verband met de ontwikkelingen voor het Lauwersmeer

en nieuwe inventarisatiegegevens over de lengte van de te verbeteren kaden werd besloten tot deelname aan de voorbereiding van de realisatie van het Lauwersooggemaal in 2015, temporisering van het herstelprogramma O&K tot 2019 (was 2016) en verlaging van de normhoogte voor de kaden met gemiddeld 10 cm vanaf 2009. De realisatie van het gemaal Harlingen is in 2050 voorzien. In het veiligheidsplan 2008 is de capaciteit van gemaal Vijfhuizen teruggebracht van 10 m³/s naar 4,2 m³/s. Voor de deelsystemen bleven de maatregelen uit de studie VBA van toepassing. In 2010 is besloten de kaden pas lager aan te leggen vanaf het moment dat het gemaal Lauwersoog gerealiseerd is. Bovendien is toen besloten het kadeherstelprogramma te temporiseren tot 2029.

2.4 VOORTGANG UITVOERING VEILIGHEIDSPAN 2008

De onderstaande tabel 2 geeft een overzicht van de gerealiseerde maatregelen uit het Veiligheidsplan per 31 december 2013 .

Boezem	
Anticiperen op weersvoorspellingen	Operationeel
Boezemerging [ha]	789 ha
Retentieolders [ha]	700 ha
Uitbreiding Hoogland (m ³ /s)	20
Lauwersoog (m ³ /s)	-
Vijfhuizen (m ³ /s)	-
Doorvoer Ropta (m ³ /s)	-
Doorvoer Dongerdielen (m ³ /s)	6
Doorvoer Zwarte Haan (m ³ /s)	3

Deelsystemen	
Extra berging [ha]	400 ha
Sturen met stuwen [ha]	10.000 ha
Maalcapaciteit + 10 % [ha]	1700 ha

Tabel 2 Maatregelen boezem en deelsystemen Veiligheidsplan met actuele planning

2.5 EVALUATIE: BELEID EN MAATREGELLEN

In 2012 is de “Evaluatie van het Veiligheidsplan” door het Algemeen Bestuur vastgesteld. Op basis van de eerdere gedane berekeningen werd hierin geconcludeerd, dat met de tot 2012 gerealiseerde watersysteemmaatregelen en verdere uitvoering van het kadeherstelprogramma de boezem in 2030 voldoet aan de provinciale veiligheidsnorm. Voor de deelsystemen wordt in de evaluatie geconcludeerd, dat deze in 2030 nog steeds aan de norm voldoen (uitzonderingen daargelaten), maar dat de uitvoering van maatregelen om klimaatontwikkeling te compenseren achterblijft.

In de evaluatie wordt een aantal aandachtspunten benoemd die vragen om een actualisatie van het Veiligheidsplan. Het gaat onder andere om de volgende aandachtspunten: het gemaal Lauwersoog, de nieuwe klimaatscenario's, de afstemming met het project Droge Voeten 2050 en de effectiviteit van maatregelen om wateroverlast in deelsystemen te voorkomen.

3

Uitgangspunten

In hoofdstuk twee is een beschrijving van het huidige watersysteem gegeven en is het vigerende beleid behandeld. Deze informatie vormt de basis voor Veiligheidsplan II. Dit hoofdstuk beschrijft de uitgangspunten die gehanteerd zijn in het onderzoek ten behoeve van de actualisatie, namelijk:

- De beleidsmatige uitgangspunten;
- De manier waarop in deze studie wordt voorgesorteerd op de verwachte klimaatontwikkeling;
- Het gebruik van een modelinstrument om de maatgevende waterstanden te bepalen;
- De relatie van dit onderzoek met andere projecten.

3.1 BELEIDSMATIGE UITGANGSPUNTEN

In zowel de studie VBA als het Veiligheidsplan 2008 is een aantal beleidsmatige uitgangspunten geformuleerd. Deze zijn onverminderd overgenomen in het Veiligheidsplan II. De uitgangspunten zijn:

1. *Provinciale normen voor veiligheid en wateroverlast zijn het uitgangspunt.*
Deze normen beschrijven de kans op wateroverlast door middel van een inundatiefrequentie per jaar. Voor de boezem zijn de provinciale veiligheidsnormen van toepassing, die uitgaan van 1/100 en 1/300 per jaar. Voor de deelsystemen gelden de provinciale normen voor wateroverlast die uiteenlopen van 1/10 tot 1/100 per jaar. In het veiligheidsplan II wordt geen nieuwe afweging (bijvoorbeeld met een maatschappelijke kostenbatenanalyse) gemaakt voor deze normen.
1. *De trits vasthouden, bergen en afvoeren.*
Vasthouden, bergen en afvoeren houdt in dat de problemen zoveel mogelijk worden opgelost op de plek waar ze ontstaan. Concreet houdt dit voor het Friese watersysteem in dat de ruimte om intensievere neerslag op te vangen in eerste instantie wordt gezocht binnen het eigen deelsysteem. Op deze locatie werkt het bergen van water ook het beste. Immers zeer intensieve buien geven in eerste instantie overlast op de plaats waar het water valt. Als dit niet mogelijk is, en afwenteling plaatsvindt richting de boezem worden maatregelen zoveel mogelijk centraal en verspreid over de boezem genomen en niet alleen aan de uiteinden.
2. *Afwentelen van wateroverlast moet zoveel mogelijk worden voorkomen.*
Lagere delen of stroomafwaarts gelegen gebieden mogen niet de dupe worden van het afwentelen van stroomopwaarts gelegen delen. Verder moeten veranderingen binnen een deelsysteem zoals een verandering in de ontwatering (b.v. aanleggen drainage en toename verhard oppervlak), bodemdaling en eventueel veranderingen van grondgebruik (b.v. van landelijk naar stedelijk gebied) binnen het deelsysteem worden opgevangen.

3. *Het watersysteem is mede-sturend voor de ruimtelijke ordening.*
Bebouwing in de laagste delen van het watersysteem wordt zoveel mogelijk tegengegaan en kapitaalintensieve landbouwgewassen worden bij voorkeur niet verbouwd in de laagste gedeeltes. Daarnaast kunnen functies gecombineerd worden. Dit voorkomt wateroverlast.
4. *Geen normopvulling accepteren*
Naast de hierboven genoemde leidende principes is een keuze gemaakt over het niveau waaraan het watersysteem moet voldoen. Veel watersystemen functioneren beter dan de norm voor wateroverlast voorschrijft. Door de klimaatontwikkeling zal, als geen maatregelen worden genomen, de kans op regionale wateroverlast toenemen. Er is voor gekozen om deze verslechtering te compenseren met maatregelen. De 'plus' op de norm wordt dan behouden, waarbij geen normopvulling wordt toegestaan.
5. *Principe van geen spijt*
Het principe van geen spijt wordt in het veiligheidsplan II uitgelegd als het realiseren van voldoende veiligheid, maar tegelijk minimaliseren van het risico op desinvesteringen. Uitgangspunt voor de berekeningen van de kans op wateroverlast zijn de klimaatscenario's zoals die door het KNMI zijn vastgesteld. Het KNMI hanteert vier meest waarschijnlijke klimaatscenario's. Gezien de onzekerheden in deze klimaatscenario's is het van belang om hier bij de keuze van maatregelen rekening mee te houden, om desinvesteringen te voorkomen.
6. *Integraliteit van maatregelen*
In de studie VBA en het Veiligheidsplan 2008 is integraliteit en integraal werken een uitgangspunt. Door met name de ruimtelijke maatregelen toe te passen kunnen meerdere doelen gediend worden zoals doelen voor wateroverlast, doelen voor ecologie en natuur en het doel "efficiënt beheer en onderhoud". De maatregelen kunnen vaak gecombineerd worden met projecten van anderen, zoals de provincie, zodat meer kostenefficiënt kan worden gewerkt.
7. *Kosteneffectiviteit*
Maatregelen die een groot effect hebben en tegen lage kosten gerealiseerd kunnen worden hebben de voorkeur boven maatregelen met minder effect en hogere kosten.

3.2 KLIMAATONTWIKKELING

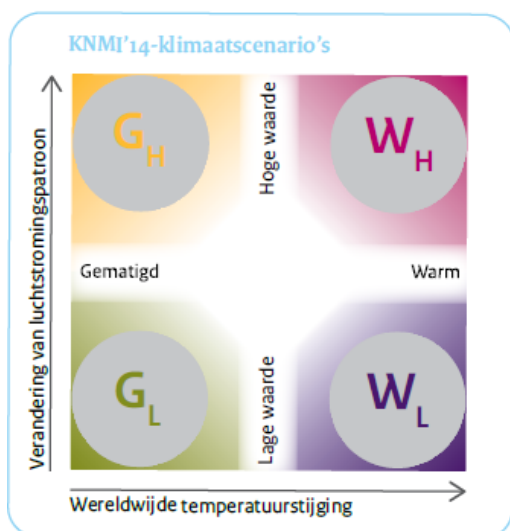
Om een toekomstbestendig watersysteem te realiseren en geen spijt maatregelen (zie vorige paragraaf) te identificeren is het effect van klimaatontwikkeling op het watersysteem beoordeeld. Het effect van klimaatontwikkeling bestaat uit een toename van de neerslagintensiteit en zeespiegelstijging. Beide hebben een groot effect op de Friese boezem. In het veiligheidsplan II en de daarbij uitgevoerde verkenning naar maatregelen is de klimaatontwikkeling in beeld gebracht met behulp van de KNMI 2014 scenario's. Dit zijn op dit moment de meest actuele scenario's.

Uit de scenario's blijkt dat:

- De verwachte toename van de neerslagintensiteit in zowel de zomer, als de winter groter is dan voorzien in eerdere scenario's (zoals het middenscenario en de KNMI 2006 scenario's), en
- De zeespiegelstijging als gevolg van de opwarming van de aarde groter is dan eerder voorzien.

Het KNMI definieert vier klimaatscenario's (figuur 2), die verschillen in:

- De grootte van verandering van het luchtstromingspatroon;
- Het tempo waarin de wereldwijde temperatuurstijging verloopt.



Figuur 2 Klimaatscenario's KNMI 2014

Tabel 3 laat de toename van de neerslag en zeespiegelstijging zien voor de verschillende KNMI 2014 scenario's.

KNMI 2014, zichtjaar 2050	GL	GH	WL	WH
Zeespiegelstijging	15-30 cm	15-30 cm	20-40 cm	20-40 cm
Toename neerslagsom die 1:10 jaar wordt overschreden	+6%	+10%	+12%	+17%

Tabel 3 Toename neerslag en zeespiegelstijging in KNMI 2014 scenario's

De zeespiegelstijging is sterk afhankelijk van de mate waarin de wereldwijde temperatuur stijgt. Het luchtstromingspatroon heeft hier geen invloed op. Gelet op het grote belang van het zeespiegelniveau voor de afvoercapaciteit, en gelet op het feit dat de reductie van de uitstoot van broeikasgassen (grotendeels CO₂, verantwoordelijk voor de wereldwijde temperatuurstijging) tot dusverre niet gerealiseerd wordt, is gekozen voor een W scenario met een maximale zeespiegelstijging van 40 cm in 2050. Dit scenario is vergelijkbaar met het scenario dat wordt gebruikt in de maatregelenstudie Droge Voeten 2050 (KNMI 2006 scenario W).

De toename van de neerslagintensiteit wordt in de klimaatscenario's uitgedrukt in de toename van de etmaalsom die eens per 10 jaar wordt overschreden in de zomer en de tiendaagse neerslagsom die eens per 10 jaar wordt overschreden in de winter. De toename van de neerslagintensiteit vertoont grote spreiding tussen de vier scenario's. Om te voorkomen dat geen spijt investeringen gedaan worden is niet gekozen voor het meest extreme scenario (W_H), maar voor het meer gematigde scenario W_L.

Omdat de meest actuele (KNMI 2014) scenario's beschikbaar zijn gekomen tijdens deze studie, is voor de afweging van individuele maatregelen en een eerste selectie van verkennende maatregelenpakketten gebruik gemaakt van de KNMI 2006 scenario's. Echter, de mate waarin de Friese boezem voldoet aan de normen voor waterveiligheid en de effectiviteit van de gepresenteerde maatregelenpakketten is uitgewerkt met behulp van de meest recente klimaatscenario's (KNMI 2014).

3.3 MODELLERING

Een betrouwbaar model is een bruikbaar hulpmiddel voor het beoordelen van de toestand van een watersysteem en de effectiviteit van maatregelen om de wateroverlast tegen te gaan en waterveiligheid te vergroten. In het veiligheidsplan II is een update uitgevoerd van het hydrologisch model en is dit model ingezet voor probabilistische berekeningen. Deze paragraaf beschrijft kort de update van het model en het type berekeningen. Een uitgebreid overzicht van de modelontwikkeling en de daarbij gekozen uitgangspunten is te vinden in een technische rapportage [Ref 1.].

3.3.1 MODELSOFTWARE

Het hydrologisch model bestaat uit twee componenten, namelijk:

- Een SOBEK oppervlaktewatermodel, dat de neerslag-afvoerrelaties beschrijft en de hydraulica;
- Een RTC-tools module, die de sturing van de kunstwerken in de boezem beschrijft op basis van weersvoorspellingen.

Beide componenten wisselen informatie uit binnen een OpenMI omgeving. Het model is hiermee een combinatie van de standaard software voor regionale hoogwatertoetsingen in Nederland (SOBEK) en de meest recente software voor operationele sturing in modellen. De betrouwbaarheid van het model is aangetoond middels een kalibratie, waaruit volgt dat de berekende waarden in het model goed overeenkomen met gemeten waarden tijdens de hoogwaterperiode van 2012.

3.3.2 STOCHASTENANALYSE

Met het model is een stochastanalyse uitgevoerd. De stochastanalyse is een veelgebruikte methode om overschrijdingswaterstanden te berekenen die horen bij een vooraf vastgestelde herhalingsperiode. De methode is een probabilistische benadering, waarbij verschillende factoren, die het gedrag van het watersysteem beïnvloeden, worden meegenomen. De werkwijze wordt in het waterbeheer vaak gebruikt bij toetsingen in het kader van waterveiligheid, toetsingen aan de normen uit het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW).

Stochasten

Stochasten zijn kansvariabelen, die het gedrag van het watersysteem tijdens hoogwatergebeurtenissen beïnvloeden. Deze kansvariabelen zijn opgesteld voor relevante factoren in het watersysteem. In het veiligheidsplan II worden de volgende stochasten gehanteerd:

- Neerslagvolume
- Neerslagpatroon
- Initiële grondwaterstand
- Windsnelheid in combinatie met verhoogde buitenwaterstanden

Voor het neerslagvolume is, naar aanleiding van de door Deltares uitgevoerde 2nd opinion, op basis van daadwerkelijk gemeten neerslagstatistiek en ruimtelijke spreiding van neerslagpatronen, een nauwkeurige gebiedsreductiefactor afgeleid.

Kansverdeling

De stochastmethode is gebaseerd op de aanname dat aan alle hydrologische-, meteorologische processen en randvoorwaarden in een gebied een zekere kansverdeling kan worden toegekend, bijvoorbeeld:

- Een neerslagvolume van 130 mm in 9 dagen wordt eens per 50 jaar overschreden

- De kans dat 5 getijden achtereenvolgens niet gespuid kan worden op het Lauwersmeer is 1,3%.

Iedere stochast is gediscrètiseerd in klassen. Deze klassen vertegenwoordigen de kansverdeling die hoort bij de variabele. Tabel 4 geeft een voorbeeld van een dergelijk kansverdeling voor de windsnelheid in combinatie met verhoogde buitenwaterstand.

Stochast	Kans	Aantal dagen per jaar
1. Rustig	83%	302
2. Matige wind	13%	49
3. Matige wind en één getij stremming	2%	8
4. Harde wind en één getij stremming	0.5%	1,7
5. Matige wind en 5 getijden stremming	1.3%	4.7
Totaal	100%	365,25

Tabel 4 Kansverdeling stremming en windrichting

Een volledig overzicht van de gebruikte klassen en kansverdeling is te vinden in de technische rapportage [Ref 1].

Met de stochastanalyse is een groot aantal hoogwatergebeurtenissen met het model gesimuleerd. Met behulp van de gedefinieerde kansverdeling is vervolgens waterstandsstatistiek (welke waterstand komt hoe vaak voor?) afgeleid. Uit deze waterstandsstatistiek volgen de maatgevende boezemwaterstanden. De resultaten van de hoogwatertoetsing zijn te vinden in hoofdstuk 4.

3.3.3 GEMIDDELDE MAATGEVENDE BOEZEMWATERSTAND

In het veiligheidsplan II wordt de veiligheid van de Friese boezem beoordeeld aan de hand van een gemiddelde maatgevende boezemwaterstand (ook wel GMB). Dit zijn de maatgevende waarden (herhalingsstijd eens in de 100 jaar) van een gewogen gemiddelde van 6 meetstations, ruimtelijk verdeeld over de boezem. De gemiddelde boezemwaterstand geeft een beeld van de volumeverdeling van het water in de boezem. De waarde is indicatief voor de toestand van het gehele watersysteem. In de operationele sturing wordt gekeken naar een groter aantal meetpunten (23), verspreid over de boezem. In het veiligheidsplan 2008 is ook de gemiddelde boezemwaterstand als maat gebruikt. Deltares adviseert in haar second opinion om de locaties op basis waarvan het boezempeil wordt berekend te heroverwegen. Omwille van de vergelijkbaarheid met eerdere resultaten, is dit in deze studie niet gedaan.

De berekeningen in het veiligheidsplan II hebben nadrukkelijk niet tot doel om op lokale schaal de hoogtes van kaden te toetsen. Het veiligheidsplan II bepaalt op het niveau van het gehele watersysteem in hoeverre er een opgave bestaat en in de toekomst maatregelen noodzakelijk zijn. Hierbij wordt wel gekeken naar regionale verschillen. De lokale toetsing is verankerd in het kadeherstelprogramma, waarbij op basis van lokale metingen een toetshoogte wordt afgeleid. De uitgevoerde stochastanalyse geeft een betrouwbaar beeld van de maatgevende waterstanden op de boezem, maar is niet toereikend om (in alle delen van het systeem) lokaal maatgevende waterstanden te berekenen.

