



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

RWS ONGECLASSIFICEERD

Technische en economische analyse van langetermijnstrategieën voor peilbeheer in het IJsselmeergebied

Integrale Studie Waterveiligheid en Peilbeheer IJsselmeergebied fase 3

Datum	april 2018
Status	definitief



Colofon

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat WVL
Informatie	Albert Remmelzwaal
Telefoon	06 53642529
Fax	
Uitgevoerd door	Albert Remmelzwaal, Arthur Kors, Ilka Tanczos, Jan Helmer & Herbert Berger.
Opmaak	
Datum	april 2018
Status	definitief

*Foto omslag:
Het WVL-projectteam voor een pomp van het gemaal IJmuiden, die voor onderhoud is uitgehesen. De foto geeft een indruk van de grootte van pompen met een capaciteit van 50 m³/s. In ISWP wordt van pompen met deze capaciteit uitgegaan voor waterafvoer van IJsselmeer en Markermeer.*

Technische en economische analyse van langetermijnstrategieën voor peilbeheer in het IJsselmeergebied

Integrale Studie Waterveiligheid en Peilbeheer IJsselmeergebied fase 3

Inhoud

1	Inleiding—5
2	Aanpak van de analyse—7
3	Strategieën en klimaatscenario—11
3.1	Strategieën—11
3.1.1	IJsselmeer—11
3.1.2	Markermeer—13
3.1.3	IJsselmeergebied—13
3.2	Klimaatscenario—14
4	Fysische analyse van de strategieën—17
4.1	Pomp- en spuicapaciteit—17
4.2	Meerpeilstatistiek—21
4.2.1	IJsselmeer—21
4.2.2	Markermeer—26
4.3	Dijkbelasting—28
4.4	Benodigde dijkversterkingen—33
5	Kosten van de strategieën—39
5.1	Uitgangspunten kostenramingen—39
5.2	Kosten versterking keringen—40
5.3	Kosten waterafvoer—44
5.4	Totale kosten—46
5.5	Gevoeligheidsanalyses kosten—49
6	Overige effecten van veranderend peilbeheer—55
6.1	Overzicht effecten ander peilbeheer—55
6.2	Effecten ander peilbeheer per functie—56
6.2.1	Waterbeheer—57
6.2.2	Waterveiligheid en -overlast—58
6.2.3	Landbouw en stedelijke gebied—61
6.2.4	Natuur—62
6.2.5	Scheepvaart—63
6.2.6	Oeverrecreatie—63
6.2.7	Landschap en cultuurhistorie—63
6.3	Maatregelen en kosten—64
7	Discussie, conclusies en vervolg—67
	Literatuur—71

Bijlage A	Het model DEZY voor bepaling meerpeilstatistiek—73
Bijlage B	Methodiek bepaling versterkingsopgave—75
Bijlage C	Het KOSWAT instrumentarium voor bepaling dijkversterkingskosten.—85
Bijlage D	Het model KOWIJS—87
Bijlage E	Resultaten berekeningen pompcapaciteit en –duur—91
Bijlage F	Overzicht varianten in de kostenberekeningen—92
Bijlage G	Berekende waterstanden en hydraulische belastingniveaus voor 2175—93
Bijlage H	Kosten van de versterking van keringen per versterkingsmoment—94
Bijlage I	Kosten waterafvoer per periode—95
Bijlage J	Opbouw van de kosten voor waterafvoer—96
Bijlage K	Vergelijking ISWP analyses 2016 en 2017—99

1 Inleiding

De Integrale Studie Waterveiligheid en Peilbeheer (ISWP) heeft als doel het inzicht te vergroten in de relaties tussen waterafvoer, waterveiligheid en peilbeheer in het IJsselmeergebied. De studie richt zich op de situatie ná het jaar 2050, wanneer de spuicomplexen in de Afsluitdijk vervangen moeten zijn, omdat ze technisch zijn afgeschreven. Er zullen tijdig keuzes gemaakt moeten worden voor de bouw van spuisluizen en gemalen voor de waterafvoer, in samenhang met keuzes voor het peilbeheer en maatregelen voor het handhaven van de waterveiligheid. Hierbij moet natuurlijk rekening worden gehouden met klimaatverandering en zeespiegelstijging. Op dit moment is onvoldoende bekend wat klimaatverandering, peilbeheer en keuzes voor de waterafvoer betekenen voor toekomstige versterkingen van de waterkeringen. ISWP ontwikkelt een kennisbasis voor toekomstige beleidsbeslissingen, op weg naar 2050.

Eind 2014 heeft het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (Directoraat Generaal Ruimte en Water) opdracht gegeven aan RWS-WVL voor de ISWP. Het project wordt uitgevoerd door RWS-WVL, in samenwerking met Deltares en HKV-lijn in water en in samenspraak met het CPB, de waterbeheerders in het gebied en het expertisenetwerk waterveiligheid (ENW).