3.4 RELATIE MET ANDERE PROJECTEN

Door het waterschap worden nog een aantal andere studies uitgevoerd die van invloed kunnen zijn op het Veiligheidsplan II. Het gaat met name om de studies "Toekomstbestendig watersysteem", de

Veenweidevisie, het onderzoek naar de differentiatie van regionale keringen en de beleidsnota lokale kaden.

3.4.1 TOEKOMSTBESTENDIG WATERSYSTEEM

TBW is een lange termijnvisie voor de inrichting van het watersysteem van het waterschap. De verwachting is dat de bestaande, zeer fijnmazige inrichting van het watersysteem in combinatie met het streven naar optimale functiebediening en toekomstige opgaven zoals klimaatveranderingen een sterke kostenstijging met zich mee zullen brengen. Bij de vaststelling van het MJP 2013-2017 is door het Algemeen Bestuur besloten om te onderzoeken hoe en met welke principes de inrichting, het beheer en onderhoud van de watersystemen efficiënter gemaakt kan worden. Daartoe is een visievormingstraject gestart gericht op (andere) mogelijkheden om het watersysteem toekomstbestendig in te richten, te beheren en te onderhouden. Een tweetal maatregelen is, parallel aan het veiligheidsplan II concreet uitgewerkt in pilot projecten. Dit zijn het afkoppelen van de Greidhoeke en het afkoppelen van de Linde en de Tjonger van de boezem. De kansrijkheid van deze alternatieven heeft mogelijk invloed op de besluitvorming. De uitkomsten van Toekomstbestendig watersysteem zijn nog niet bekend. Zodra dit wel het geval is, zullen de consequenties voor het Veiligheidsplan II in beeld worden gebracht. Een eventuele aanpassing van het Veiligheidsplan II kan dan nodig zijn.

3.4.2 VEENWEIDEVISIE

De veenweidevisie is een strategische visie voor het veenweidegebied. De visie heeft gevolgen voor het peilbeheer in het veenweidegebied. In bepaalde gebieden wordt ingezet op beperking van maaiveldaling door een verminderde drooglegging. Dit gaat gepaard met afname van de bergingscapaciteit. Het is nog niet duidelijk in welke gebieden dit gaat gebeuren. In het Veiligheidsplan wordt geen rekening gehouden met deze afname in bergingscapaciteit. Het kan zijn dat in degelijke gebieden de norm voor wateroverlast zal worden aangepast.

3.4.3 KADEHERSTELPROGRAMMA

In 2002 zijn de maatgevende boezemwaterstanden bepaald, die de kaden moeten keren. Deze waterstanden zijn gebaseerd op een hoogwatersituatie die één keer per 100 jaar optreedt en bedroeg in 2002 gemiddeld 16 cm onder N.A.P. Dit is de basisnorm voor de kaden, die de hoogte van de kaden bepaalt. Lokaal geldt een hogere norm van één keer per 300 jaar. Kaden die onvoldoende hoog zijn (en daarmee niet aan de norm voldoen) zijn onderdeel van het kadeherstelprogramma.

In het Veiligheidsplan uit 2008 werd er van uitgegaan dat vanaf 2009 lagere kaden konden worden aangelegd. Het herstelprogramma zou volgens het Veiligheidsplan in 2019 worden afgerond en er zou binnen de termijn van het kadeherstelprogramma (2009 -2019) ca. € 20 miljoen kunnen worden bespaard. In het veiligheidsplan II wordt opnieuw beoordeeld in hoeverre de watersysteemmaatregelen ervoor zorgen dat lagere kaden mogelijk zijn.

In de voorbereiding op het nieuwe provinciale waterhuishoudingsplan heeft de provincie aangegeven, dat de kaden in 2027 op orde moeten zijn.

3.4.4 STROOMGEBIEDSBEHEERPLANNEN (KADERRICHTLIJN WATER)

Om aan de eisen van de Kaderrichtlijn Water (KRW) te voldoen moet er in de regionale plannen per waterlichaam uitleg worden gegeven over de begrenzing, de typering, de belasting en de bepaling van

de status van de regionale wateren. Bij het vaststellen van het KRW in 2009 hebben Provinciale Staten de wettelijk verplichte onderdelen van de factsheets vastgesteld voor de oppervlaktewaterlichamen die gelegen zijn in de Friese binnenwateren. Deze onderdelen zijn de (deels gewijzigde) begrenzing, de typering, de status, de ecologische doelen en de fasering van de doelen, en de behorende motiveringen. Wetterskip Fryslân heeft een resultaatsverplichting voor het halen van de doelen in de Friese binnenwateren in haar beheergebied. Om deze doelen te halen moeten maatregelen getroffen worden. Voor sommige maatregelen zitten synergievoordelen met de opgave voor de kaderrichting water.

3.4.5 DIFFERENTIATIE REGIONALE KERINGEN

In dit onderzoek is verkend hoe de bescherming door regionale keringen gewaarborgd kan worden door te streven naar een robuust en veerkrachtig watersysteem met een doelmatige inzet van middelen. De voorstellen die hier uit volgen leiden met name tot extra robuustheid van het watersysteem in bovenmaatgevende situaties (situaties die minder vaak voor komen dan één keer per honderd jaar). Daar waar de gevolgen van een overstroming vanuit de boezem het geringst zijn, zal worden ingezet op een lagere normering van kaden of een statusverandering naar lokale kaden.

3.4.6 LOKALE KADEN

Het beleid voor lokale kaden beschrijft de onderhoudsverplichtingen van waterschap en ingelanden voor de lokale kaden. Lokale kaden beschermen o.a. zomerpolders tegen hoge boezemwaterstanden in de zomer.

3.4.7 DROGE VOETEN 2050

In Groningen en Drenthe wordt de studie “Droge Voeten 2050” uitgevoerd. Ook in deze studie wordt onderzoek gedaan naar wateroverlast. Voor het beheergebied van waterschap Noorderzijlvest zijn al maatregelen geformuleerd om de gevolgen van de klimaatontwikkeling te compenseren. Naast kademaatregelen wordt in Noorderzijlvest tot 2025 ingezet op het bufferen van water in de deelsystemen en het bergen van water in retentiegebieden. Na 2025 zijn aanvullende maatregelen noodzakelijk. De uitkomst kan zijn, dat nog na 2025 een extra maatregel nodig is in de vorm van uitbreiding van het gemaal H.D. Louwes te Zoutkamp, dat water afvoert naar het Lauwersmeer.

Een verhoogde afvoer naar het Lauwersmeer vanuit Groningen kan bij gestremde lozing leiden tot een beperking van onze afvoer naar het Lauwersmeer. Waterschap Noorderzijlvest heeft de consequenties van de verhoogde afvoercapaciteit in beeld gebracht. Uit de berekeningen blijkt dat de totale afvoer naar het Lauwersmeer gedurende een hoogwaterperiode niet toeneemt. Door het water te bufferen in de deelsystemen en te bergen in de retentiegebieden zal in een hoogwaterperiode de piekafvoer van het gemaal beperkt zijn en pas na 5 dagen optreden. In de eerste 5 dagen wordt dus geen extra water afgevoerd naar het Lauwersmeer. Na zo'n periode is over het algemeen de afvoer vanuit ons beheergebied al gestremd door de hogere waterstanden op het Lauwersmeer.

Geconcludeerd kan worden dat waterschap Noorderzijlvest de problematiek van wateroverlast voor een groot deel oplost door maatregelen in haar eigen boezemsysteem te nemen. Als toch uitbreiding van de maalcapaciteit op het Lauwersmeer nodig is, heeft dit geen consequenties voor onze afwatering naar het Lauwersmeer. Na 2025 zijn aanvullende maatregelen noodzakelijk.

4

Resultaten waterveiligheid boezem

Een beoordeling van de veiligheid van het boezemsysteem volgt uit een modelstudie. In deze studie is een zogenaamde stochastische analyse uitgevoerd, waarbij het watersysteem getoetst is op een groot aantal hoogwatergebeurtenissen. Paragraaf 3.3 en de technische rapportage [Ref 1.] beschrijven de technische achtergrond van de modelstudie. Dit hoofdstuk presenteert de resultaten.

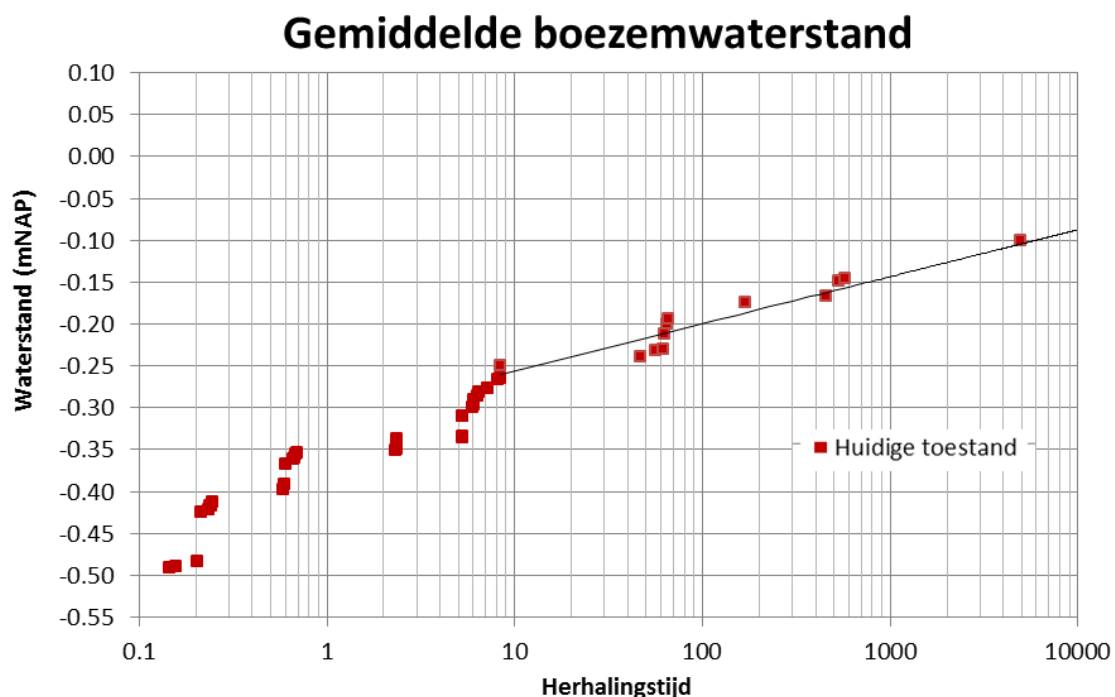
4.1 HUIDIGE TOESTAND

In de berekeningen voor de waterveiligheid wordt onderscheid gemaakt tussen de huidige toestand en het watersysteem na klimaatontwikkeling. Voor de huidige toestand gelden de volgende uitgangspunten:

- Gebruik van de neerslagstatistiek van de 100 jarige reeks van de Bilt;
- Het model beschrijft de actuele toestand van het watersysteem, inclusief voorgenomen maatregelen. Concreet betekent dit dat het nog te realiseren gemeentelijk Vijfhuizen onderdeel is van de huidige situatie.
- Voltooiing van het kadeherstelprogramma. In de berekeningen wordt geen rekening gehouden met extra berging als gevolg van het lokaal falen van kaden.

4.1.1 GEMIDDELD BOEZEMPEIL

Uit de stochastische analyse volgt een gemiddelde boezemwaterstand voor ieder van de 50 individuele hoogwatergebeurtenissen. Een statistische analyse, waarbij op basis van de daadwerkelijke kans van de individuele gebeurtenissen een overschrijdingsfrequentie wordt afgeleid voor de waterstand, toont de berekende relatie tussen herhalingsperiode en waterstand. Dit wordt ook wel waterstandsstatistiek genoemd. Figuur 3 laat de waterstandsstatistiek zien voor de huidige toestand.



Figuur 3 Waterstandsstatistiek voor de huidige toestand

4.1.2 COÏNCIDENTIE

In een stochastische analyse is het uitgangspunt dat er geen verband bestaat tussen het optreden van extreme neerslag op de Friese boezem en hoge waterstanden op de Waddenzee. Om dit uitgangspunt te toetsen, en eventueel het effect van gelijktijdig optreden (coïncidentie) mee te nemen in de beoordeling van de waterveiligheid, is een coïncidentieonderzoek uitgevoerd door Deltares (zie bijlage 6 en Ref 3).

Uit dit onderzoek volgt een duidelijk en eenduidig beeld van het effect van coïncidentie op de waterhoogtes in de Friese boezem en het Lauwersmeer. Op de Friese boezem is dit effect een verhoging van de gemiddelde maatgevende boezemwaterstand van enkele millimeters voor een hoogwatergebeurtenis met een herhalingstijd van 10 jaar en ca. 2 cm. voor een herhalingstijd van 100 jaar. Op het Lauwersmeer ligt het effect in de orde grootte van ca. 5 cm voor een herhalingstijd van 10 jaar en ca. 6 cm voor een herhalingstijd van 100 jaar.

Effect coïncidentie	T10	T100
Gemiddelde maatgevende boezemwaterstand	< + 1cm	+ 2 cm
Maatgevende waterstand Lauwersmeer	+ 5 cm	+ 6 cm

Tabel 5 Coïncidentie

Hierbij moet wel de kanttekening worden geplaatst dat dit resultaat is gegenereerd op basis van één klimaatmodel, te weten RACMO. Andere klimaatmodellen kunnen een afwijkende samenhang hebben tussen neerslag en windopzet.

Uit onderzoek voor waterschap Noorderzijlvest [Ref 4] is gebleken dat de mate van coïncidentie als gevolg van klimaatontwikkeling niet significant verandert. Dit betekent dat de bovenstaande effecten ook kunnen worden toegepast op het resultaat van klimaatberekeningen.

Voor de analyse van extreme waarden in het beheersgebied van het waterschap betekent dit dat de afhankelijkheid tussen neerslag en buitenwater niet mag worden verwaarloosd. Het resultaat van de stochastanalyse, waarin toch onafhankelijkheid tussen neerslag en gestremde lozing is verondersteld, is daarom aan de hand van deze resultaten bijgesteld.

4.1.3 OPGAVE HUIDIGE TOESTAND (ZICHTJAAR 2015)

Uit de stochastanalyse en het coïncidentieonderzoek volgt een gemiddelde maatgevende boezemwaterstand, die een maat is voor de waterveiligheid van de Friese boezem.

	T10	T100	T1000
Stochastanalyse	-0.26 mNAP	-0.20 mNAP	-0.15 mNAP
Effect coïncidentie	0 cm	+ 2 cm	+ 2 cm
Maximale gemiddelde boezemwaterstand	-0.26 mNAP	-0.18 mNAP	-0.13 mNAP

Tabel 6 Opgave waterveiligheid huidige situatie

Bij een hoogwatergebeurtenis met een herhalingsstijd van eens in de 10 jaar is de maximale gemiddelde boezemwaterstand ruim lager dan de waterstand waarop het kadeherstelprogramma is gebaseerd (-0.16 mNAP). Er is nog berging over in het watersysteem. De maatgevende gemiddelde boezemwaterstand (T100) ligt 2 cm onder de toetswaterstand. Het watersysteem is daarmee voldoende veilig. Er is geen opgave, met uitzondering van de kades die op dit moment niet op hoogte zijn en opgenomen zijn in het kadeherstelprogramma.

Hoogwaterperiode 2012

De gemiddelde maatgevende boezemwaterstand in de huidige toestand is -0.18 mNAP. Ter vergelijking: De maximale gemiddeld boezemwaterstand tijdens hoogwaterperiode 2012 is -0.25 mNAP. Dit komt statistisch overeen met een gebeurtenis die eens in de 15 jaar optreedt. Een belangrijke kanttekening daarbij is dat in 2012 wel gebruik gemaakt is van de ruimte in de deelsystemen (bufferen), terwijl dit in de waterstandsstatistiek niet is meegenomen. Zonder deze maatregel zou de maximale waterstand iets hoger zijn geweest, overeenkomstig met een herhalingsstijd van ca. 30 jaar.

Robuustheid

Bij extremere hoogwatergebeurtenissen (T1000) stijgt de gemiddelde boezemwaterstand tot 3 cm boven de toetswaterstand en is de veiligheid niet meer gewaarborgd. Dit betekent overigens niet dat oevers en kaden per definitie falen, omdat in het kadeherstelprogramma rekening gehouden wordt met een onzekerheidsmarge in de toetswaterstand. Dit is verdisconteerd in de waakhoogte. Het watersysteem is zeer robuust, gelet op het relatief kleine verschil (slechts 5 cm) in waterstand tussen hoogwatergebeurtenissen met een herhalingsstijd van 100 en 1000 jaar.

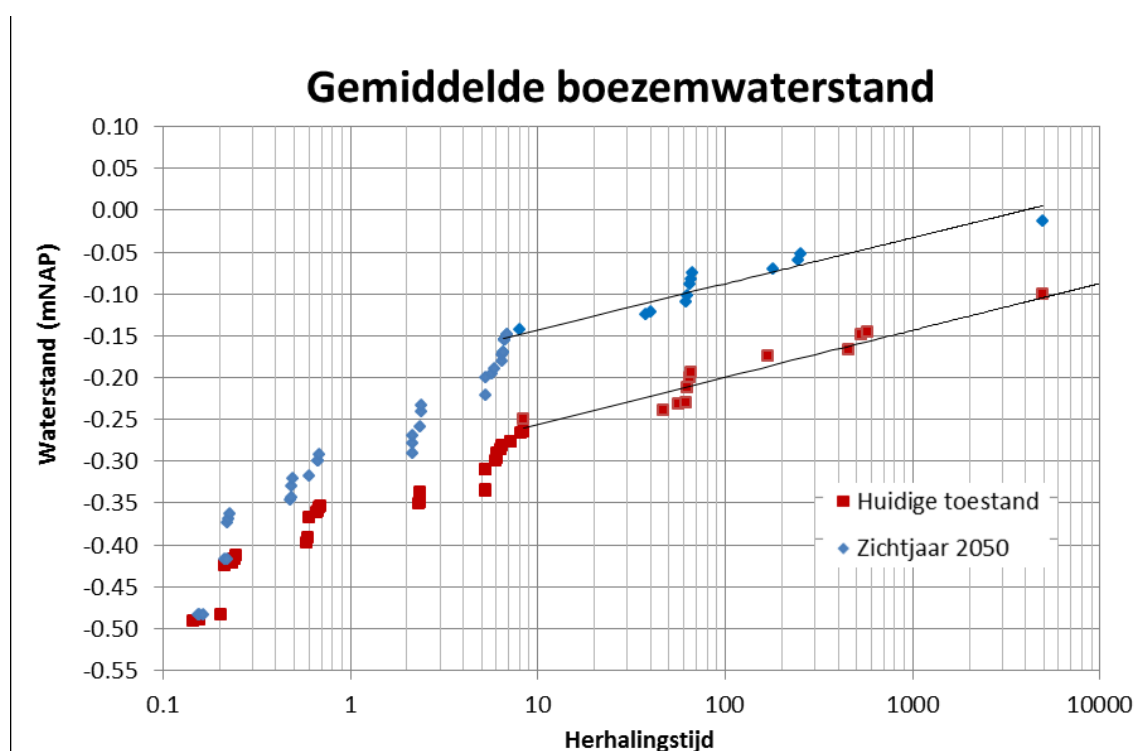
4.2 ZICHTJAAR 2050

Als gevolg van klimaatontwikkeling neemt de hoeveelheid en intensiteit van extreme neerslag toe. Bovendien stijgt de zeespiegel, waardoor de afvoercapaciteit van de Friese boezem afneemt en de kans op gestremde lozing bij Lauwersoog en Harlingen toeneemt.

Met een stochastanalyse is in beeld gebracht hoe de gemiddelde boezemwaterstanden veranderen als gevolg van klimaatontwikkeling voor het zichtjaar 2050. Hierbij is het klimaatscenario WL gehanteerd (zie paragraaf 3.2.2). Concreet betekent dit een zeespiegelstijging van 35 cm en een toename van de neerslaghoeveelheid met 12%.

4.2.1 GEMIDDELD BOEZEMPEIL

Als gevolg van klimaatontwikkeling stijgt de gemiddelde maatgevende boezemwaterstand. De waterstandsstatistiek verschuift, zodat kritieke waterstanden vaker voorkomen (of een lagere herhalingsstijd krijgen). Figuur 4 toont de waterstandsstatistiek in het zichtjaar 2050, waarin de maximale gemiddelde boezemwaterstand is uitgezet tegen de herhalingsstijd in jaren.



Figuur 4 Waterstandsstatistiek voor de huidige toestand en voor het zichtjaar 2050

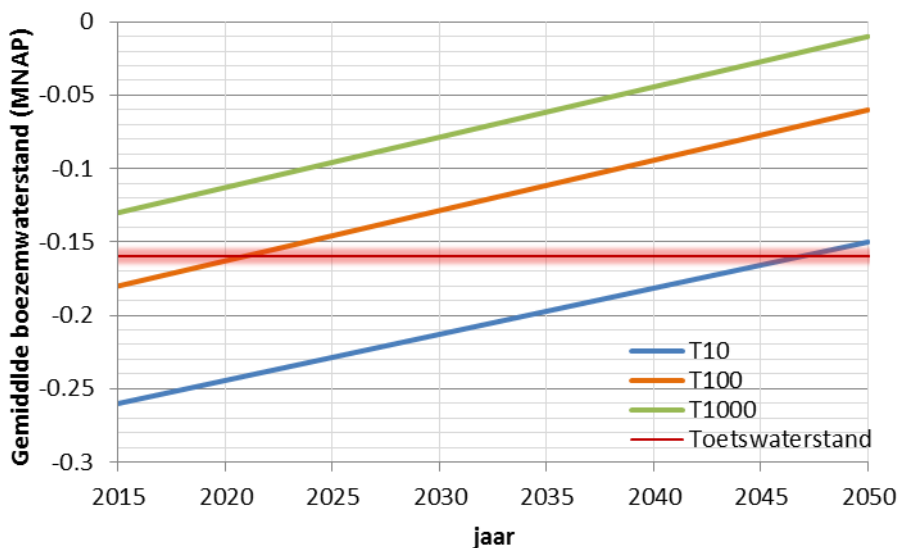
4.2.2 OPGAVE ZICHTJAAR 2050

Uit de stochastanalyse en het coïncidentieonderzoek volgt ook voor het zichtjaar 2050, een gemiddelde maatgevende boezemwaterstand, die een maat is voor de waterveiligheid van de Friese boezem inclusief de effecten van klimaatontwikkeling. Tabel 7 toont de waterstanden bij verschillende herhalingsstijden.

	T10	T100	T1000
Stochastanalyse	-0.14 mNAP	-0.08 mNAP	-0.03 mNAP
Effect coïncidentie	0 cm	+ 2 cm	+ 2 cm
Maximale gemiddelde boezemwaterstand	-0.14 mNAP	-0.06 mNAP	-0.01 mNAP

Tabel 7 Gemiddelde boezemwaterstand na klimaatontwikkeling (zichtjaar 2050)

De waterstanden tijdens hoogwatergebeurtenissen stijgen met 12 cm. Bij een hoogwatergebeurtenis met een herhalingsijd van eens in de 10 jaar is de maximale gemiddelde boezemwaterstand in 2050, als gevolg van klimaatontwikkeling, hoger dan de toetswaterstand in het kadeherstelprogramma (-0.16 mNAP).. Het watersysteem is daarmee onvoldoende veilig. De maatgevende boezemwaterstand in het zichtjaar 2050 is -0.06 mNAP. De opgave, ten opzichte van de toetswaterstand van de kaden, is daarmee 10 cm.



Figuur 5 Ontwikkeling gemiddelde boezemwaterstand in de tijd

Figuur 5 toont de ontwikkeling van de gemiddelde maatgevende boezemwaterstanden in de tijd. Als gevolg van klimaatontwikkeling voldoet de Friese boezem, zonder maatregelen, in 2020 niet meer aan de veiligheidsnormen. Er van uitgaande dat het kadeherstelprogramma is uitgevoerd.

Vergelijking resultaten met VBA en Veiligheidsplan I

De maximale waterstanden, die gepresenteerd worden in deze studie, wijken af van eerdere berekeningen. Dit komt door:

- het gebruik van de nieuwste klimaatscenario's, en
- het gebruik van een probabilistische analyse, in plaats van een tijdreeksanalyse.

De studie VBA (2006) concludeert dat de gemiddeld hoogste boezemwaterstand (GHB) als gevolg van klimaatontwikkeling stijgt met slechts 2 centimeter richting het zichtjaar 2030. Deze gemiddeld hoogste boezemwaterstand is een gemiddelde van 32 eerder uitgevoerde modelberekeningen van daadwerkelijk opgetreden gebeurtenissen (jaarmaxima over de periode 1971-2002). Deze GHB heeft daarom een statistische kans van optreden van eens per jaar. De berekende stijging is daarmee een goede maat voor het effect van klimaatontwikkeling op hoge boezemwaterstanden, maar zegt in mindere mate iets over het effect van klimaatontwikkeling op extreem hoge boezemwaterstand en de waterveiligheid. Voor het vaststellen van de opgave moet er worden getoetst aan de waterstand bij de veiligheidsnorm.

In het veiligheidsplan (2008) is een statistische nabewerking uitgevoerd op de 32 modelberekeningen om te komen tot maatgevende boezemwaterstanden. Deze waterstanden zijn aangepast op basis van de verwachte verlaging als gevolg van extra gemaalcapaciteit. Het veiligheidsplan concludeert hieruit dat met de maatregelen uit het veiligheidsplan (inclusief een gemaal Lauwersoog en het bufferen in deelsystemen) en klimaatontwikkeling de maatgevende waterstand in 2030 daalt ten opzichte van de huidige situatie.

Juist bij zeer extreme situaties, zoals extreme neerslag of hevige neerslag in combinatie met gestremde lozingen, is de afvoercapaciteit kleiner dan de belasting van de boezem vanuit de deelsystemen, en het effect van klimaatontwikkeling daarom groot. In eerdere studies is gerekend met 32 daadwerkelijke gebeurtenissen en het effect bij extreme omstandigheden was daarom minder goed te kwantificeren.

In de nu voorliggende analyse is, in tegenstelling tot de VBA studie en het veiligheidsplan (2006), gerekend met (50 combinaties van) extreme belastingen die samen leiden tot waterstandsstatistiek. Hieruit is een gemiddelde maatgevende boezemwaterstand (GMB) met een herhalingsstijd van 100 jaar afgeleid. De doorgerekende combinaties zijn extremer dan de eerdere berekeningen met jaarmaxima.

4.3 KANSRIJKE MAATREGELEN EN PAKKETTEN

Omdat de Friese boezem op termijn, als gevolg van klimaatontwikkeling onvoldoende veilig is, zijn er maatregelen nodig om aan de veiligheidsnorm te voldoen. Deze maatregelen komen voort uit eerdere beleidsstudies en een uitgevoerde inventarisatie binnen het waterschap. De maatregelen zijn geordend volgens het principe vasthouden, bergen en afvoeren. Het gaat om de volgende maatregelen:

Vasthouden:

- Grootschalig vasthouden in het hoofdwatersysteem van vrij afstromende gebieden door middel van het opzetten van stuwen;
- Bufferen in deelsystemen¹ in 3 varianten (tot 5% , 10% en 25% laagste maaiveld bij T100);
- Verkleinen van de gemaalcapaciteit van alle bemalingseenheden met 10%.

Bergen:

- Aanleg van retentiepolders in natuurgebieden (op basis van verkenning kansrijke retentiepolders);
- Aanleg van retentiepolders in landbouwgebieden (op basis van verkenning kansrijke retentiepolders);
- Optimaliseren van de zomerpolders (inzet als retentiepolder);
- Uitbreiding van de boezem met 600 hectare (bovenop 800 nu al gerealiseerd).

Afvoeren:

- Plaatsen van voortstuwers bij Dokkumer Nieuwe Zijlen (capaciteit ~ 30 m³/s);
- Plaatsen van een gemaal bij Dokkumer Nieuwe Zijlen (capaciteit ~ 60 m³/s);
- Plaatsen van een gemaal bij Harlingen;
- Plaatsen van een gemaal bij Lauwersoog met voldoende capaciteit (~100-180 m³/s) om gestremde lozing te Dokkumer Nieuwe Zijlen voorkomen;
- Plaatsen van een gemaal bij Holwerd.

Daarnaast zijn in het kader van het project Toekomstbestendig Waterbeheer drie maatregelen benoemd:

- Afkoppelen van de Linde en de Tjonger van de boezem door een verbinding met het IJsselmeer;
- Afkoppelen Greidhoeke van de boezem door plaatsen van een gemaal ten zuiden van Harlingen;
- Afkoppelen kleipolders tussen Hallum en Holwerd van de Boezem en via zeegemaal rechtstreeks lozen op Waddenzee.

Voor de deelsystemen (en het effect op de boezem)

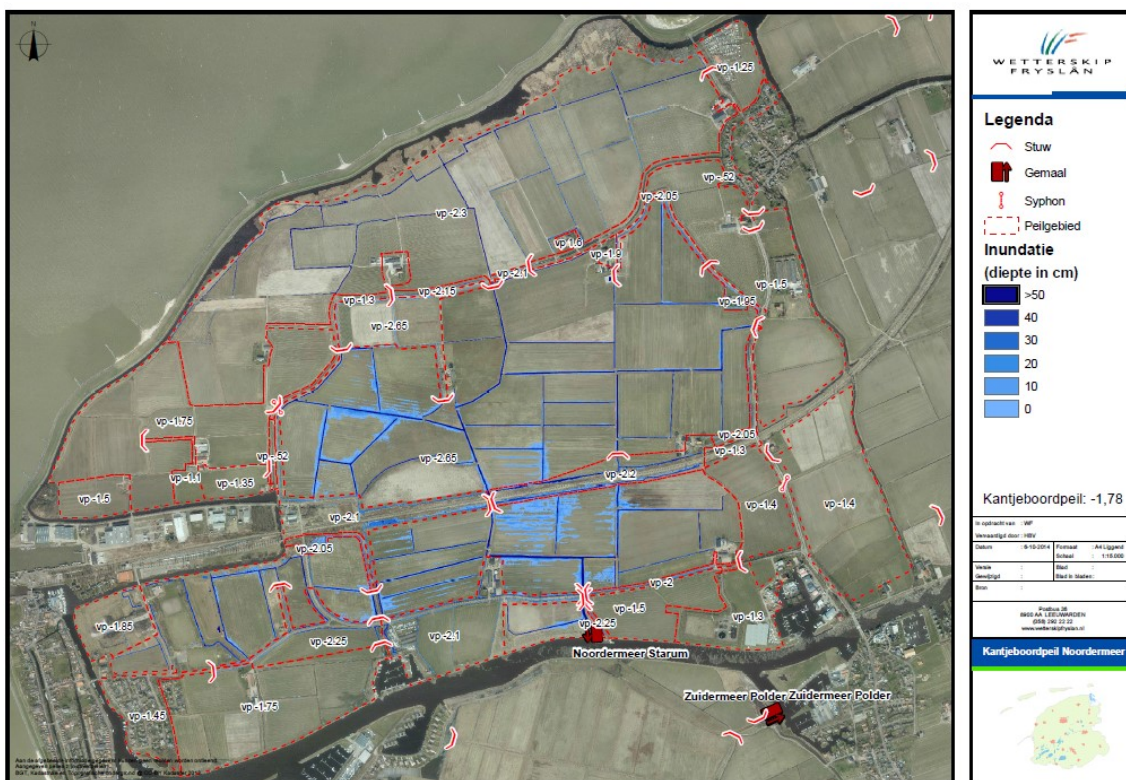
- Vergroten van de gemaalcapaciteit van alle bemalingseenheden met 10 of 20%;

¹ Een toelichting op het bufferen in deelsystemen en de impact hiervan is te vinden in het kader op pagina 26.

- Vergroten van de waterberging in deelsystemen van 2 naar 3% door:
 - Het verbreden van watergangen;
 - De toepassing van groen-blauwe diensten, waarbij waterberging op land plaatsvindt;
 - Andere maatregelen om waterberging te vergroten.
- D3 Automatisering stuwen om water vast te houden.

Bufferen in deelsystemen

Het bufferen in deelsystemen het benutten van de ruimte in de deelsystemen ten gunste van de boezem. Deze maatregel wordt uitsluitend ingezet buiten het groeiseizoen (in de winterperiode). Het betreft het aftoeren of uitzetten van de poldergemalen om de boezem te ontlasten. Er wordt niet actief water ingelaten in de deelsystemen. Zodra de waterstand in de deelsystemen de provinciale norm voor wateroverlast dreigt te overschrijden, worden de poldergemalen weer maximaal benut. Dit is mogelijk met behulp van geautomatiseerde kunstwerken. Het bufferen leidt in geen geval tot inundatie van bebouwing. De schade die ontstaat is daarom beperkt tot gewasschade en structuurschade (voor zover dat in de winterperiode van toepassing is). Onderstaande figuur toont een voorbeeld van de inundatie als gevolg van het bufferen in deelsystemen tot het kritieke peil. Hierbij is ca 10 % van het laagste peilgebied geïnundeerd. Eind 2014 wordt een onderzoek afgerond naar de beschikbare ruimte voor het bufferen.



4.3.1 VERGELIJKING VAN INDIVIDUELE MAATREGELEN

De individuele maatregelen zijn onderling vergeleken op basis van effectiviteit (verlaging van maatgevende waterstand op de boezem), kosten en overige effecten. Alle maatregelen zijn doorgerekend voor 2 verschillende hoogwatergebeurtenissen die beide in de huidige situatie een statistische kans van 1 keer per 100 jaar hebben. De gebeurtenissen onderscheiden zich door gestremde, dan wel niet gestremde lozing, de hoeveelheid neerslag en de windkracht uit zuidwestelijke richting. De effectiviteit van een individuele maatregel kan bij de 2 hoogwatergebeurtenissen verschillen, omdat sommige maatregelen heel effectief zijn bij gestremde lozing en andere juist bij extreme neerslag. Een kostenbatenanalyse,

maatschappelijke kostenbatenanalyse (MKBA) en een multicriteria analyse maken onderdeel uit van de analyse, die is samengevat in factsheets. Bijlage 3 toont deze factsheets.

De kansrijke maatregelen hebben verschillende kenmerken en onderscheiden zich in kosten, effectiviteit (qua waterstandsverlaging) en overige effecten. Het veiligheidsplan richt zich in eerste instantie op het veiligheidsvraagstuk en daarom kan een eerste schifting van maatregelen worden uitgevoerd op basis van kosteneffectiviteit (efficiency). Tabel 8 toont de kosteneffectiviteit van de maatregelen

Zeer kosteneffectieve maatregelen	Kosteneffectieve maatregelen
Maalstop	Gemaal te DNZ
Verkleinen maalcap. deelsystemen	Gemaal te Harlingen
Retentieponders in natuurgebieden	Gemaal Holwerd
Retentieponders in landbouwgebieden	Gemaal Lauwersoog
Anticiperend peilbeheer	
Voortstuwers te DNZ	

Minder kosteneffectieve maatregelen	Lange termijn maatregelen
Boezemuitbreiding	Afkoppelen Linde en Tjonger (TBW)
Optimaliseren zomerpolders	Afkoppelen Greidhoeke (TBW)
Vasthouden in vrij afstromende gebieden	Afkoppelen Kleipolders Hallum-Holwerd (TBW)

Tabel 8 Kosteneffectiviteit maatregelen

Uit modelberekeningen blijkt dat geen enkele individuele maatregel voldoende effectief is om de stijging van de gemiddelde maatgevende boezemwaterstand als gevolg van klimaatontwikkeling te compenseren. Daarom zijn 7 verkennende scenario's opgesteld, waarin in eerste instantie alleen (zeer) kosteneffectieve maatregelen zijn opgenomen.

Aanvulling met (minder) kosteneffectieve maatregelen kan nodig zijn als bepaalde maatregelen niet haalbaar zijn of extra veiligheid gewenst is. Uiteraard moeten de maatregelen binnen een pakket elkaar versterken. (Een combinatie van voortstuwers te DNZ en een gemaal te Lauwersoog is bijvoorbeeld niet effectief.)

Voor maatregelen die "minder kosteneffectief" zijn, zijn er op basis van kosteneffectiviteit (vanuit het veiligheidsvraagstuk) geen argumenten te bedenken om deze in verkennende maatregelenpakketten mee te nemen. Andere redenen zoals integraliteit kunnen wel redenen zijn om deze maatregelen mee te nemen in de maatregelenpakketten. Paragraaf 4.3.2 beschrijft de verkennende maatregelenpakketten.