In ISWP gaat kennisontwikkeling hand in hand met de ontwikkeling van modellen en methoden. Er is namelijk geen standaard modelinstrumentarium en/of methodiek beschikbaar om de complexe relaties tussen waterafvoer, peilbeheer en waterveiligheid te analyseren. In de eerste fase is een probleemanalyse uitgevoerd (zie Remmelzwaal et al, 2015). In de tweede fase zijn strategieën voor het peilbeheer opgesteld, is een methodiek ontwikkeld voor de analyse daarvan en is een eerste analyse van de strategieën uitgevoerd (zie Remmelzwaal et al, 2017). De analyse betrof zowel fysische aspecten (meerpeilen, dijkbelastingen, benodigde dijkversterkingen etc.) als een kostenvergelijking. In fase 3, waar dit rapport over gaat, is de methodiek afgerond en is vervolgens definitieve analyse uitgevoerd. In ISWP wordt iteratief gewerkt. Dat betekent dat de analyse die in fase 3 is uitgevoerd grotendeels overeenkomt met die in fase 2. Echter: wel met bijgestelde strategieën, een aangepast instrumentarium, aangevulde basisgegevens en deels andere keuzes voor modelinstellingen.

Dit resultaten van fase 3 vormen de basis voor fase 4, waarin wordt nagegaan welke beleidsmatige conclusies getrokken kunnen worden uit deze inhoudelijke analyse. De opzet van het rapport komt voor een groot deel overeen met die van het rapport over fase 2, maar de berekende resultaten wijken natuurlijk af van die van de voorlopige analyse in fase 2. In bijlage K worden de resultaten van de analyse vergeleken met die van de pilotberekeningen uit fase 2.

Dit rapport begint met een beschrijving van de ontwikkelde methodiek (hoofdstuk 2). De opzet daarvan volgend komen vervolgens de geanalyseerde strategieën voor het peilbeheer (hoofdstuk 3), de fysische analyse van de strategieën (hoofdstuk 4) en de kostenanalyse van de strategieën (hoofdstuk 5) aan de orde. Hoofdstuk 6 geeft een kwalitatieve beschrijving van effecten van het peilbeheer op andere zaken dan waterafvoer en waterveiligheid. Het rapport sluit af met discussie en inhoudelijke conclusies. Beleidsmatige conclusies worden in deze fase nog niet getrokken.

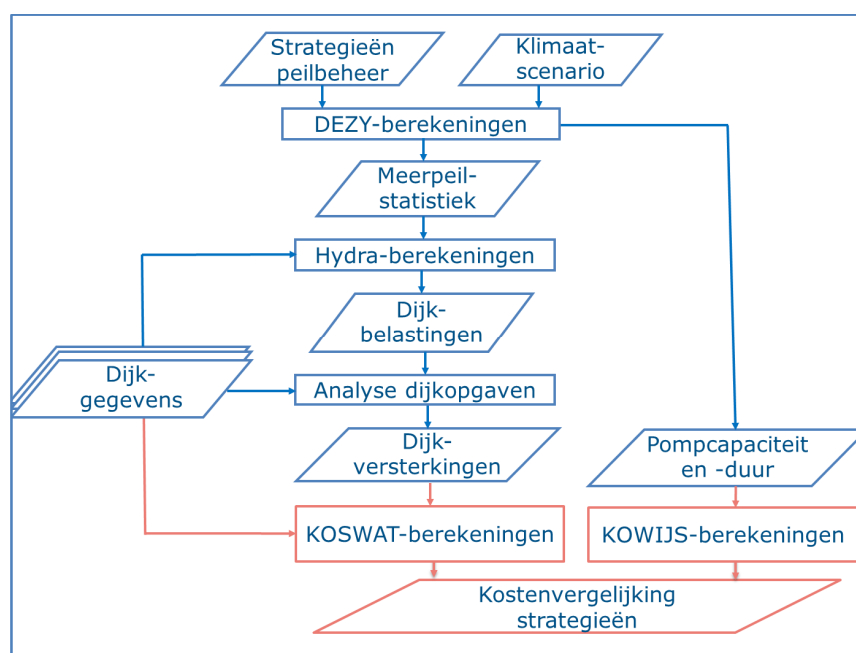
Leestip

Wie niet alle gedetailleerde informatie door wil werken raden we aan te starten met het lezen van hoofdstuk 2, de korte inleidingen van hoofdstuk 3 t/m 6 en het afsluitende hoofdstuk 7. Vervolgens kunnen eventueel tekstdelen geselecteerd worden voor verdieping.

2 Aanpak van de analyse

In het project ISWP is een methodiek ontwikkeld waarmee strategieën voor het peilbeheer kunnen worden geanalyseerd. Dit is gebeurd in samenwerking tussen het WVLV projectteam, Deltares en HKV. De methodiek is een combinatie van zowel beproefde als nieuwe modellen en methoden. De analyse is gericht op peilbeheer, waterafvoer en waterveiligheid in de winterperiode. Zowel waterhuishoudkundige aspecten als de kosten van strategieën worden er mee in beeld gebracht. Effecten op andere terreinen dan waterafvoer en veiligheid worden met deze methodiek niet geanalyseerd. Effecten van veranderend peilbeheer zijn binnen het project wel kwalitatief in beeld gebracht.

Figuur 2.1 geeft een overzicht van de ontwikkelde methodiek. De opeenvolgende stappen die worden doorlopen in de methodiek worden hierna kort besproken. Het vervolg van het rapport is opgebouwd aan de hand van de stappen die in de methodiek worden doorlopen.



Figuur 2.1 Ontwikkelde methodiek voor de analyse van strategieën voor het peilbeheer. Rechthoeken geven analyseactiviteiten aan, de parallellogrammen gegevens (inputgegevens of rekenresultaten).

Stap 1: ontwikkelen strategieën en klimaatscenario

Als eerste stap zijn strategieën ontwikkeld voor het peilbeheer tot 2175. Uitgaande van het bestaande beleid geven de strategieën voor Markermeer en IJsselmeer weer wat er gebeurt met het gemiddeld winterpeil, maar ook met de pieken in de meerpeilen. De strategieën hebben de vorm van ontwikkelpaden voor de periode 2050-2175. Naast de strategieën is in ISWP een klimaatscenario ontwikkeld, op basis van de KNMI-scenario's. Dit was nodig omdat deze studie veel verder vooruit kijkt dan de KNMI klimaatscenario's doen.

De strategieën en het klimaatscenario worden besproken in hoofdstuk 3.

Tijdstappen in de berekeningen

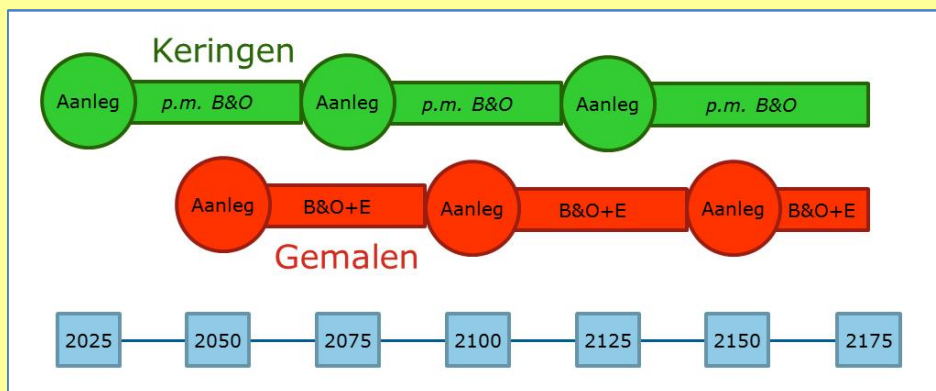
In ISWP zijn de kosten van de strategieën voor het peilbeheer berekend over de periode 2025 tot 2175. In de berekeningen is gewerkt met vooraf bepaalde momenten waarop keringen worden versterkt of pompen worden bijgeplaatst. In dit kader wordt dat toegelicht.

Keringen

In de gewijzigde Waterwet die op 1 januari 2017 van kracht is geworden staat dat alle kering in 2050 moeten voldoen aan de nieuwe normen. Dit betekent dat veel keringen voor 2050 versterkt moeten worden. In de praktijk zullen de versterkingen gespreid over de periode 2017-2050 worden uitgevoerd. In de methodiek van ISWP wordt echter aangenomen dat alle keringen in 2025 worden versterkt en wel zodanig dat de keringen 50 jaar op orde zijn, de standaard gebruikte ontwerplevensduur van dijken. Voor de jaren 2075 en 2125 wordt vervolgens nagegaan of nieuwe versterkingen nodig zijn. Voor deze lange-termijnverkenning voldoet het werken met vaste versterkingsmomenten. Een meer gedetailleerde aanpak is niet nodig. Bovendien is die niet mogelijk, omdat er nog geen planning van de versterkingen tot 2050 gemaakt is. Beheer en onderhoud van keringen gebeurt continu. De kosten daarvan zullen niet of nauwelijks verschillen tussen de strategieën en worden daarom niet meegenomen in de analyse.

Afvoermiddelen

In de komende jaren wordt het project Afsluitdijk gerealiseerd. Dit betekent o.m. dat de spuisluizen worden gerenoveerd en dat een aantal pompen wordt geïnstalleerd. Hiermee is de waterafvoercapaciteit op orde tot 2050. Rond dat moment zijn de spuisluizen technisch afgeschreven en zullen ze vervangen moeten worden. In de methodiek van ISWP is 2050 daarom het moment waarop de eerste investering in pompen wordt gedaan, waarbij de capaciteit wordt afgestemd op de behoefte die wordt berekend voor het jaar 2075. De pompcapaciteit die in 2050 wordt geplaatst wordt afgestemd op de behoefte die er is in het jaar waarin de keringen worden versterkt, 2075. Omdat op dit moment nog niet bekend is wat er vóór 2050 aan gemalen wordt gerealiseerd, wordt er in de berekeningen geen rekening gehouden met de dan al aanwezige (en mogelijk nog langer bruikbare) capaciteit. Alle pompen die nodig zijn om aan de behoefte in 2075 te voldoen worden dus in 2050 geplaatst. Vervolgens wordt de pompcapaciteit in 2100 en 2150 vergroot, gebaseerd op de berekende behoefte voor 2125 en 2175, passend bij de aangenomen versterkingsmomenten van de keringen. Net als bij de dijken is gekozen voor tijdstappen van 50 jaar. Ook het bijplaatsen van pompen zal in de praktijk waarschijnlijk meer gespreid plaatsvinden. Als de gemalen zijn gebouwd gebeuren vervangingsinvesteringen op basis van de levensduur van de verschillende componenten. Deze zijn dus niet gebonden aan de vaste momenten. In de kostenberekeningen worden voor de gemalen wel beheer, onderhoud en energieverbruik meegenomen, omdat die kosten verschillen tussen de strategieën. De in 2050 aangelegde spuisluizen in de Afsluitdijk worden binnen de tijdshorizon van ISWP niet vervangen.