4.3.2 VERKENNENDE MAATREGELPAKKETTEN

Geen enkele individuele maatregel is voldoende effectief om de stijging van de gemiddelde maatgevende boezemwaterstand te compenseren.

Daarom zijn verkennende maatregelenpakketten samengesteld. Bij de samenstelling van de pakketten zijn de volgende criteria gehanteerd:

- Effectiviteit: het samengestelde maatregelenpakket moet ongeveer in staat zijn om de opgave tot 2050 in te vullen. Elke maatregel moet daar een significante bijdrage aan leveren;

- Gebiedsspecifieke effectiviteit: In de maatregelenpakketten zijn verschillende locaties voor een gemaal opgenomen om de regionale effecten zichtbaar te maken;
- Onderscheidendheid: de pakketten moeten van elkaar verschillen in typen maatregelen zoals pakketten met een gemaal tegenover pakketten zonder gemaal. De voor- en nadelen in effectiviteit, (maatschappelijke) kosten en baten en andere effecten worden duidelijker;
- Uitwisselbaarheid: de pakketten moeten maatregelen bevatten die uitwisselbaar zijn zoals bijvoorbeeld bergen in natuurgebieden uitwisselbaar is met bufferen in de deelsystemen;
- Een gemaal Lauwersoog is in twee verschillende pakketten opgenomen, 1 pakket met boezemuitbreiding en 1 pakket zonder boezemuitbreiding. De pakketten zijn doorgerekend om een vergelijking met het huidige Veiligheidsplan mogelijk te maken, omdat hierin wordt uitgegaan van de realisatie van een gemaal Lauwersoog.

Tabel 9 beschrijft de samenstelling van de verkennende maatregelenpakketten. De maatregelen “anticiperend peilbeheer” en “boezemuitbreiding” maken onderdeel uit van alle maatregelenpakketten (met uitzondering van pakket 1, waar geen boezemuitbreiding in is opgenomen. Het anticiperend peilbeheer is zeer kosteneffectief en wordt op dit moment ook in de praktijk toegepast. De bijdrage van boezemuitbreiding voor de waterveiligheid is beperkt. Het gaat hierbij om iets meer dan 1 cm daling van de maximale waterstand. Gelet op de bijdrage aan de KRW doelstelling is deze maatregelen wel in de maatregelenpakketten opgenomen.

Verkennend pakket nr ->	1	2	3	4	5	6	7
Boezemuitbreiding							
Gemaal Lauwersoog 180 m3/s							
Bufferen in deelsystemen							
Waterberging in natuurgebieden							
Voortstuwen DNZ							
Gemaal Harlingen							
Gemaal Holwerd							
Effectiviteit tot 2050	53%	66%	71%	106%	68%	114%	117%

Tabel 9 Verkennende maatregelenpakketten

De onderste rij van tabel 9 geeft aan welk percentage van de opgave in het zichtjaar 2050 wordt gedicht door de verkennende maatregelenpakketten. Hierbij is de effectiviteit van de verkennende maatregelenpakketten afgewogen tegen de opgave van 10 cm in 2050. In een later stadium worden de verkennende berekeningen gedetailleerder uitgevoerd, zodat ook de effectiviteit iets kan veranderen², zie ook paragraaf 4.4.2. en tabel 13. De pakketten 4, 6 en 7 lijken voldoende effectief en daarom aangeduid als voorkeurspakketten. Omdat het voor de verdere studie wenselijk is om ook een vergelijking te maken met gemaal Lauwersoog, is ook pakket 2 meegenomen. Om voldoende effectief te zijn is dit pakket aangevuld met de waterberging in natuurgebieden.

² De berekende effectiviteit van de verkennende maatregelenpakketten wijkt af van de uiteindelijke effectiviteit van de voorkeurspakketten. Dit komt door:

- Tussentijds doorgevoerde modelverbeteringen
- Een gedetailleerdere schematisatie van de maatregelen
- Het gebruik van de nieuwe (KNMI 2014) klimaatscenario's en daarbij behorende maatgevende hoogwatergebeurtenissen.

4.4 MAATREGELENPAKKETTEN

Uit de verkennende berekeningen (zie paragraaf 4.3 en 4.4) zijn vier voorkeurspakketten gedestilleerd. Deze pakketten zijn:

- A. Bergen en bufferen
- B. Bergen en afvoeren Lauwersoog
- C. Bergen en afvoeren Holwerd
- D. Bergen en afvoeren Harlingen

Tabel 10 toont de opbouw van de voorkeurspakketten. Het realiseren van de geplande boezemuitbreiding, de berging in natuurgebieden en het anticiperend peilbeheer zoals dat op dit moment wordt uitgevoerd is een onderdeel van alle pakketten.

	A	B	C	D
Bufferen in deelsystemen tot inundatie van de 5% laagste delen.				
Uitbreiding van de boezem met 600 hectare in de vorm van open water.				
Aanleg van 1500 hectare waterberging in natuurgebieden.				
Een gemaal Lauwersoog met een capaciteit van 180 m ³ /s.				
Een gemaal Holwerd met een capaciteit van 30 m ³ /s.				
Een gemaal Harlingen met een capaciteit van 30 m ³ /s.				

Tabel 10 Samenstelling voorkeurspakketten

Van deze pakketten is wederom, en in detail, de effectiviteit bepaald. De effectiviteit is daarbij uitgedrukt in zowel een effect op de waterstand, als een kosteneffect (hoeveel levert de investering in maatregelen op per geïnvesteerde euro).

Uitleg capaciteit gemalen Lauwersoog, Holwerd en Harlingen

De capaciteit van de gemalen Holwerd en Harlingen is klein in vergelijking met de capaciteit van gemaal Lauwersoog. De verklaring hiervoor is als volgt:

De maatgevende waterstanden op de Friese boezem komen voor als gevolg van twee type gebeurtenissen, namelijk:

- Extreme neerslag, waarbij spuien op het Lauwersmeer mogelijk is, maar in de zuidwest hoek van het systeem hoge waterstanden voorkomen.
- Gestremde lozing bij Lauwersoog in combinatie met hevige neerslag.

De probabilistische analyse vergelijkt een groot aantal verschillende gebeurtenissen, waarbinnen beide typen ruim vertegenwoordigd zijn. Het realiseren van een gemaal op Lauwersoog zorgt ervoor dat lozen onder vrij verval bij Dokkumer Nieuwe zijlen mogelijk blijft in de hoogwatergebeurtenissen met gestremde lozing. Hiervoor moet, naast het Friese water (ruim 1/3 van het totaal), ook veel water uit Groningen (bijna 2/3 van het totaal) verpompt worden. Van de te realiseren 180 m³/s, komt daarom slechts ca. 70 m³/s ten goede van de Friese boezemafvoer bij Dokkumer Nieuwe Zijlen.

Bovendien komt het vrijwel niet voor dat de vrij verval lozing bij DNZ gedurende een hoogwaterperiode meer dan 3 dagen volledig gestremd is. Dit is slechts een deel van de hoogwaterperiode. De 70 m³/s extra wordt daarom maar een deel (tot maximaal 50%) van de een hoogwaterperiode benut. Deze winst treedt alleen maar op bij gebeurtenissen met gestremde lozing en heeft nauwelijks invloed op de waterstanden tijdens gebeurtenissen met extreme neerslag waarbij spuien op Lauwersoog bij laagtij mogelijk is. Het effect van een gemaal Lauwersoog op de boezem is daarmee, bij een hoogwatergebeurtenis met 5 getijden lang gestremde lozing gerekend over de gehele

hoogwaterperiode, ongeveer 30 m³/s. En voor gebeurtenissen met minder getijden gestremde lozing is dit effect kleiner, tot 0 m³/s in hoogwatergebeurtenissen zonder gestremde lozing op de Waddenzee.

Een gemaal bij Harlingen of Holwerd daarentegen, geeft voor de alle hoogwatergebeurtenissen, ongeacht of stremming gestremde lozing voorkomt of niet, een gegarandeerde extra afvoercapaciteit van 30 m³/s.

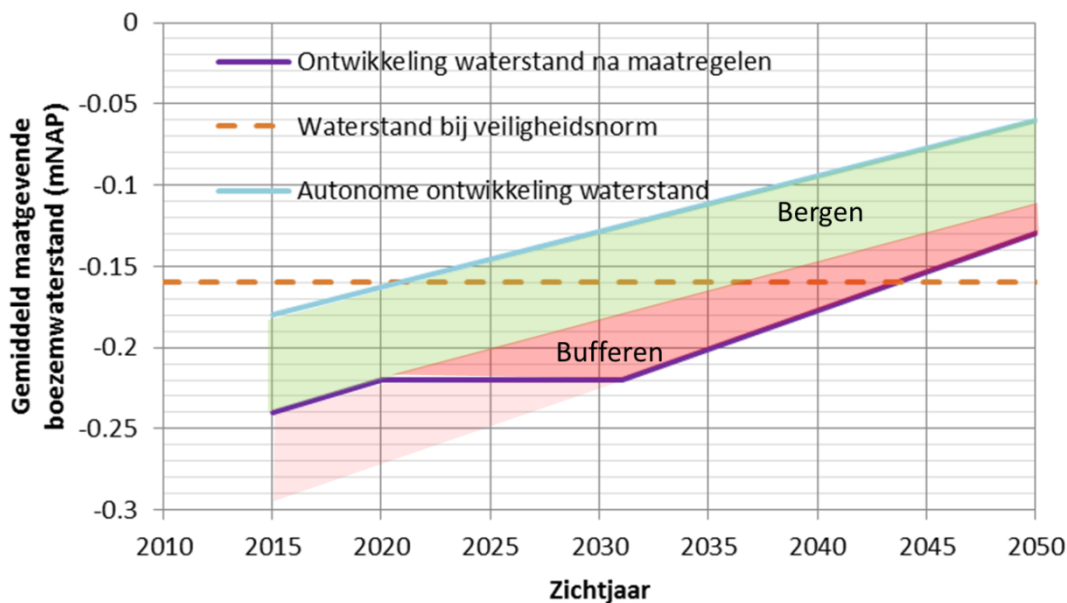
4.4.1 VERGELIJKING EFFECTIVITEIT

De maatregelenpakketten verlagen de maatgevende waterstand in de boezem. Voor ieder pakket is een verlaging berekend voor zowel de huidige situatie (zichtjaar 2015) als het zichtjaar 2050 inclusief klimaatontwikkeling. In de berekeningen is voorbijgegaan aan de realisatietermijn van de maatregelen en wordt, ten behoeve van de onderlinge vergelijkbaarheid uitgegaan dat de maatregelen in 2015 gerealiseerd zijn. De reden hiervoor is enerzijds praktisch (er hoeven slechts voor 2 zichtjaren berekeningen uitgevoerd te worden en het heeft geen invloed op de onderlinge vergelijking van effectiviteit). Ook is voor de tussenliggende periode geen onderbouwing van de klimaatontwikkeling. De realisatietermijnen en bijbehorende fasering komen wel terug in de beschrijving van de vier voorkeursscenario's.

Niet alle maatregelen gedragen zich hetzelfde in de tijd. Zo wordt het bufferen van water in de deelsystemen op termijn minder effectief voor het verlagen van de waterstanden op de boezem en neemt het positieve effect van gemaal Lauwersoog toe met een stijgende zeespiegel. In de pakketten is daarom een indicatieve onderverdeling gemaakt tussen de bijdrages van de individuele maatregelen. Dit geeft inzicht in het gedrag van de maatregelen in de tijd en laat zien in hoeverre maatregelen uitwisselbaar zijn.

Pakket A. Bergen en bufferen

Het realiseren van 1500 hectare waterberging in combinatie met het bufferen in deelsystemen zorgt ervoor dat tot en met 2044 aan de veiligheidsnorm wordt voldaan. Indien de berging direct (per 2015) gerealiseerd wordt, is het bufferen tot 2020 alleen noodzakelijk omdat het kadeherstelprogramma nog in uitvoering is. Na 2020 wordt vanaf een gemiddelde waterstand van -0,22 mNAP het bufferen in toenemende mate ingezet om het systeem voldoende veilig te houden. De inzetfrequentie van het bufferen neemt toe van 1 keer per 100 jaar in 2020 tot 1 keer per ca 30 jaar in 2044.



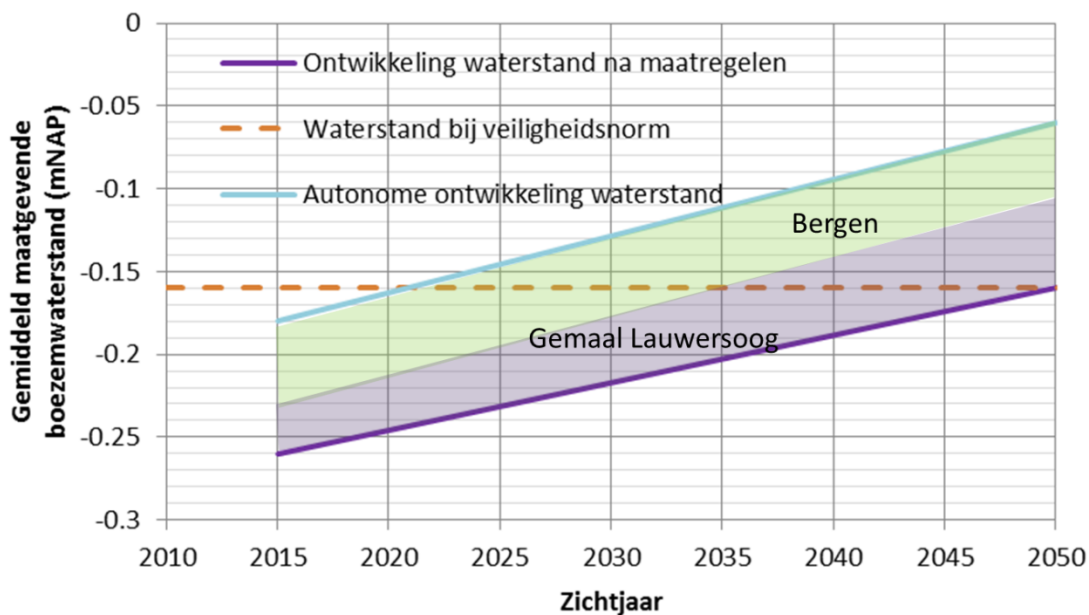
Figuur 6 Effectiviteit bergen en bufferen

Het maatregelenpakket is minder effectief dan in de verkennende maatregelenpakketten. De reden hiervoor ligt in de inpassing van praktijksturing: Het bufferen en bergen is zeer effectief als van tevoren bekend is wat de maximale waterstand wordt. In de praktijk is dat echter niet bekend en worden vanaf een drempelwaarde de maatregelen ingezet. Dit leidt ertoe dat niet voor alle hoogwatergebeurtenissen het maximale uit de maatregelen wordt gehaald.

De effectiviteit van het bufferen neemt af van 6 cm verlaging van de maatgevende waterstand in de huidige situatie, na slecht 2 cm in het zichtjaar 2050. De bruto buffercapaciteit van de deelsystemen blijft hetzelfde. De toename van de neerslaghoeveelheid, als gevolg van klimaatontwikkeling, leidt ertoe dat in een groot aantal deelsystemen zonder maalstop inundatie optreedt van de 5% laagste delen. De deelsystemen zijn immers niet ingericht op het afvoeren van neerslaggebeurtenissen met een herhalingsijd van 100 jaar. In deze deelsystemen is daarom geen extra ruimte beschikbaar om water te bufferen. De netto (voor de boezem beschikbare) buffercapaciteit neemt daarom af. De afvoer op het boezemsysteem blijft gelijk, omdat de capaciteit van de poldergemalen beperkend is.

Pakket B Bergen en gemaal Lauwersoog

Het realiseren van 1500 hectare waterberging en het realiseren van een gemaal Lauwersoog met een capaciteit van 180 m³/s zorgt ervoor dat tot en met 2050 aan de veiligheidsnorm wordt voldaan.

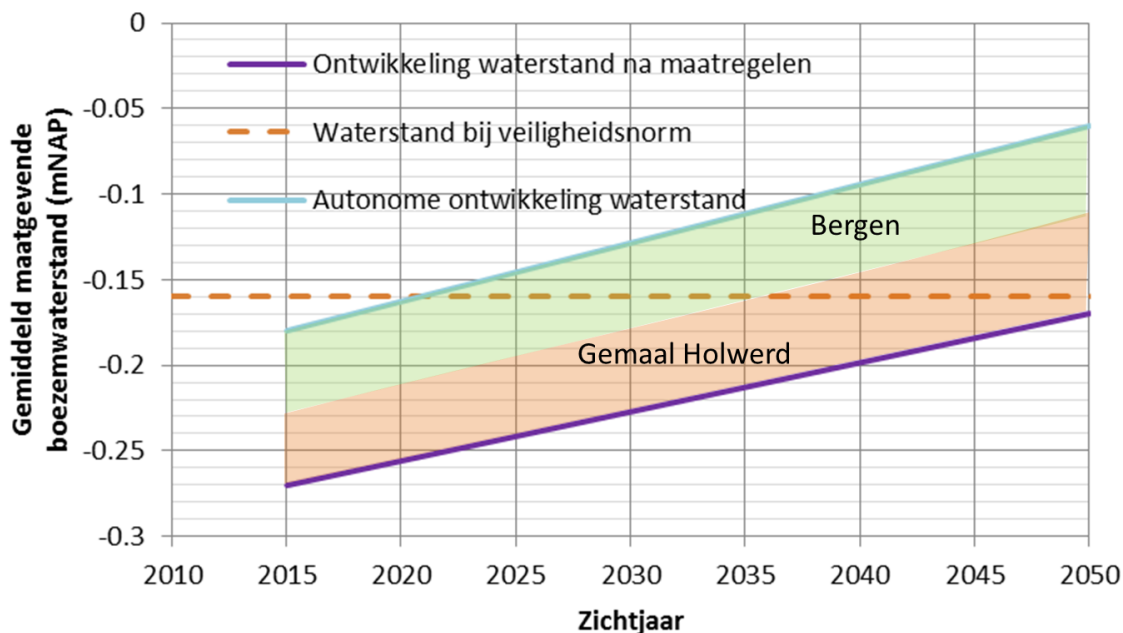


Figuur 7 Effectiviteit bergen en gemaal Lauwersoog

Het gemaal Lauwersoog wordt effectiever als gevolg van klimaatontwikkeling. Door de stijgende zeespiegel neemt de kans op gestremde lozing op de Waddenzee toe. Bovendien is het ook waarschijnlijker dat de gestremde lozing langduriger optreedt.