Stap 2: berekening pompcapaciteiten en meerpeilstatistiek

In de tweede stap is geanalyseerd welke spui- en pompcapaciteit er op de Afsluitdijk en Houtribdijk nodig is om de strategieën te realiseren. Dit is gedaan door iteratieve berekeningen uit te voeren met het model DEZY (zie Bijlage A). DEZY is binnen het

project ISWP door bureau HKV ontwikkeld, in opdracht van Rijkswaterstaat-WVL,. Voor iedere peilstrategie is voor de drie rekenjaren met iteratieve DEZY-berekeningen nagegaan welke pompcapaciteit nodig is om de strategie te realiseren. In de analyse worden de waterkeringen versterkt in de jaren 2025, 2075 en 2125 (zie het tekstkader). Omdat de dijken een ontwerplevensduur van 50 jaar hebben zijn de DEZY berekeningen uitgevoerd voor de jaren 2075, 2025 en 2175.

De berekeningen met DEZY leveren, naast de benodigde pompcapaciteit, frequentielijnen op van de meerpeilen van het IJsselmeer en Markermeer ("meerpeilstatistiek"). De meerpeilstatistiek laat zien hoe vaak meerpeilpieken met een bepaalde hoogte voor kunnen komen.

De benodigde pomp- en spuicapaciteit komt aan de orde in paragraaf 4.1. Paragraaf 4.2 bespreekt vervolgens de frequentielijnen van de meerpeilen die met DEZY zijn berekend.

Stap 3: berekening dijkbelasting

Met het model Hydra-NL zijn, op basis van de meerpeilstatistiek, de dijkbelastingen berekend die op kunnen treden. De dijkbelasting wordt bepaald door het meerpeil en de effecten van wind (scheefstand en golven). Voor de berekeningen zijn de dijken in het gebied opgedeeld in zo homogeen mogelijke trajecten, waarbij over het hele traject dezelfde veiligheidsnorm geldt. De Hydra-berekeningen zijn gedaan voor één locatie per traject.

De berekende dijkbelastingen worden in paragraaf 4.3 besproken.

Stap 4: bepaling benodigde dijkversterkingen

Per dijktraject hebben is vervolgens voor één representatieve locatie de relatie tussen de hydraulische belasting en de faalkans geanalyseerd. De methode is beschreven in Bijlage B. Voor de jaren 2075, 2025 en 2175 kon vervolgens per strategie geanalyseerd worden welke versterking nodig is om aan de veiligheidsnorm te voldoen.

De benodigde versterkingen van de waterkeringen worden besproken in paragraaf 4.4.

Stap 5: kostenanalyse

Op basis van de benodigde pompcapaciteiten (inclusief draaiuren) en de vereiste dijkversterkingen zijn de kosten van de strategieën berekend. De kosten van versterking van de waterkeringen zijn bepaald met het KOSWAT-instrumentarium (zie Bijlage C). KOSWAT is door de jaren uitgegroeid tot hét instrument waarmee een zelfde kostenbasis gegeven kan worden aan alle geplande maatregelen over programma's en projecten heen. Voor het ramen van de kosten van waterafvoer is door WVL het spreadsheetmodel KOWIJS ontwikkeld (zie Bijlage D). De kostenramingen zijn bedoeld om een vergelijking van de strategieën mogelijk te maken. Ze zijn niet zonder meer geschikt als raming van toekomstige uitgaven.

De kostenberekeningen zijn te vinden in hoofdstuk 5.

3 Strategieën en klimaatscenario

Voor de periode na 2050 hebben zijn strategieën ontwikkeld voor het peilbeheer van het IJsselmeer en het Markermeer.

In het IJsselmeer zijn er drie strategieën voor het gemiddeld winterpeil. In strategie 1 blijft het gemiddeld winterpeil gelijk, in strategie 2 neemt het met 30 cm toe in de periode 2050-2100 en stijgt vervolgens niet meer verder. Deze twee strategieën volgen het beleid. Omdat het beleid geen uitspraken doet over de periode ná 2100 is nog een derde strategie toegevoegd, waarin het gemiddeld winterpeil tot 2150 nog eens met 30 cm stijgt.

Het beleid doet geen uitspraken over de beheersing van pieken in de meerpeilen. De strategieën voor het gemiddeld winterpeil zijn daarom gecombineerd met verschillende strategieën voor het beheersen van de meerpeilpieken. In strategie a is de pompcapaciteit groot, waardoor de extreme meerpeilpieken (1:100.000 per jaar) niet zullen toenemen (t.o.v. het gemiddeld meerpeil); in strategie b is de pompcapaciteit klein, waardoor de lagere meerpeilpieken (1:1 per jaar) niet toenemen maar de extreme meerpeilpieken wel. Strategie c ligt tussen a en b in: hier worden de pieken die voorkomen met een overschrijdingsfrequentie van 1:10 per jaar gelijk gehouden. Strategie c is na fase 2 van het project toegevoegd, omdat de strategieën a en b erg sterk van elkaar bleken te verschillen. Figuur 3.1 laat de strategieën voor het IJsselmeer zien. In de analyse zijn van de strategieën varianten met verschillende spuicapaciteiten geanalyseerd.

Voor het Markermeer blijft in strategie 1 het gemiddeld winterpeil gelijk, terwijl het in strategie 2 met 8 cm mag stijgen. In fase 2 is gebleken dat het voor het Markermeer geen zin heeft om strategieën voor het beheersen van de meerpeilpieken te ontwikkelen: die leiden niet tot duidelijke verschillen in de benodigde pompcapaciteit. Er is in het Markermeer wel gekeken naar varianten van de strategieën, waarin gevarieerd is met de pompcapaciteit.

Bij elk van de negen strategieën voor het IJsselmeer is een bijpassende strategie voor het Markermeer gekozen, om zo te komen tot negen strategieën voor het IJsselmeergebied. Voor deze strategieën geldt: waar het IJsselmeerpeil niet stijgt, stijgt ook het Markermeerpeil niet en waar het wel stijgt, stijgt ook het Markermeerpeil. In alle strategieën blijft het peilbeheer van de Veluwerandmeren onveranderd.

In paragraaf 2 wordt een klimaatscenario gepresenteerd, dat tot stand gekomen is door extrapolatie van de KNMI-klimaatscenario's. Die extrapolatie was nodig omdat de KNMI-scenario's geen uitspraken doen voor de periode na 2100. In deze studie wordt met één klimaatscenario gewerkt.

3.1 Strategieën

3.1.1 IJsselmeer

De studie ISWP richt zich op de winterperiode, die cruciaal is voor de waterafvoer en waterveiligheid in het IJsselmeergebied. Het Nationaal Waterplan zegt over de winterperiode het volgende: "Het gemiddelde winterpeil in het IJsselmeer stijgt in ieder geval tot 2050 niet mee met de zeespiegel. Waterafvoer naar de Waddenzee wordt veiliggesteld door middel van een combinatie van spuien en pompen. Beperkt meestijgen van het winterpeil met de zeespiegel wordt voor de periode na 2050 als optie opengehouden: het kabinet houdt rekening met een stijging van het winterpeil in het IJsselmeer na 2050 van maximaal 30 cm" (Ministerie van IenM & Ministerie van EZ, 2015).

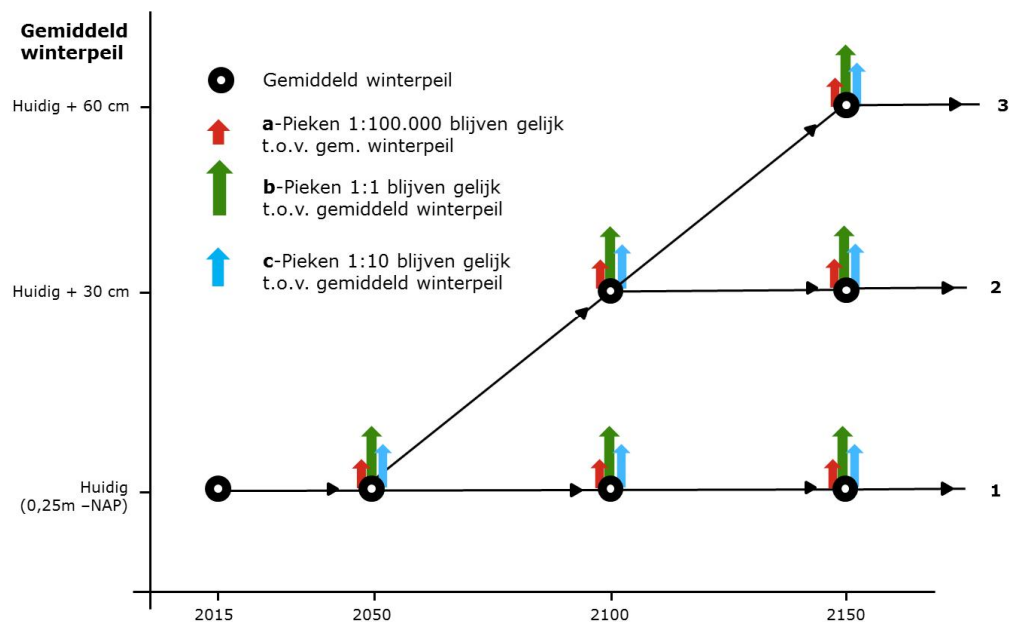
Er bestaan dus beleidsdoelen voor het gemiddeld winterpeil tot het jaar 2100. Voor de periode tot 2050 heeft het project Afsluitdijk als opdracht meegekregen om niet alleen het gemiddeld winterpeil te handhaven, maar ook te zorgen dat de pieken in de meerpeilen niet toenemen. Voor de periode na 2100 is geen beleid geformuleerd. ISWP gaat uit van een levensduur van 100 jaar van de spuisluizen en/of pompen die rond 2050 gebouwd zullen worden en moet dus verder moeten kijken dan 2100. Uitgaande van de beleidsdoelen zijn in het project drie ontwikkelpaden voor het gemiddeld winterpeil van het IJsselmeer opgesteld:

1. Het gemiddeld winterpeil blijft gelijk aan het huidige tot 2150.
2. Het gemiddeld winterpeil stijgt tussen 2050 en 2100 met 30 cm en blijft vervolgens gelijk.
3. Het gemiddeld winterpeil stijgt met 30 cm tussen 2050 en 2100 en vervolgens met nog eens 30 cm tussen 2100 en 2150.

In de loop der tijd zal het belang van pompen in de waterafvoer toenemen, als gevolg van de stijging van de zeespiegel. De eerste fase van deze studie heeft geleerd dat waterafvoer met pompen anders functioneert dan waterafvoer met spuisluizen (zie Rimmelzwaal et al, 2015). Dit betekent dat het onmogelijk is om de frequentie waarmee meerpeilpieken met verschillende hoogten optreden gelijk te houden aan de huidige situatie. De keuze is om óf de meerpeilpieken met een hoge frequentie van voorkomen gelijk te houden, waarbij de extremere pieken zullen toenemen óf om de extreme meerpeilpieken gelijk te houden, waardoor de frequenter optredende pieken lager worden. In het tweede geval is veel meer pompcapaciteit nodig dan in het eerste geval. In fase 2 zijn twee niveaus van het beheersen van de meerpeilpieken onderzocht (a en b). Omdat de effecten hiervan erg sterk uiteen bleken te lopen is voor de definitieve berekeningen een tussenliggend niveau toegevoegd (c). De drie niveaus van piekbeheersing zijn:

- a. De pompcapaciteit is zodanig groot dat de hoogte van extreme pieken in het meerpeil (die met een herhalingsstijd van 100.000 jaar) niet toeneemt. De minder extreme pieken nemen hierbij in hoogte af. Het gaat hierbij om de hoogte van de piek t.o.v. het gemiddeld winterpeil. Dit betekent dat bij stijging van het gemiddeld winterpeil (strategie 2 en 3) de pieken evenredig mee mogen stijgen.
- b. De pompcapaciteit is slechts voldoende om de frequent optredende pieken (herhalingsstijd 1 jaar) gelijk te houden. Alle hogere (minder frequente) pieken zullen daardoor in hoogte toenemen.
- c. De pieken met een herhalingsstijd van 10 jaar worden gelijk gehouden. Vaker voorkomende pieken zullen (iets) lager worden, minder vaak voorkomende pieken worden hoger.

De combinatie van drie ontwikkelpaden voor het gemiddeld winterpeil en drie niveaus van beheersing van de meerpeilpieken levert negen strategieën voor het IJsselmeer (1a t/m 3c). Deze zijn weergegeven in Figuur 3.1. Paragraaf 4.1 bespreekt de pompcapaciteit die op verschillende momenten nodig is om de strategieën te realiseren. Daarbij is gewerkt met varianten met verschillende spuicapaciteit.



Figuur 3.1 Strategieën voor het gemiddeld winterpeil en de meerpeilpieken van het IJsselmeer.

3.1.2

Markermeer

Het huidige gemiddeld winterpeil van het Markermeer is ca. -33 cm NAP. Het beleid gaat uit van een in principe gelijkblijvend gemiddeld winterpeil, waarbij echter wel een stijging tot het niveau van het huidige gemiddeld winterpeil van het IJsselmeer (-25 cm NAP) mogelijk is (ministerie van IenM & ministerie van EZ, 2015). Op basis hiervan zijn twee ontwikkelpaden voor het gemiddeld winterpeil van het Markermeer geformuleerd:

1. Het gemiddeld winterpeil blijft gelijk tot 2150.
2. Het gemiddeld winterpeil stijgt tussen 2050 en 2100 van -33 naar -25 cm NAP.

Aanvankelijk was het idee om ook voor het Markermeer onderscheid te maken tussen strategieën met grotere pompcapaciteit en kleinere pompcapaciteit. Doordat het Markermeer een veel kleinere wateraanvoer heeft dan het IJsselmeer bleek het verschil tussen de pompcapaciteit die nodig is voor het gelijk houden van alleen frequente pieken en het gelijk houden van incidentele pieken zo klein te zijn, dat daarvan is afgezien. Er zijn wel varianten doorerekend met verschillende pompcapaciteit. Er is geen variant met alleen pompen doorerekend, omdat de spuisluizen van het Markermeer nog lang niet afgeschreven zijn. Bij stijging van het IJsselmeerpeil zou dit op termijn echter een reële optie kunnen zijn.