Pakket C Bergen en gemaal Holwerd

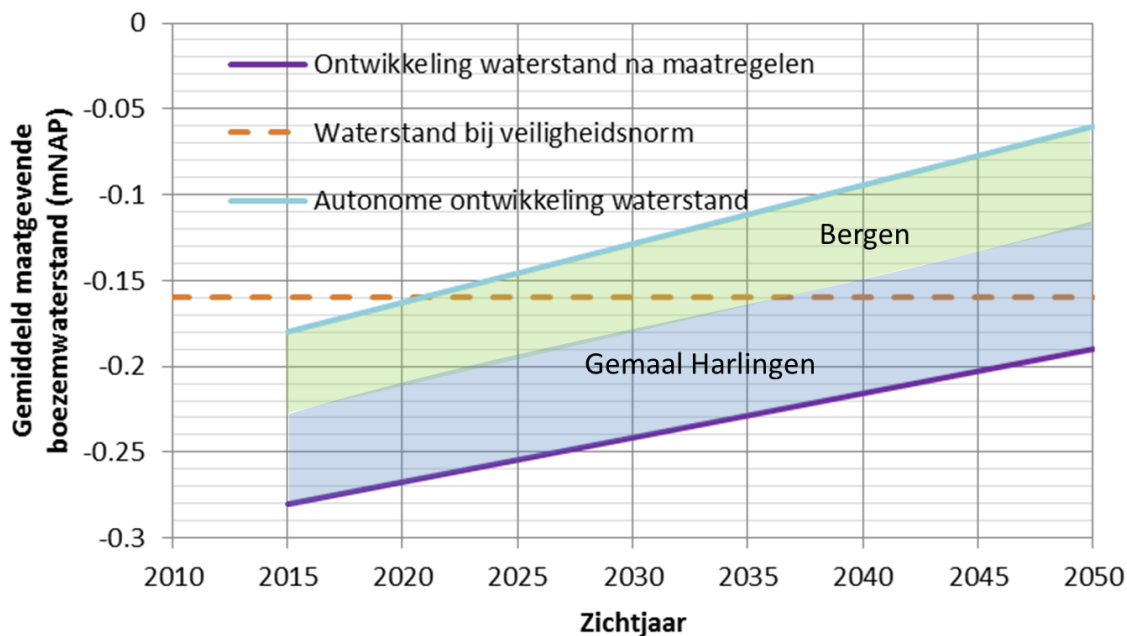
Het realiseren van 1500 hectare waterberging en het realiseren van een gemaal Holwerd met een capaciteit van 30 m³/s zorgt ervoor dat tot na 2050 aan de veiligheidsnorm wordt voldaan.



Figuur 8 Effectiviteit bergen en gemaal Holwerd

Pakket D Bergen en gemaal Harlingen

Het realiseren van 1500 hectare waterberging en het realiseren van een gemaal Harlingen met een capaciteit van 30 m³/s zorgt ervoor dat tot ver na 2050 aan de veiligheidsnorm wordt voldaan.



Figuur 9 Effectiviteit bergen en gemaal Harlingen

Uitwisselbaarheid maatregelen

De effectiviteit van de individuele maatregelen in de pakketten geeft een beeld van de uitwisselbaarheid van maatregelen. Tabel 11 toont de effectiviteit van de individuele maatregelen. Een belangrijke kanttekening hierbij is dat de maatregelen in de pakketten elkaar versterken of tegenwerken, waardoor de effectiviteit van de pakketten niet gelijk is aan de som van de effectiviteit van de individuele maatregelen.

Maatregel	Effectiviteit huidige toestand (2015)	Effectiviteit zichtjaar 2050
Boezemuitbreiding	< 1 cm	< 1 cm
Waterberging in natuurgebieden	6 cm	5 cm
Bufferen in deelsystemen	6 cm	2 cm
Gemaal Lauwersoog 180 m ³ /s	4 cm	6 cm
Gemaal Harlingen	5 cm	7 cm
Gemaal Holwerd	4 cm	5 cm

Tabel 11 Effectiviteit individuele maatregelen in de pakketten

4.4.2 VERGELIJKING EFFECTIVITEIT

Huidige toestand

De effectiviteit van de pakketten wordt uitgedrukt in de mate waarin met de maatregelen aan de veiligheidsnorm wordt voldaan. Tabel 12 laat zien dat alle pakketten ruimschoots aan de norm voldoen in de huidige toestand. Dat is logisch, aangezien het systeem zonder maatregelen ook aan de veiligheidsnorm voldoet. De effectiviteit van de maatregelen in de huidige toestand is noodzakelijk om de ontwikkeling van de effectiviteit in de tijd te bepalen.

	GMB (mNAP)	Vershil (m)
Huidige GMB	-0.18	
A. Bergen en bufferen	-0.24	-0.06
B. Bergen en gemaal Lauwersoog	-0.26	-0.08
C. Bergen en gemaal Holwerd	-0.27	-0.09
D. Bergen en gemaal Harlingen	-0.28	-0.10

Tabel 12 Effectiviteit maatregelenpakketten in de huidige toestand

Voor pakketten C en D wordt de maatregel waterberging (inzet vanaf -0.27 mNAP) niet volledig benut. In pakket A wordt de waterberging wel ingezet, maar is nog geen sprake van het bufferen in deelsystemen (inzet vanaf -0.22 m NAP, gemeten bij Grou). De maatregelenpakketten zijn meer dan voldoende in de huidige toestand, als het kadeherstelprogramma wordt uitgevoerd.

Zichtjaar 2050

Richting het zichtjaar 2050 stijgt de maatgevende waterstand als gevolg van klimaatontwikkeling. De maatregelenpakketten zijn noodzakelijk om de opgave van 10 cm te dichtten, zodat de Friese boezem voldoende veilig is. Tabel 13 toont de maatgevende gemiddelde boezemwaterstanden bij de verschillende maatregelenpakketten in het zichtjaar 2050 en de effectiviteit van de pakketten.

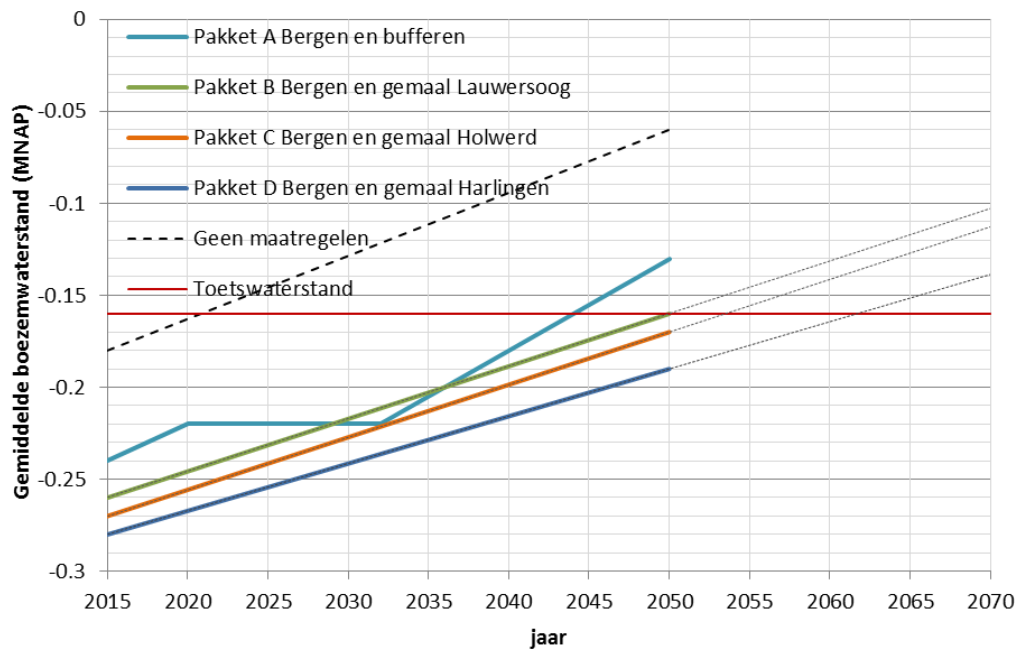
	GMB (mNAP)	Vershil (m)	% realisatie van de opgave
GMB 2050 zonder maatregelen	-0.06		
A. Bergen en bufferen	-0.13	-0.07	70%
B. Bergen en gemaal Lauwersoog	-0.16	-0.10	100%
C. Bergen en gemaal Holwerd	-0.17	-0.11	110%
D. Bergen en gemaal Harlingen	-0.19	-0.13	130%

Tabel 13 Effectiviteit maatregelenpakketten in het zichtjaar 2050

Voor alle pakketten worden de maatregelen maximaal benut. Als gevolg van klimaatontwikkeling, met name een grotere hoeveelheid extreme neerslag in de deelsystemen, is het bufferen in deelsystemen tot de 5% laagste delen minder tot nauwelijks effectief. Het overgrote deel van de laagste delen inundeert, zonder het instellen van het bufferen, als gevolg van onvoldoende afvoercapaciteit richting de boezem. Het watersysteem in de deelsystemen wordt immers ook getoetst op lagere normen en gedimensioneerd op minder extreme hoogwatergebeurtenissen. Pakket A is niet in staat op de opgave volledig in te vullen.

Ontwikkeling in de tijd

Uit de analyse volgt dat in de huidige toestand de maatregelenpakketten een positief effect hebben, maar niet nodig zijn. De maatregelenpakketten B, C en D zijn voldoende effectief om in 2050 te voldoen aan de veiligheidsnorm. Het pakket A. bergen en bufferen voldoet tot het jaar 2044. Figuur 10 geeft dit schematisch weer.



Figuur 10 Ontwikkeling maatgevende waterstand in de tijd (alle maatregelenpakketten) bij directe realisatie van de maatregelenpakketten

Met het maatregelenpakket bergen en gemaal Harlingen wordt extra veiligheid ingebouwd. Bij een lineaire ontwikkeling van de waterstanden als gevolg van klimaatontwikkeling hoeven bij inzet van dit pakket pas na 2060 aanvullende maatregelen worden getroffen. De ontwikkeling van het klimaat en de invloed daarvan op de waterhuishouding is echter zeer onzeker, waarmee het eigenlijk voorbarig is om nu al uitspraken te doen over de periode na 2050.

4.4.3 KOSTENBATENANALYSE

De kosten en baten van de maatregelenpakketten vormen, samen met de effectiviteit, de basis voor onderlinge vergelijking. Voor de maatregelen zijn daarom de volgende uitgangspunten gehanteerd:

Voor de alternatieven zijn investeringskosten en exploitatielasten bepaald. Voor het vaststellen van de kosten zijn de volgende rekenregels gehanteerd:

- Peiljaar: 2013;
- Lineaire afschrijving en een rentepercentage 3,5%. De gemiddelde jaarlijkse rentekosten over de afschrijvingstermijn zijn daarmee 3,5% van de helft van de investering. De inrichtingskosten (van waterbergingsgebieden, boezemuitbreiding) worden over een termijn van 25 jaar afgeschreven. Voor gemalen is een specifieke afschrijvingstermijn gehanteerd.
- De bedragen voor investeringen in de KBA zijn inclusief 21% BTW & 20% VAT kosten;
- De uitkomst van de KBA zal de praktijk benaderen maar de uitkomsten zullen indicatief zijn met een onzekerheidsfactor van $\pm 20\%$.
- Bronvermelding: De opgenomen kengetallen zijn aangeleverd door Wetterskip Fryslân of gebaseerd op een gemiddeld beeld van andere waterschappen en gegevens uit de GWW.
- De beheer en onderhoudskosten bestaan uit personeelskosten, energiekosten, onderhoudskosten, storings- en industrieel reinigen.

In deze richtinggevende studie zijn de jaarlijkse beheer en onderhoudskosten van de grote gemalen geraamd op 0,5% van de totale investering. Nadere uitwerking van de precieze constructie, inzetfrequentie en draaiuren kan hier een nuance op geven. Dit percentage is vergelijkbaar met bestaande grotere gemalen binnen Friesland.

Voor de mogelijke baten van de maatregelenpakketten is gekeken naar eventuele besparingen op het nog uit te voeren deel van het kadeherstelprogramma. Uit de analyse volgt dat alleen mogelijke baten te verwachten zijn bij het realiseren van gemaal Harlingen, doordat de maatgevende waterstanden in 2050 (lokaal) afnemen ten opzichte van de waterstand bij de veiligheidsnorm.

Specifiek voor de individuele maatregelen geldt:

Boezemuitbreiding

Boezemuitbreiding vindt plaats als onderdeel van integrale planvorming. Dit betekent dat een deel van de kosten worden gedragen door derden. De kosten voor boezemuitbreiding volgen uit ervaringscijfers van het waterschap. Het uitgangspunt hierbij is dat de grondaankoop volledig gesubsidieerd wordt en daarmee niet op de exploitatielasten drukt.

Anticiperend peilbeheer

Het anticiperend peilbeheer komt grotendeels overeen met het huidige peilbeheer. De uitvoering is mogelijk met de bestaande infrastructuur. Aan deze maatregel zijn daarom geen kosten verbonden.

Waterbergingsgebieden

Voor de aangewezen bergingsgebieden zijn, op basis van hoogteligging en aanwezige infrastructuur, kosten geraamd voor de inrichting. Daarnaast beschikt het waterschap over ervaringscijfers voor de kosten van de inrichting van reeds aangelegde waterberging. Voor de kostenbatenanalyse is uitgegaan van dit laatste ervaringscijfer, in de veronderstelling dat een slimmere en minder kostbare inrichting mogelijk is. In de bepaling van de kosten is geen rekening gehouden met subsidies.

Gemaal Lauwersoog

In het veiligheidsplan II is een studie uitgevoerd naar de toepassing van pompen (of voortstuwars) in de R.J. Cleveringsluizen. Uit de studie volgt dat het plaatsen van axiaalpompen in de spuikokers, naast de weg, de voorkeur heeft. Twee varianten voor de kostentoedeling zijn meegenomen in deze studie:

- Een 50/50 verdeling van de kosten tussen waterschap Noorderzijlvest en Wetterskip Fryslân.
- Volledige toedeling van de kosten aan Wetterskip Fryslân.

Laatstgenoemde is relevant omdat door Noorderzijlvest de verwachting is uitgesproken dat op korte termijn het verhogen van de kaden rondom het Lauwersmeer veel kosteneffectiever is dan investeren in een gemaal Lauwersoog.

Gemaal Holwerd

Voor de aanvoer richting een, mogelijk te realiseren, gemaal Holwerd is een verbreding van de Holwerter Feart noodzakelijk. Deze ingreep heeft synergie met het initiatief Holwerd aan zee, opgenomen in de Strategische Visie waterrecreatie Noordoost Friesland 2025. In de vergelijking van kosten is daarom in eerste instantie aangenomen dat het verbreden van de Holwerter Feart wordt gefinancierd uit andere middelen. In de uitwerking is wel aangegeven hoe de kosteneffectiviteit verandert als het verbreden wel wordt meegenomen in de kostenbepaling.

Gemaal Harlingen

In het veiligheidsplan zijn verschillende varianten van een gemaal Harlingen beoordeeld. Uiteindelijk is gekozen voor een plaatsing bovenstrooms van de Tjerk Hiddessluizen in het Van Harinxmakanaal, waarbij geen aanvullende voorzieningen getroffen worden om slibaanwas tegen te gaan. Een lozing via bijvoorbeeld een persleiding, om extra slibaanwas te voorkomen, is onvoldoende kosteneffectief en vanuit beheer en onderhoud niet aantrekkelijk. Ook een noordelijke variant, waarbij een gemaal ten noorden van Harlingen wordt gerealiseerd, is minder kosteneffectief. In de uitwerking is wel aangegeven hoe de kosteneffectiviteit verandert als de aanleg van de persleiding wel wordt meegenomen in de kostenbepaling.

Tabellen 14 en 15 tonen de investeringskosten en exploitatiekosten van de maatregelenpakketten. Hierbij is voor maatregelenpakketten B, C en D onderscheid gemaakt tussen verschillende varianten in uitgangspunten. Dit betreft voor het pakket "Bergen en gemaal Lauwersoog" een toedeling van 50% respectievelijk 100% van de kosten aan Wetterskip Fryslân. Voor pakket C "Bergen en gemaal Holwerd" zijn de consequenties van het verbreden van Holwerter Feart in beeld gebracht en voor gemaal Harlingen een variant waarin rekening wordt gehouden met een persleiding om slibproblematiek te voorkomen.

Maatregelenpakket	Boezem- uitbreiding	Anticiperend peilbeheer	Waterbergings- gebieden	Bufferen in deelsystemen	Gemaal Lauwersoog	Gemaal Holwerd	Gemaal Harlingen	Totaal
A. Bergen en bufferen	9 M€	0 M€	12 M€	0 M€				21 M€
B. Bergen en gemaal Lauwersoog (50%)	9 M€	0 M€	12 M€	0 M€	23 M€			44 M€
(100%)	9 M€	0 M€	12 M€	0 M€	45 M€			66 M€
C. Bergen en gemaal Holwerd	9 M€	0 M€	12 M€	0 M€		27 M€		48 M€
<i>Incl. verbreden Feart</i>	9 M€	0 M€	12 M€	0 M€		64 M€		85 M€
D. Bergen en gemaal Harlingen	9 M€	0 M€	12 M€	0 M€			27 M€	48 M€
<i>Incl. persleiding</i>	9 M€	0 M€	12 M€	0 M€			48 M€	69 M€

Tabel 14 Investeringskosten maatregelenpakketten

Maatregelenpakket	Boezem-uitbreiding	Anticiperend peilbeheer	Waterbergings-gebieden	Bufferen in deelsystemen	Gemaal Lauwersoog	Gemaal Holwerd	Gemaal Harlingen	Totaal
A. Bergen en bufferen	525 k€	0 k€	770 k€	0 k€				1295 k€
B. Bergen en gemaal Lauwersoog (100%)	525 k€	0 k€	770 k€		2140 k€			3845 k€
(50%)	525 k€	0 k€	770 k€		1070 k€			2775 k€
C. Bergen en gemaal Holwerd	525 k€	0 k€	770 k€			1280 k€		2575 k€
<i>Incl. verbreden Feart</i>	525 k€	0 k€	770 k€			3290 k€		4585 k€
D. Bergen en gemaal Harlingen	525 k€	0 k€	770 k€				1280 k€	2575 k€
<i>Incl. persleiding</i>							2175 k€	3470 k€

Tabel 15 Exploitatiekosten maatregelenpakketten

4.4.4 KOSTENEFFECTIVITEIT

De verschillende maatregelenpakketten leveren niet allemaal hetzelfde op. Een vergelijking tussen de maatregelenpakketten is pas zuiver als ze langs dezelfde lat worden gelegd. Hier zijn verschillende mogelijkheden voor, zoals:

- Het samenstellen van pakketten met gelijke kosten, waarbij het effect vergeleken kan worden;
- Het samenstellen van pakketten met een gelijk effect op de waterstand, waarbij de kosten vergeleken kunnen worden;
- Het kwantificeren van het effect in relatie tot de investering (wat kost het maatregelenpakket per cm winst).