3.1.3

IJsselmeergebied

Voor het IJsselmeergebied als geheel zijn uiteindelijk strategieën gemaakt, die logische combinaties zijn van de strategieën voor IJsselmeer en Markermeer. De strategieën voor het IJsselmeer zijn aangeduid met de naam van de strategie voor het IJsselmeer. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de strategieën voor het IJsselmeer. In alle gevallen blijft het peilbeheer voor de Veluwerandmeren onveranderd. Daar waar het IJsselmeerpeil stijgt of de pieken toenemen is daarvoor een gemaal nodig.

Zoals gezegd is er ook gerekend met varianten van de strategieën, waarin is gevarieerd met verschillende spuicapaciteiten op de Afsluitdijk of pompcapaciteiten op de Houtribdijk. Het aantal varianten was het grootste bij het berekenen van de meerpeilstatistiek. Een deel van de varianten is uiteindelijk ook meegenomen in de kostenberekeningen (zie Bijlage F).

code	Strategie IJsselmeer	Strategie Markermeer	Strategie Veluwerandmeren
1a	1a	1	spuien
1b	1b	1	pompen & spuien
1c	1c	1	pompen & spuien
2a	2a	2	pompen & spuien
2b	2b	2	pompen & spuien
2c	2c	2	pompen & spuien
3a	3a	2	pompen & spuien
3b	3b	2	pompen & spuien
3c	3c	2	pompen & spuien

Tabel 3.1 Overzicht van de strategieën voor het peilbeheer van het IJsselmeergebied.

3.2

Klimaatscenario

Om de hoeveelheid rekenwerk te beperken is in de berekeningen maar één klimaatscenario gebruikt. Het WL klimaatscenario van het KNMI (KNMI, 2015) was daarvoor het uitgangspunt. W staat daarbij voor warm. De W-scenario's gaan uit van een wereldwijde temperatuurstijging van 2 °C in 2050 en 3,5 °C in 2085. Naast de wereldwijde temperatuurstijging is ook de verandering van het luchtstromingspatroon van belang. In de L-scenario's is de invloed daarvan klein. Het WL scenario hebben is gekozen omdat naar de laatste inzichten nu al een flink deel van de temperatuurstijging die daarin voor 2050 is voorzien, is gerealiseerd. Daarnaast biedt dit scenario de mogelijkheid om in de verdere toekomst met versterkte zeespiegelstijging te kunnen rekenen. De verwachting is namelijk dat zeespiegelstijging in de toekomst zich wel eens progressief zou kunnen ontwikkelen.

Het KNMI heeft berekeningen gemaakt voor ca. 2050 (het midden van de periode 2036-2065) en ca. 2085 (het midden van de periode 2071-2100). Voor de berekeningen in deze studie zijn gegevens nodig voor de jaren 2075, 2125 en 2175. Gegevens voor deze jaren zijn verkregen door interpolatie tussen en extrapolatie van de KNMI waarden voor 2050 en 2085. In het vervolg van deze paragraaf komt aan de orde hoe dit is gebeurd.

Zowel de keuze voor één scenario als de vergaande extrapolatie van de beschikbare gegevens leidt tot grote onzekerheid rond de gehanteerde waarden. Dit is voor deze studie niet erg. Het gaat niet om een voorspelling, maar om het krijgen van inzicht in de manier waarop het watersysteem reageert op veranderingen.

Zeespiegelstijging

Voor de zeespiegelstijging in 2075 is lineair geïnterpoleerd tussen de waarden voor 2050 en 2085, waarbij het midden van de bandbreedte die het WL scenario voor de zeespiegelstijging geeft is gebruikt. Na 2085 is de bovengrens van de zeespiegelstijging per jaar gebruikt, zoals die is gepubliceerd voor het WL-scenario in 2085: 10,5 mm/jaar *extra* stijging ten opzichte van de 2 mm/jaar stijgingssnelheid in de referentieperiode. Dit betekent dus 12,5 mm/jr zeespiegelstijging van 2085 tot 2175. De zeespiegelstijging is zodanig dat in de loop van de 22^e eeuw spuien niet of nauwelijks meer mogelijk is. De resulterende zeespiegelstijging is weergegeven in Tabel 3.1.

Neerslag

Voor de DEZY berekeningen is de neerslag in de winterperiode nodig, per periode van 30 dagen. De KNMI klimaatscenario's geven de procentuele verandering van de gemiddelde neerslag in de hele winter en van de 10-daagse neerslagsom die in de winter eens per 10 jaar wordt overschreden. De procentuele verandering van de neerslag in 30-daagse periodes hebben is benaderd door het gemiddelde van deze twee waarden te nemen.

De verandering van de neerslag is gerelateerd aan de temperatuurverandering. In de klimaatscenario's geldt 1995 als basisjaar en is de temperatuurtoename 0 °C. In het WL scenario is de temperatuurstijging in 2050 2 °C en in 2075 3,5 °C. Voor 2175 is een temperatuurstijging van 4,5 °C aangenomen. Door deze punten is een vloeiende lijn geconstrueerd en vervolgens zijn de neerslagtoenames op basis van deze lijn temperatuurafhankelijk geïnterpoleerd en geëxtrapoleerd. Het resultaat is weergegeven in Tabel 3.2.