Laatstgenoemde methode is in dit geval de meest geschikte basis voor vergelijking. Het gelijkstellen van maatregelenpakketten in effectiviteit of kosten is bewerkelijk en leidt tot een suboptimale investering. Voor het realiseren van bijvoorbeeld een gemaal is wenselijk om een capaciteit te kiezen die het meest kosteneffectief is. Of deze dan tot 2050 of 2055 voldoet is in die zin minder relevant voor de investeringsbeslissing.

Tabel 16 toont de effectiviteit en kosten van de maatregelenpakketten, uitgedrukt in de investeringskosten en de exploitatiekosten. De kosteneffectiviteit is uitgedrukt in de kosten (euro) per cm daling van de maximale waterstand in het zichtjaar 2050.

Maatregelenpakket	Investeringskost en	Exploitatiekosten	Exp kosten / cm
A. Bergen en bufferen	€ 21.000.000	€ 1.295.000	€ 185.000
B. Bergen en gemaal Lauwersoog (100%)	€ 66.000.000	€ 3.845.000	€ 385.000
(50%)	€ 44.000.000	€ 2.775.000	€ 280.000
C. Bergen en gemaal Holwerd	€ 48.000.000	€ 2.575.000	€ 235.000
<i>Incl. verbreden Feart</i>	€ 85.000.000	€ 4.585.000	€ 415.000
D. Bergen en gemaal Harlingen	€ 48.000.000	€ 2.575.000	€ 200.000
<i>Incl. persleiding</i>	€ 69.000.000	€ 3.470.000	€ 265.000

Tabel 16 Kosten en kosteneffectiviteit van de maatregelenpakketten

Het pakket A. "Bergen en bufferen" is het meest kosteneffectieve pakket gevolgd door het pakket D "Bergen en gemaal Harlingen".

4.4.5 MAATSCHAPPELIJKE KOSTENBATENANALYSE

Naast de beoordeling van de effectiviteit en kosten, is ook gekeken naar het onderscheid in de maatschappelijke kostenbaten en is een kwalitatieve beoordeling uitgevoerd op 5 aspecten. Tabel 17 toont het resultaat van deze analyse.

Deltares adviseert in haar second opinion (bijlage 1) om in de maatschappelijke kostenbatenanalyse de baten te kwantificeren van een toename in veiligheidsniveau (en daarmee een afname in de inundatiefrequentie). In de huidige analyse is dit niet meegenomen, gelet op de onzekerheid omtrent het falen van keringen (een marge ten opzichte van het toetspeil is onderdeel van de waakhoogte) geen duidelijk beeld gevormd kan worden van de potentiële schade bij een overschrijding van de veiligheidsnorm.

	Landbouw	Scheepvaart	Natuur	Wonen	Werken
A. Bergen en bufferen	- € 10 k€	o	-2 k€	o	o
B. Bergen en gemaal Lauwersoog	o	o	-2 k€	o	o
C. Bergen en gemaal Holwerd	o	o	-2 k€	o	o
D. Bergen en gemaal Harlingen	o	o	-2 k€	o	o

Tabel 17 Maatschappelijke kostenbatenanalyse.

De belangrijkste argumenten uit de maatschappelijke kostenbatenanalyse zijn:

- Voor de aspecten scheepvaart, wonen en werken is geen van de maatregelenpakketten onderscheidend ten opzichte van de anderen;
- De aanvullende maatschappelijke kosten en baten zijn gering in verhouding tot de exploitatiekosten;
- De maatregel waterberging in natuurgebieden leidt tot een toename van de gemiddelde beheerkosten van terrein behorende organisaties.

- Het bufferen in de deelsystemen leidt tot wateroverlast. Met behulp van de waterschadeschatter zijn de maatschappelijke kosten van deze wateroverlast bepaald. Omdat de inundatie in de winter optreedt en het landgebruik overwegend grasland is, is de totale verwachte schade zeer beperkt.

4.4.6 MULTICRITERA ANALYSE

Tabel 18 toont een kwalitatieve beoordeling op 5 aspecten. De bijbehorende argumenten zijn opgenomen in bijlage 4, maar zoals iedere beoordeling is de score en weging subjectief.

	Natuur	Waterkwaliteit	Cultuurhistorie en landschap	Recreatie	Klimaat
A. Bergen en bufferen	+	+	+/-	+	+
B. Bergen en gemaal Lauwersoog	-	+	0	+	+
C. Bergen en gemaal Holwerd	+/-	+	-	+	+
D. Bergen en gemaal Harlingen	+/-	+	-	+	+

Tabel 18 Kwalitatieve beoordeling

De belangrijkste argumenten uit de multicriteria analyse zijn:

- De boezemuitbreiding (in alle pakketten opgenomen) heeft een positief effect hebben op de waterkwaliteit, omdat de verruiming van de boezem mogelijkheden biedt om natuurvriendelijke oevers in te richten met een daaraan gerelateerde positief effect op de ecologische kwaliteit. De natuurvriendelijke oevers dragen bij aan het bereiken van de KRW-doelstelling.
- De aanleg van waterberging in natuurgebieden heeft synergie met de inrichting van de gebieden. Het gemaal Lauwersoog beïnvloedt de dynamiek van het Lauwersmeer.
- De gemalen beïnvloeden de zoet-zout gradient van het Natura2000 gebied Waddenzee. Omdat het gaat om een verstoring, is dit in eerste instantie negatief gescoord. Verder onderzoek is nodig voor een uiteindelijke beoordeling.
- Het creëren van meer ruimte voor water (boezemuitbreiding en in minder mate waterberging, opgenomen in alle pakketten) is klimaatrobust en biedt kansen voor recreatie.

4.5 VOORKEURSALTERNATIEF

Het maatregelenpakket A. Bergen en bufferen is voor de korte termijn kosteneffectief en scoort goed op de maatschappelijke kostenbatenanalyse en multicriteria analyse. Dit pakket past goed bij het leidende principe van vasthouden, bergen en afvoeren. Met het realiseren van de boezemuitbreiding worden meerdere doelen (bijvoorbeeld voor ecologie en natuur) gediend en zijn combinaties mogelijk met projecten van anderen. Door de berging gefaseerd aan te leggen, kan effectief gemonitord worden hoe het klimaat en de waterstanden op de boezem zich daadwerkelijk ontwikkelen en wordt een desinvestering voorkomen (het zijn geen spijt maatregelen). Tot het zichtjaar 2044 wordt met dit maatregelenpakket voldaan aan de veiligheidsnormen.

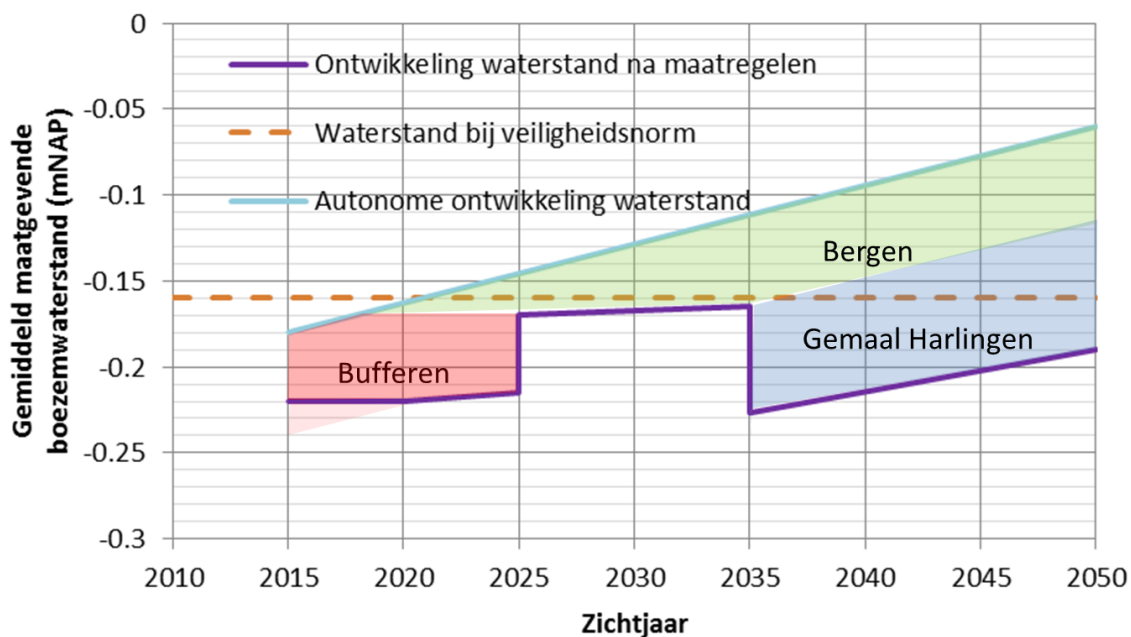
Het maatregelenpakket D. Bergen en gemaal Harlingen is op de lange termijn het meest effectief. Doordat het bufferen op termijn (door klimaatverandering) minder effectief wordt, wordt gekozen voor extra

afvoer richting de Waddenzee. Het gemaal Harlingen ligt relatief dicht bij het centrale deel van de boezem en is voor het invullen van de opgave in het zichtjaar 2050 (als gevolg van klimaatontwikkeling) het meest kosteneffectief. De kosteneffectiviteit weegt in dit geval zwaarder dan de mogelijke kansen die een investering in gemaal Holwerd biedt voor recreatie. Een aandachtspunt bij het realiseren van een gemaal Harlingen is de invloed op de slibaanwas in de haven van Harlingen.

Het voorkeursalternatief bestaat daarom uit de volgende maatregelen (inclusief fasering):

- Tot en met 2025 wordt ingezet op het bufferen in deelsystemen. De frequentie van het bufferen is in de orde van grootte van 1 keer per 7 jaar in de huidige situatie (uitgangssituatie: kaden met hoogtetekort). Als de kades op hoogte zijn is het bufferen in deelsystemen niet meer noodzakelijk.
- In 2018 zijn de eerste natuurgebieden ingericht voor waterberging. Totaal wordt tot en met 2035 gefaseerd 1500 hectare aangelegd. Tot en met 2035 voldoet het watersysteem zonder aanvullende maatregelen aan de veiligheidsnorm.
- In 2035 wordt extra gemaalcapaciteit gerealiseerd, waarbij gemaal Harlingen op dit moment de meest aantrekkelijke locatie is. Het betreft een gemaal van 30 m³/s.

Figuur 11 toont de effectiviteit van het voorkeursalternatief en gemiddelde maatgevende boezemwaterstanden in de periode 2015-2050. In het zichtjaar 2050 voldoet het systeem nog ruim aan de veiligheidsnorm.



Figuur 11 Effectiviteit voorkeursalternatief

5

Resultaten deelsystemen

Het veiligheidsplan II beoordeelt de waterveiligheid van de boezem en de toename van de wateroverlast in deelsystemen als gevolg van klimaatontwikkeling. Dit hoofdstuk presenteert de toestand van de deelsystemen in het zichtjaar 2030 en bestaand beleid, maar ook de resultaten van een onderzoek naar de kosteneffectiviteit van maatregelen om klimaatontwikkeling te compenseren.

5.1 TOESTAND DEELSYSTEMEN IN 2030

In de studie vasthouden, bergen en afvoeren uit 2006 is onderzoek gedaan naar de toestand van de deelsystemen in 2030, waarbij de effecten van de klimaatontwikkeling zijn meegenomen (zie onderstaand kader voor een toelichting op de destijds gebruikte scenario's). De kansen op wateroverlast zijn berekend en deze zijn vergeleken met de regionale normen voor wateroverlast.

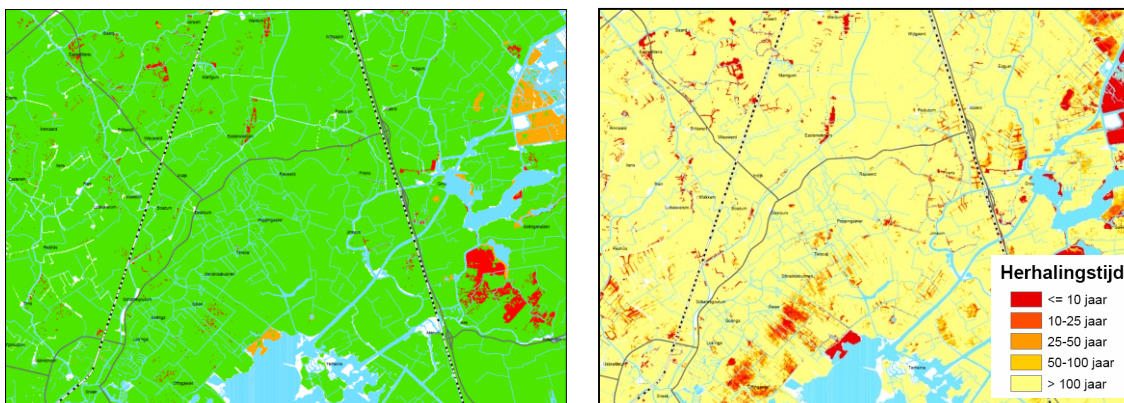
Verschillend gebruik van klimaatscenario's

De toetsing uit 2006 heeft plaatsgevonden met de neerslaggegevens uit het WB21 middenscenario, dat uitgaat van 10 % extra neerslag in 2050 in de zomer. De nieuwste vergelijkbare klimaatscenario's (KNMI'14, G₁) komen ook uit op 10% extra neerslag in 2050. Het W₁ scenario dat voor de boezem is gebruikt gaat uit van 21% extra neerslag in 2050 in de zomer. Dit is daarmee een grotere toename dan verondersteld in de toetsing uit 2006.

Figuren 12a en 12b illustreren de uitkomsten van de berekeningen uit 2006. Beide figuren betreffen slechts een deel van ons beheergebied, maar zijn wel representatief voor de uitkomsten voor het hele beheergebied. Het betreffende gebied heeft de functie grasland, waarvoor een kans op wateroverlast geldt van 1 keer per 10 jaar waarbij 5% van het maaiveld mag inunderen.

In de linker figuur (12a) wordt aangegeven of het gebied in 2030 voldoet aan de norm voor wateroverlast voor de functie grasland. De groene gebieden voldoen aan de norm. De rode gebiedjes voldoen niet aan de norm. In de oranje gebieden komt de getoetste functie niet voor (Het gaat hier om natuurgebieden waarvoor geen norm geldt).

In figuur 12b staat de feitelijke herhalingsstijd van wateroverlastsituaties aangegeven. Uit deze figuur blijkt, dat in een groot deel van het gebied de feitelijke herhalingsstijd boven de 1 keer per 100 jaar ligt en dat de waterhuishouding in het gebied dus beter is ingericht dan volgens de norm voor grasland nodig is.



Figuur 12a Uitkomst toetsing aan norm grasland in 2030 12b Feitelijke herhalingsstijd wateroverlast

Het algemene beeld voor ons beheergebied is dat onze deelsystemen in 2030 ruim voldoen aan de normen. Volgens de toetsing voldoet een klein deel van het beheergebied ter grootte van 4800 ha in 2030 niet aan de normen. Dit is 1,6% van het getoetste gebied. Van de 4800 ha gaat het voor 3000 ha om grasland, voor 1650 ha om bouwland en voor 150 ha om stedelijk gebied. Knelpunten (als gekeken wordt naar de norm) zijn kleinschalig en met name in de laagste peilgebieden van de deelsystemen aanwezig.

De conclusie uit de toetsing van 2006 is dat er in de periode 2015-2030 een beperkt aantal maatregelen nodig is om aan de normering voor regionale wateroverlast te voldoen.

5.2 MAATREGELEN STUDIE VASTHOUDEN, BERGEN EN AFVOEREN 2006

In de studie vasthouden, bergen en afvoeren uit 2006 zijn in het kader van de trits vasthouden, bergen en afvoeren drie maatregelen opgenomen. Het veiligheidsplan uit 2008 heeft deze maatregelen ongewijzigd overgenomen. Het gaat om volgende maatregelen tot 2030:

- 1650 ha extra waterberging;
- automatisering van stuwen in 40.000 ha;
- 10% extra maalcapaciteit in 20.000 ha;

Met de realisatie van de maatregelen worden 2 doelstellingen voor de bestrijding van wateroverlast gerealiseerd te weten:

1. Een specifieke gebiedsdoelstelling voor gebieden die niet aan de norm voldoen voor regionale wateroverlast (de rode gebiedjes in figuur 12a aanpakken)
2. Een generieke doelstelling voor het gehele beheergebied: De verslechtering door klimaatontwikkeling moet gecompenseerd worden (de herhalingsstijd zoals in figuur 12b mag niet veranderen). De waterberging neemt toe met 1%

De conclusie in de studie VBA was destijds, dat met deze maatregelen alle gebieden in 2030 aan de norm zouden voldoen en er geen verslechtering door klimaatontwikkeling zou optreden. Met de maatregel waterberging wordt niet alleen wateroverlast bestreden, maar worden ook doelen op het gebied van waterkwaliteit en ecologie, efficiënt beheer en onderhoud en betere wateraan- en afvoer gediend.

In het kader van de watergebiedsplannen zijn en worden maatregelen getroffen om gebieden aan beide opgaven te laten voldoen, waardoor het percentage dat niet voldoet inmiddels lager is. Van de totale opgave van 1650 ha is inmiddels 400 ha gerealiseerd. Door de uitvoering van maatregelen voldoen in 2030 alle gebieden aan de norm.

5.3 EFFECTIVITEIT EN KOSTENBATENANALYSE MAATREGELEN

In dit Veiligheidsplan II zijn de effectiviteit en de kostenbatenverhouding van de verschillende maatregelen om klimaatontwikkeling te compenseren onderzocht. Het gaat om het voorkomen van wateroverlastsituaties die buiten de norm plaatsvinden. Het onderzoek omvat het doorrekenen van meerdere hoogwatersituaties voor een landbouwpolder. Uit het onderzoek blijkt, in het algemeen, dat de maatregelen om klimaatontwikkeling te compenseren niet kosteneffectief zijn. De vermindering van de schade weegt niet op tegen de kosten van de maatregelen [Ref 2]. De kostenbatenverhouding is wel afhankelijk van de grondgebruiksfuncties. In de akkerbouwgebieden is de kostenbatenverhouding anders dan in graslandgebieden, omdat de schade in akkerbouwgebieden door wateroverlast groter is dan in graslandgebieden.

Als toch maatregelen genomen gaan worden om de klimaatontwikkeling te compenseren is het realiseren van extra berging het meest kosteneffectief, omdat hiermee ook andere doelen van het waterschap gerealiseerd kunnen worden, zoals extensiveren van het onderhoud en ecologische doelen. De uitbreiding van waterberging van 2 naar 3 procent is een gemiddelde toename. In de situatie die is doorgerekend op kosteneffectiviteit bleek dat met deze toename de klimaatopgave voor 160% gecompenseerd wordt. Per gebied moet daarom beoordeeld worden hoeveel extra berging voldoende is om de klimaatontwikkeling te compenseren.

Het vergroten van de afvoer (gemaalcapaciteit) is minder kosteneffectief dan waterberging en heeft een negatief effect op het boezemsysteem door de versnelde afvoer van water naar de boezem. Een generieke toepassing van deze maatregel voor het gehele beheergebied ligt daarom niet voor de hand.

Het vasthouden in het systeem (door middel van de inzet van automatische stuwen) zorgt niet voor minder wateroverlast, maar verdeelt deze over de peilgebieden en zorgt voor een ontlasting van laag gelegen peilgebieden. Ook voor deze maatregel is de generieke toepassing voor ons beheergebied minder voor de hand liggend. De automatisering van stuwen kan voor hellende gebieden nog wel van betekenis zijn in het voorkomen van wateroverlast benedenstrooms.

5.4 NORMOPGAVE

Voor gebieden die nog niet aan de norm voor regionale wateroverlast voldoen geldt een inspanningsverplichting. Voor die gebieden moeten maatregelen getroffen worden, waarbij waterberging de beste maatregel is. Het uitbreiden van maalcapaciteit en het automatiseren van stuwen wordt alleen in specifieke situaties toegepast, waar dit aantoonbaar effect heeft.

Waterberging kan worden gerealiseerd door open water te graven maar ook door het instrument van groenblauwe diensten toe te passen. In het kader van de (water)gebiedsplannen worden deze maatregelen de komende jaren uitgevoerd. Bij de uitvoering van maatregelen wordt wel een kostenbaten analyse uitgevoerd. Dat kan leiden tot toekenning van een lagere norm.

In 2030 zal door de uitvoering van deze maatregelen 100% van het beheergebied voldoen aan de norm. Grote delen van het beheergebied functioneren dan nog steeds beter dan de norm. De kosten voor het voldoen aan de regionale normering worden gedekt uit het uitvoeringsbudget voor de inrichting van watersystemen.

5.5 KLIMAATOPGAVE

Het beleid om de klimaatontwikkeling te compenseren is in 2006 in het kader van de studie Vasthouden, bergen en afvoeren vastgesteld. Aan het huidige beleid om de klimaatontwikkeling tot en met 2030 te compenseren zijn voor- en nadelen verbonden. De voordelen zijn dat:

- de plus in de deelsystemen (beter ingericht dan de norm) ook in de toekomst behouden blijft. De robuustheid van de deelsystemen blijft op hetzelfde niveau, de kans op wateroverlast zal niet toenemen.
- met de realisatie van waterberging ook andere opgaven worden gediend zoals KRW-opgaven, minder onderhoud, beter aan- en afvoermogelijkheden.

De nadelen van het beleid zijn dat:

- aan het realiseren van waterberging hoge kosten zijn verbonden, die niet in verhouding staan tot de baten. Uit een financieel economisch oogpunt kan het niet uit.
- de benodigde grond mondjesmaat ter beschikking komt voor waterberging. Het draagvlak voor het realiseren van waterberging op landbouwgronden is gering. Men accepteert liever enige mate van wateroverlast die zo nu en dan optreedt dan dat structureel grondverlies optreedt door het vergraven naar open water. Vrijwillige medewerking is het uitgangspunt voor het verkrijgen van grond voor de waterberging. Op basis van de ervaringen uit de watergebiedsplannen mag verwacht worden dat de realisatie van deze maatregel traag verloopt en in 2030 slechts voor een deel is gerealiseerd.
- Als dit beleid voor de toekomst na 2030 blijft gehandhaafd, zal ook na 2030 extra geïnvesteerd moeten worden om de klimaatopgave te compenseren.

Ook als we niets doen aan de klimaatcompensatie tot 2030 blijven de watersystemen goed op orde. De kans op wateroverlast neemt toe, maar de deelsystemen blijven aan de norm voldoen.

Rekening houdend met het bovenstaande wordt de volgende beleidslijn voorgesteld:

De uitvoerbaarheid van maatregelen om de huidige situatie in de deelsystemen in de toekomst te behouden staat of valt met de medewerking van grondbezitters. Het waterschap werkt aan de realisatie van waterberging om de huidige situatie (huidige kans op wateroverlast) zoveel mogelijk te behouden als de daarvoor benodigde gronden ter beschikking worden gesteld. Per deelsysteem moet beoordeeld worden hoeveel extra waterberging nodig is om de huidige situatie te behouden.

Vrijwilligheid is het uitgangspunt bij de beschikbaarstelling van gronden voor waterberging. Ook deze maatregel is net zoals boezemuitbreiding een voorwaardelijke maatregel. Het realiseren van waterberging kan in combinatie worden uitgevoerd met andere waterschapsopgaven voor KRW e.d. en vergroeningseisen vanuit het Gemeenschappelijk Landbouw Beleid.

Gemeenschappelijk Landbouw Beleid

Vanuit het Gemeenschappelijk Landbouw Beleid komen de komende 6 jaar POP-gelden beschikbaar. Jaarlijks gaat het om ca. € 6 miljoen inclusief cofinanciering. Vanuit de vergroeningseisen voor de landbouw kunnen agrariërs bij de uitvoering van maatregelen subsidie ontvangen voor o.a. natuurvriendelijke oevers, waarmee ook open waterberging wordt gerealiseerd. Ook het waterschap kan een beroep doen op deze subsidies.

De theoretische opgave is 1650 ha, waarvan inmiddels 400 ha is gerealiseerd. Theoretisch betekent in dit verband dat open waterberging wordt gerealiseerd om klimaatontwikkeling te compenseren. Als in overleg met de streek wordt besloten geen maatregelen te treffen of als groenblauwe diensten worden ingezet, wijzigt de opgave.

De resterende opgave bedraagt ca. 1250 ha. Deze opgave zou volgens het Veiligheidsplan 2008 tot 2030 gerealiseerd moeten worden om de klimaatontwikkeling te compenseren. Op basis van de berekening, die in het kader van Veiligheidsplan II is gemaakt kan geconstateerd worden dat er dan wel sprake is van overcompensatie. In dat verband wordt de termijn voor realisatie getemporeerd tot 2050. In de komende jaren zal een nieuwe toetsing voor de deelsystemen worden uitgevoerd, waarin de nieuwste methodieken en klimaatscenario's worden meegenomen.

Het waterschap betaalt de inrichtingskosten tot een maximum bedrag van € 20.000 per ha gerealiseerde waterberging. In situaties dat meerdere opgaven worden gediend kan een extra bijdrage worden verleend. Elk jaar wordt opnieuw beoordeeld welk budget beschikbaar is voor deze maatregel. Uitgangspunt is dat de huidige budgetten voor de inrichting van watersystemen voldoende zijn om de kosten te dekken.

5.6 OVERZICHT MAATREGELN DEELSYSTEMEN

In tabel 19 wordt een overzicht gegeven van de opgaven van het huidige en nieuwe beleid.

	Maatregel	Te realiseren van 2015 tot 2030	Te realiseren van 2030 tot 2050
Huidig beleid Veiligheidsplan 2008	Waterberging	1650 ha	nvt
	Geautomatiseerde stuwen	40.000 ha	
	Extra maalcapaciteit	10 % extra in 20.000 ha	
Nieuw beleid Veiligheidsplan II	Waterberging	520 ha theoretisch*	730 ha theoretisch*
	Geautomatiseerde stuwen	0 ha	0 ha
	Extra maalcapaciteit	0 ha	0 ha

Tabel 19 Overzicht maatregelen deelsystemen, huidig beleid en nieuw beleid

*Voorwaardelijke opgave, afhankelijk van medewerking grondbezitters en afhankelijk van type maatregel (groenblauwe dienst of vergraven grond tot water)

6

Conclusies

Het veiligheidsplan II leidt tot conclusies ten aanzien van het beleid om wateroverlast op de korte en lange termijn tegen te gaan. Daarbij wordt ingegaan op noodzakelijke maatregelen en onderscheid gemaakt tussen:

- De waterveiligheid van de Friese boezem, inclusief het kadeherstelprogramma en fasering;
- De effecten van klimaatontwikkeling in de deelsystemen;
- De fasering van noodzakelijke maatregelen
- Inbedding van maatregelen in het meerjarenprogramma

6.1 WATERVEILIGHEID BOEZEM

In het veiligheidsplan II is met behulp van een probabilistische berekeningsmethode getoetst of de Friese boezem voldoet aan de veiligheidsnormen. Met deze methode, afwijkend van de (in eerdere studies toepaste) tijdreekmethode, kan een goed beeld gevormd worden van het gedrag van het watersysteem bij verschillende type hoogwatergebeurtenissen. Voor de berekeningen is een nieuw, betrouwbaar, model ontwikkeld op basis van de meest recente gegevens en inzichten. Bovendien is het anticiperend peilbeheer, dat nu al in de praktijk wordt toegepast, geïmplementeerd in het model. Met een rekenmodel is aangetoond dat de Friese boezem op korte termijn aan de norm voldoet indien alle kaden op hoogte zijn gebracht. De gemiddelde maatgevende boezemwaterstand is 2 cm lager (-0.18 mNAP) dan de waterstand die hoort bij de veiligheidsnorm (-0.16 mNAP).

Door de toepassing van probabilistische berekeningen, waarmee extreme hoogwatersituaties worden gesimuleerd en het gebruik van de nieuwste klimaatscenario's zijn de uitkomsten van het Veiligheidsplan II anders dan de uitkomsten van het Veiligheidsplan 2008. De boezemopgave volgens het Veiligheidsplan II is groter en de effectiviteit van het Lauwersooggemaal is kleiner dan in het Veiligheidsplan uit 2008.

6.1.1 OP LANGE TERMIJN ONVOLDOENDE VEILIG

Als gevolg van klimaatontwikkeling neemt de intensiteit en hoeveelheid neerslag toe. Bovendien daalt de totale afvoer capaciteit van de Friese boezem als gevolg van zeespiegelstijging en neemt de kans op gestremde lozing op de Waddenzee toe. Berekeningen met de meest actuele klimaatscenario's (KNMI 2014) wijzen uit dat naar verwachting in 2020 het watersysteem niet meer voldoende veilig is. De gemiddelde maatgevende boezemwaterstand stijgt tot en met het zichtjaar 2050 met 12 centimeter tot -0,06 mNAP en is daarmee 10 cm hoger dan de waterstand die hoort bij de veiligheidsnorm (-0.16 mNAP). Daarom zijn op termijn aanvullende (watersysteem-) maatregelen noodzakelijk.

6.1.2 VOORKEURSPAKKET MAATREGELLEN

In het veiligheidsplan II is, voortbordurend op de resultaten van de studie VBA, het veiligheidsplan I (2008) en de actualisatie hierop, verkend wat de meest kansrijke maatregelen(pakketten) tot en met het zichtjaar 2050 zijn om aan de veiligheidsnorm te voldoen. Maatregelen en maatregelenpakketten zijn onderling vergeleken op basis van effectiviteit, kosteneffectiviteit, maatschappelijke kosteneffectiviteit en een kwalitatieve beoordeling van overige aspecten.

De onderlinge vergelijking van de maatregelenpakketten wijst uit dat op de lange termijn het volgende maatregelenpakket het meest aantrekkelijk is op de lange termijn:

- Realiseren van 600 hectare boezemuitbreiding;
- Inrichten van 1500 hectare waterberging in natuurgebieden;
- Realiseren van een gemaal Harlingen met een capaciteit van 30 m³/s.

Een aandachtspunt bij het realiseren gemaal Harlingen is de invloed op de slibaanwas in de haven van Harlingen. Hiervoor wordt op dit moment nader onderzoek uitgevoerd.

Op de korte termijn is het bufferen in deelsystemen en het realiseren van waterberging in natuurgebieden het meest effectief. Zolang het kadeherstelprogramma niet is voltooid, is het bufferen in de deelsystemen noodzakelijk om aan de norm te voldoen. Dit biedt de ruimte om waterberging en boezemuitbreiding gefaseerd aan te leggen, waardoor maximale synergievoordelen kunnen worden gezocht. In paragraaf 6.1.5. wordt aangegeven hoe de fasering van maatregelen eruit ziet.

6.1.3 RELATIE KADEHERSTELPROGRAMMA

In het kadeherstelprogramma zijn maatgevende waterstanden bepaald met de in 2002 bestaande afvoer- en bergingsvoorzieningen van de boezem. Door de sinds 2002 uitgevoerde watersysteemmaatregelen is de gemiddeld maatgevende waterstand nu 2 cm lager (18 cm onder N.A.P) dan verondersteld. In de berekeningen die nu in het kader van het Veiligheidsplan II zijn uitgevoerd, is de in 2002 vastgestelde maatgevende boezemwaterstand als uitgangspunt genomen. Daarbij is er van uitgegaan dat alle kaden op hoogte zijn en dus voldoen aan de maatgevende boezemwaterstand. Theoretisch is er, gezien de nu berekende 2 cm lagere gemiddelde maatgevende boezemwaterstand sprake van een plus in de veiligheidssituatie.

Door de klimaatontwikkeling stijgt de gemiddelde maatgevende boezemwaterstand tot 2050 met 12 cm tot 6 cm onder N.A.P. De huidige kaden zijn niet voldoende hoog om deze waterstand te keren. Met de voorgestelde combinatie van de maatregelpakketten "bergen en bufferen" en "bergen en gemaal Harlingen" kan de stijging van de boezemwaterstand worden gecompenseerd tot 2050 met een kleine plus. Randvoorwaarde is dat het kadeherstelprogramma voltooid moet worden met de huidige gemiddelde maatgevende waterstand. Daarom zijn op de lange termijn geen besparingen mogelijk op het kadeherstelprogramma.

De nadruk bij de besluitvorming in het kader van het veiligheidsplan I (2008) lag vooral op een korte termijn besparing (binnen het kadeherstelprogramma). De verschoven kadewerken na 2019 zouden uiteindelijk ook weer uitgevoerd moeten worden in de jaren na 2019. In het huidige onderzoek is gekeken naar de gehele periode 2015-2050. Op grond van de berekeningen is de conclusie dat in deze gehele periode met de doorgerekende maatregelpakketten geen besparingen mogelijk zijn.

6.1.4 VERSNELDE REALISATIE GEMAAL HARLINGEN VERSUS KADEHERSTEL

Een veilige boezem, die voldoet aan de norm, wordt met een combinatie van twee typen maatregelen gerealiseerd. Ten eerste kunnen kaden worden verhoogd om het water te keren en ten tweede kunnen watersysteemmaatregelen zoals een gemaal worden gerealiseerd om de waterstand op de boezem te beheersen. Lagere kaden betekent dat er meer watersysteemmaatregelen moeten worden getroffen en andersom geldt dit ook.

Een deel van kaden voldoet nog niet aan de norm, waarmee de boezem als geheel nog niet voldoet. De vraag doet zich dan voor of het vanwege extra veiligheid op korte termijn efficiënt is te investeren in een boezemgemaal.

Een gemaal in Harlingen in 2020 betekent dat een extreme hoogwatersituatie tot een ca. 4 cm lagere boezemwaterstand leidt dan in de situatie zonder gemaal. Ca. 110 km kaden heeft in 2020 een hoogtetekort van 20 cm en meer. Formeel voldoet de boezem dan nog steeds niet aan norm. Het kadeherstelprogramma versneld uitvoeren met afronding in 2020 betekent dat een ca. 14 cm hogere boezemwaterstand kan worden gekeerd. Omdat alle kaden dan aan de norm voldoen, voldoet het gehele boezemsysteem.

De totale investeringskosten om alle kaden op orde te brengen bedragen ca. € 54 miljoen. De totale investeringskosten voor kadeherstel in de periode 2015-2020 bedragen volgens de huidige MP-budgetten ca. € 27 miljoen. Om alle kaden in 2020 op orde te hebben moet in de periode 2015-2020 € 27 miljoen extra worden geïnvesteerd in het kadeherstelprogramma. De kosten van de versnelde uitvoering van het kadeherstelprogramma zijn gelijk aan de kosten van het gemaal Harlingen. In onderstaande tabel 20 worden beide opties vergeleken.

Optie	Investeringskosten	Effect in cm's	Kosteneffectiviteit in investering (€) per cm
Kaden op hoogte in 2020	€ 27 miljoen	14	€ 1,9 miljoen
Gemaal Harlingen in 2020 gerealiseerd	€ 27 miljoen	4	€ 6,8 miljoen

Tabel 20 Verschillen kosteneffectiviteit kaden op hoogte in 2020 en gemaal Harlingen in 2020

De investeringen in kaden zullen wel de komende jaren moeten plaatsvinden en dat heeft in de periode 2015-2020 een geleidelijke stijging van de lasten en tarieven tot gevolg. Het gemaal heeft in 2020 een sprong in de lasten en tarieven tot gevolg.

De conclusie is dat als op korte termijn extra veiligheid gewenst is het efficiënter is om het kadeherstelprogramma te versnellen dan een gemaal te bouwen. Het versnellen van het kadeherstelprogramma voldoet ook beter aan de principes van vba, no-regret, integraliteit. Het versnellen van het kadeherstel heeft tot effect dat het bufferen in deelsystemen na 2020 niet meer nodig is om aan de norm te voldoen. Bij een gemaal Harlingen in 2020 kan niet worden uitgesloten dat bufferen nog tot 2025 moet worden ingezet vanwege te lage kaden.

6.1.5 FASERING

Tot 2025 bufferen in deelsystemen

Voor de periode van 2015 tot 2025 kan door inzet van buffering in de deelsystemen en met voltooiing van het kadeherstelprogramma de kans op wateroverlast zodanig beperkt worden, dat nog wel aan de provinciale norm kan worden voldaan. Dit betekent wel dat periodiek gebufferd wordt met een wisselende omvang. Deze frequentie is in de orde van grootte van 1 keer per 7 jaar in de huidige situatie (uitgangssituatie: kaden met hoogtetekort) en 1 keer per 10 jaar in 2025 (uitgangssituatie: kaden op

hoogte). De frequentie en de omvang van het bufferen voldoen dan nog aan de regionale norm voor wateroverlast voor grasland.

Of deze beheermaatregel ook werkelijk ingezet gaat worden zal nader onderzocht worden. In het vervolgonderzoek zal de maatschappelijke acceptatie van deze maatregel nadrukkelijk besproken dienen te worden. Het overleg met stakeholders maakt daar onderdeel van uit. Ook in andere waterschappen wordt die discussie gevoerd.

Vanaf 2018 inrichten van bergingsgebieden

Vanaf 2018 wordt geleidelijkerwijs 1500 hectare waterberging gerealiseerd in natuurgebieden. De waterberging is in 2035 voltooid. Als gevolg van de waterberging en het voltooiën van het kadeherstelprogramma is vanaf 2025 het bufferen niet meer noodzakelijk.

In 2035 extra gemaalcapaciteit bij Harlingen

Als voor de korte termijn het bufferen in deelsystemen wordt ingezet en waterberging wordt ingericht, zijn vanaf 2035 extra infrastructurele maatregelen nodig om ook na 2035 aan de provinciale norm te voldoen. Hoewel voor de boezem in theorie pas na 2035 maatregelen moeten worden genomen, vragen ruimtelijke maatregelen door hun voorbereiding en gefaseerde realisatie een lange uitvoeringsperiode, voordat het volledige effect op het voorkomen van wateroverlast beschikbaar is. Dit soort projecten worden bovendien vaak in combinatie met kade- en oeverwerken of provinciale projecten gerealiseerd, waar ook andere sturingsfactoren van toepassing zijn. Ook de realisatie van een gemaal Harlingen met een omvang van 30 m³/s, zoals in de maatregelpakketten is opgenomen, vraagt een aantal jaren voorbereidings- en uitvoeringstijd. In verband met de voorbereidings- en uitvoeringstermijn van deze maatregelen is het raadzaam om al voor 2035 te starten met de uitvoering.

6.2 KLIMAATONTWIKKELING EN WATEROVERLAST DEELSYSTEMEN

Naast een toetsing van de veiligheid van de boezem, is ook beoordeeld in hoeverre maatregelen om de effecten van klimaatontwikkeling op wateroverlast in de deelsystemen kosteneffectief zijn.

Het algemene beeld voor ons beheergebied is dat onze deelsystemen in 2030 ruim voldoen aan de normen voor wateroverlast. Er is een beperkt aantal maatregelen nodig om aan de normering voor regionale wateroverlast te voldoen. Voor alle deelsystemen geldt tevens op basis van het huidige waterschapsbeleid dat de kans op wateroverlast niet mag verslechteren door de klimaatontwikkeling. Om dit beleid uit te voeren zijn omvangrijke maatregelen noodzakelijk.

Onderzocht is welke maatregelen het meest (kosten)effectief zijn om de klimaatontwikkeling te compenseren. Voor de deelsystemen zijn berekeningen uitgevoerd om de effectiviteit van maatregelen te bepalen. Het gaat om de maatregelen:

- extra maalcapaciteit;
- water vasthouden met behulp van geautomatiseerde stuwen;
- waterberging door het verbreden van hoofdwatgangen

Uit een analyse van hoogwatergebeurtenissen voor een representatieve landbouwpolder blijkt dat waterberging de meest effectieve maatregel is van de drie. Het automatiseren van stuwen is niet effectief. Het vergroten van maalcapaciteit voorkomt evenmin wateroverlast, maar verkort wel de duur daarvan.

Geen enkele maatregel is kosteneffectief, waterberging is van de drie maatregelen de meest kosteneffectieve. Nieuw beleid dient zich te richten op het zoveel mogelijk vrijwillig inrichten van waterberging om klimaatontwikkeling te compenseren. Het afstemmen van groen blauwe diensten vormt een alternatief voor de invulling van de opgave.

6.3 FINANCIËLE CONSEQUENTIES

In de onderstaande tabel 21 staan de geraamde extra investeringskosten van het voorkeursscenario. Het jaartal geeft aan wanneer de maatregel wordt uitgevoerd. Maatregelen die niet in tabel staan, worden uit bestaande budgetten bekostigd. Het gaat o.a. om de maatregel waterberging in deelsystemen voor zowel de normopgave als de klimaatopgave.

Investeringsmaatregelen	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Bergen in natuurgebieden				0,7	0,7	0,7
Boezemuitbreiding			0,25	0,25	0,25	0,25
Optimalisatie operationeel peilbeheer		0,3				
Totalen		0,3	0,25	0,95	0,95	0,95

Tabel 21 Kosten maatregelen in de MP-periode in miljoen €'s

In onderstaande tabel 22 wordt aangegeven uit welke begrotingsposten de extra investeringskosten van het voorkeursscenario gedekt moeten worden. Voor deze begrotingsposten dient het investeringsvolume te worden verhoogd. De kosten voor boezemuitbreiding en waterberging in natuurgebieden worden gedekt door verhoging van het O&K-budget. De kosten voor het optimaliseren van het operationeel peilbeheer worden gedekt door een eenmalige incidentele verhoging van de budgetten van de cluster beheer voor automatisering en software.

Begrotingsposten investeringen	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ruimtevrager O&K			0,25	0,95	0,95	0,95
Ruimtevrager budget automatisering cl. Beheer		0,3				

Tabel 22 Dekking in de MP-periode in miljoenen €'s

6.3.1 LASTEN- EN TARIEFONTWIKKELING OP LANGE TERMIJN

De gevolgen voor de exploitatielasten en de tariefontwikkeling zijn in onderstaande tabellen 23 en 24 te vinden. De grote sprongen in de lasten en tarieven zijn in de tabellen geel gearceerd. Een grote sprong in de lasten en tarieven wordt veroorzaakt door de realisatie van een gemaal Harlingen. De boezemuitbreiding en de waterberging in de natuurgebieden geven een meer gematigde en geleidelijke ontwikkeling. In de tabellen zijn voor de realisatietermijn van het gemaal Harlingen vier varianten uitgerekend te weten 2020, 2025, 2030 en 2035. Het laatste jaartal is conform het voorkeursscenario. In de tabellen wordt bij variant 1, 2 en 3 en 4 uitgegaan van investeringen die worden geactiveerd. De variant Ideaal complex gaat er vanuit dat de kosten voor "Inrichting natuurgebied" en "Boezemuitbreiding" jaarlijks t.l.v. de exploitatie worden gebracht. Dan komen er geen rentekosten meer t.l.v. de exploitatie.

Gevolgen toename in	2017	2020	2021	2025	2026	2030	2031	2035	2036
exploitatiekosten									
Variant 1 (gemaal gereed in 2020)	0,1	0,2	2,3	2,4	2,4	2,6	2,6	2,8	2,8
Variant Ideaal complex	0,3	1,0	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,5
Variant 2 (gemaal gereed in 2025)	0,1	0,2	0,3	0,5	2,5	2,7	2,8	2,9	3,0
Variant 3 (gemaal gereed in 2030)	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,9	2,9	3,1	3,1
Variant 4 (gemaal gereed in 2035)	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,9	0,9	1,2	3,3

Tabel 23 Lastenontwikkeling bij varianten en voorkeursscenario in miljoenen €'s

Ten behoeve van de berekening 'gevolgen toename in % belasting Watersystemen' is uitgegaan van een jaarlijkse belastingopbrengststijging van 3,9%. De percentages in tabel 24 betreffen de stijging ten opzichte van het voorgaand jaar, bovenop de 'reguliere' belastingopbrengststijging van 3,9%. De percentages betreffen dan ook de jaarlijkse stijging als gevolg van de maatregelen opgenomen in het veiligheidsplan II.

Gevolgen toename in %	2017	2020	2021	2025	2026	2030	2031	2035	2036
belasting Watersystemen									
Variant 1	0,08	0,07	2,01	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
Variant Ideaal complex	0,37	0,00	1,93	0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
Variant 2	0,08	0,07	0,07	0,06	1,66	0,03	0,03	0,02	0,02
Variant 3	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	1,37	0,02	0,02
Variant 4	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	1,13

Tabel 24 Tariefontwikkeling bij varianten en voorkeursscenario in procenten

7

Vervolg

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke activiteiten na de besluitvorming over het Veiligheidsplan moeten worden opgepakt. De beschrijving betreft met name de periode 2015 tot en met 2021. Deze periode is gekozen vanwege de planperiode die geldt voor het waterbeheerplan en de planperiode voor het Meerjarenperspectief. In de beschrijving van de activiteiten wordt ingegaan op de samenwerking met partners, relevante andere projecten en de financiële inbedding in het MP.

7.1 PLAN VAN AANPAK AANWIJZING EN INRICHTING WATERBERGINGSGBIEDEN

Een van de maatregelen uit het Veiligheidsplan II betreft de waterberging in natuurgebieden. Voor het veiligheidsplan II is een eerste voorlopige selectie gemaakt van de kansrijke gebieden. In het besluit zijn de gebieden nog niet definitief aangewezen en ruimtelijk bestemd voor waterberging. De inzet voor de komende jaren is om samen met de natuurbeheerders, de provincie en andere betrokkenen de gebieden in te richten voor waterberging en de gebieden mede de bestemming waterberging te geven. Hiervoor wordt een gezamenlijk plan opgesteld. In het plan worden ook de gebieden meegenomen waar de regionale kering kan worden afgewaardeerd naar een lokale keringen. Tevens wordt afgestemd met de door de provincie aangekondigde boezemvisie. Met dit plan van aanpak wordt in 2015 gestart.

7.2 PEILBESLUIT BOEZEM

Het huidige peilbesluit voor de boezem stamt uit 1992. Sinds die tijd hebben zich een aantal wijzigingen in het operationeel peilbeheer voorgedaan. Zo wordt in het peilbeheer rekening gehouden met droogte, verzilting, vorst, ecologie en hoogwater. In het peilbesluit zijn deze wijzigingen nog niet meegenomen. Daarnaast zijn gebieden afgekoppeld dan wel aangekoppeld aan de boezem (zomerpolders, boezemlanden geregeld, lokale kaden, regionale keringen). De retentiepolders zijn ook nog geen onderdeel van het peilbesluit van de boezem. Ook vanuit het Deltaprogramma Zoetwater en IJsselmeer worden opgaven gesteld aan het peilbeheer op de boezem. Het peilbesluit is vanwege deze aspecten aan een herziening toe. De planning is om vanaf 2018 te starten met de herziening van het peilbesluit.

7.3 UITWERKING BUFFEREN IN DEELSYSTEMEN

Momenteel vindt nader onderzoek plaats naar de mogelijkheden om water te bufferen in deelsystemen. Onderzocht wordt tot welke waterstand het waterpeil in polders kan stijgen zonder dat schade aangericht wordt aan bebouwing. Dit onderzoek biedt gedetailleerd inzicht in de mogelijkheden en de volumes te bergen water in de deelsystemen. Voor elk deelsysteem wordt een specifiek peil bepaald voor het bufferen. Het onderzoek wordt in 2015 afgerond.

7.4 OPTIMALISEREN OPERATIONEEL PEILBEHEER EN CALAMITEITENMANAGEMENT

Het SOBEK rekenmodel is ten behoeve van het Veiligheidsplan geactualiseerd. Verdere verbeteringen zijn nodig om ook in het operationele peilbeheer in hoogwatersituaties geautomatiseerde simulaties door te kunnen rekenen en de resultaten hiervan inzichtelijke te kunnen presenteren. Hierbij worden ook de aanbevelingen in de 2nd opinion van Deltares, voor zover die niet meegenomen konden worden binnen het tijdspad van het veiligheidsplan II, doorgevoerd. Daarvoor is aanvullende software nodig, waarmee in hoogwatersituaties snel en overzichtelijke informatie beschikbaar komt. De resultaten van nieuwe stochastische berekeningen moeten de resultaten van deze studie verifiëren.

Het bestrijdingsplan peilbeheer en kaden waarin o.a. is vastgelegd in welke volgorde de maatregelen worden ingezet is verouderd. Recente hoogwaterervaringen en wijzigingen in het operationele peilbeheer zijn reden om het bestrijdingsplan te herzien. De herziening start vanaf 2016.

7.5 LEIDRAAD INRICHTING LANDELIJK GEBIED

De opgaven voor de deelsystemen zijn in dit veiligheidsplan II op hoofdlijnen beschreven. Door de diversiteit in watersystemen geldt niet voor elk watersysteem dezelfde opgave. Momenteel worden in de watergebiedsplannen een aantal uitgangspunten gehanteerd voor de inrichting en het beheer van de watersystemen. Door deze uitgangspunten en de opgaven voor wateroverlast bij elkaar te brengen in een leidraad inrichting landelijk gebied kan een meer watersysteemgerichte aanpak van de problematiek worden ingezet.

7.6 WATERAKKOORDEN

Gezien de uitkomsten van de studie Droge Voeten 2050 en de uitkomsten van Veiligheidsplan2 zijn geen wijzigingen noodzakelijk in het bestaande waterakkoord voor het Lauwersmeer. Er is betrokkenheid geweest bij de studie van Noorderzijlvest en andersom ook.

7.7 CYCLISCHE TOETSING SITUATIE BOEZEM EN DEELSYSTEMEN

Het realiseren en in stand houden van een veilig watersysteem is een kerntaak van het waterschap. Door ontwikkelingen in rekenmethoden en door het periodiek uitbrengen van nieuwe klimaatscenario's door het KNMI kan het voorkomen dat de uitkomsten van bestaande studies naar de afwatering en wateroverlastsituatie niet meer de actuele stand van zaken beschrijven. Een periodieke toetsing van het systeem is derhalve op zijn plaats. Afgaand op de periodiciteit van klimaatscenario's lijkt een herijking van de actuele wateroverlast situatie van één keer per zes tot acht jaar op zijn plaats. Landelijke afspraken uit het Nationaal Bestuursakkoord Water gaan uit van een periodieke toetsing van 1 keer per 10 jaar. Andere ontwikkelingen kunnen tot een eerdere herijking leiden. Bij de herijking worden nieuwe berekeningen uitgevoerd om de effecten van maatregelen, klimaatontwikkeling en eventuele andere ontwikkelingen te bepalen. In het 2022 wordt een nieuwe toetsing van boezem en deelsystemen uitgevoerd

Naast een complete herijking van de wateroverlastsituatie is een voortgangsrapportage van de maatregelen op zijn plaats. Het gaat om een evaluatie van de voortgang van de maatregelen waarbij ook de kosten in beeld worden gebracht. Een voortgangsrapportage wordt één keer per vier jaar opgesteld. De resultaten worden meegenomen in het volgende waterbeheerplan en in de herijking van het Veiligheidsplan II.

7.7.1 INDICATOREN VOOR VOORTGANG EN EVALUATIE

Onderstaand worden indicatoren beschreven ten behoeve van voortgang en evaluatie. Het is van belang deze indicatoren te benoemen omdat deze de komende jaren gemonitord moeten worden. De prestatie- en financiële administratie moet daar op ingericht zijn.

Effectindicatoren huidige situatie boezem:

- Met hoeveel cm blijven we met de bestaande voorzieningen onder het niveau van de gemiddelde kadehoogtes (-0.16 m NAP)?
- Hoe is de ruimtelijke verdeling van bestaande/genormeerde kadehoogtes ten opzichte van maatgevende boezemwaterstanden?
-

Effectindicatoren toekomstige situatie boezem na klimaatontwikkeling:

- Wat is met het bestaande voorzieningenniveau de afwijking ten opzichte van de gemiddelde kadehoogtes (-0.16 m NAP)?
- Hoe is de ruimtelijke verdeling van bestaande/genormeerde kadehoogtes ten opzichte van maatgevende boezemwaterstanden?
- Wat is de bijdrage van individuele maatregelen aan de totale effectiviteit?

Effectindicatoren situatie deelsystemen:

- Hoeveel ha voldoet aan de normen voor regionale wateroverlast?
- In hoeveel ha zijn maatregelen genomen om klimaatontwikkeling te compenseren?
- Wat is de huidige en toekomstige kans op wateroverlast?

Prestatie-indicatoren boezem en deelsystemen:

- Beschrijf de voortgang van de maatregelen in ha's, m³ en m³/s
- Beschrijf de kosten van de individuele maatregelen
- Beschrijf de kosteneffectiviteit
- Beschrijf opgetreden veranderingen/problematiek
- Beschrijf ontwikkelingen

Literatuurlijst

1. Technische rapportage modelontwikkeling Veiligheidsplan II (ARCADIS, 2014)
2. Maatregelenstudie deelsystemen en klimaatverandering (ARCADIS, 2014)
3. Coincidentieonderzoek Friese boezem (Deltares, 2014)
4. Coincidentieonderzoek Groningse boezem (Deltares, 2014)
5. VBA (Wetterskip Fryslân, 2006)
6. Veiligheidsplan I (Wetterskip Fryslân, 2008)
7. Actualisatie veiligheidsplan (Wetterskip Fryslân, 2012)

Bijlage 1

Second opinion Deltares

Bijlage 2

Rapport waterberging in natuurgebieden

Bijlage 3

Factsheets individuele maatregelen

Bijlage 4

Rapport gemaal Lauwersoog

Bijlage 5

Advies Droge Voeten 2050

Bijlage 6

Coincidentieonderzoek