Jaar	Zeespiegelstijging	Toename winterneerslag (30-daagse perioden)
1995	0 cm	0%
2015	10 cm	3%
2075	55 cm	14%
2125	115 cm	19%
2175	175 cm	20%

Tabel 3.2 Zeespiegelstijging en verandering in neerslag die in de berekeningen gebruikt zijn.

Rivierafvoer

De afvoer van de Vecht is afhankelijk van de neerslag in Nederland en Duitsland. De winterafvoer van de Vecht neemt in het opgestelde scenario daarom toe met dezelfde waarden als de neerslag (zie Tabel 3.2).

Met het GRADE-instrumentarium (Generator of Rainfall and Discharge Extremes) is de Rijnafvoer berekend in de KNMI-klimaatscenario's (Deltares, 2015). Net als bij de neerslag zijn in ISWP de resultaten hiervan voor de jaren 2050 en 2085 temperatuurafhankelijk geïnterpoleerd en geëxtrapoleerd.

Omdat door overstromingen langs de Rijn in Duitsland er afvlakkingen in de lijnen voor 2050 en 2085 voorkomen is extrapolatie uit die lijnen echter lastig. De lijnen zijn daarom eerst "gladgetrokken", om de effecten van deze overstromingen weg te nemen. In de keuze om dit te doen speelt mee dat verwacht wordt dat in volgende versies van de lijnen die afvlakkingen minder geprononceerd zullen zijn¹. De waarde voor 1:1.000.000 per jaar wordt op 18.000 m³/s gesteld (maximaal mogelijke Rijnafvoer). Tabel 3.3 geeft de resultaten weer. Voor de berekeningen zijn uit de Rijnafvoeren IJsselafvoeren afgeleid, op basis van de huidige verdeling bij verschillende Rijnafvoeren.

¹ Mondelinge mededeling Hendrik Buiteveld.

	Jaar				
herhalings- tijd (jaar)	1995	2015	2075	2125	2175
1	5000	5300	7200	8000	8200
10	9100	9500	11700	12600	12800
30	10900	11400	13400	14300	14500
100	12600	13000	14600	15300	15400
300	13600	13900	15500	16200	16300
1000	14300	14700	16300	17000	17000
1250	14400	14800	16500	17200	17400
3000	14800	15200	16900	17600	178000
10000	15300	15700	17200	17700	17900
30000	15700	16000	17300	17800	17900
1000000	18000	18000	18000	18000	18000

Tabel 3.3 Afvoeren van de Rijn bij verschillende herhalingstijden van de Rijn, zoals die in de berekeningen gebruikt zijn (afgerond op 100 m³/sec).

4 Fysische analyse van de strategieën

In dit hoofdstuk worden de strategieën die in hoofdstuk 3 zijn beschreven geanalyseerd. Het gaat om de waterhuishoudkundige aspecten en om de vraag hoe die doorwerken in de toekomstige versterkingen van waterkeringen. Eerst is geanalyseerd welke pompcapaciteit hoort bij de verschillende strategieën (en enkele varianten daarvan). De benodigde pompcapaciteit neemt in de loop der jaren toe door zeespiegelstijging en klimaatverandering (Tabel 4.1). Het is opvallend hoeveel extra pompcapaciteit nodig is om, naast het handhaven van het gewenste gemiddeld winterpeil, te zorgen dat de extreme meerpeilpieken niet toenemen.

Paragraaf 4.2 laat vervolgens zien hoe de meerpeilstatistiek van IJsselmeer en Markermeer zich in de verschillende strategieën ontwikkelt. In zekere zin weerspiegelen de grafieken hier de verschillen in benodigde pompcapaciteit in de strategieën. Bij lage pompcapaciteit nemen de extreme meerpeilpieken sterk toe. Bij hoge pompcapaciteit blijven de extreme pieken gelijk en worden de minder extreme pieken zelfs minder hoog.

In de paragraaf 4.3 wordt vervolgens zichtbaar hoe de verschillen in meerpeilstatistiek doorwerken in de dijkbelasting. De belasting van de dijken is het minst als het gemiddeld winterpeil niet stijgt en de meerpeilpieken worden beheerst met grote pompcapaciteit. Hoeveel de dijkbelasting varieert tussen de strategieën verschilt echter sterk per locatie. In het van dit hoofdstuk wordt geanalyseerd hoe de strategieën doorwerken in de toekomstige versterkingsopgaven van waterkeringen. In het IJsselmeer is die opgave het grootste bij de combinatie van peilstijging en kleine pompcapaciteit. Het effect van de pompcapaciteit in de strategieën is daarbij groter dan het effect van 30 of 60 cm stijging van het gemiddeld winterpeil.

4.1 Pomp- en spuicapaciteit

In hoofdstuk 3 zijn de uitgangspunten voor de strategieën beschreven. Om te bepalen welke pompcapaciteit er in de verschillende peiljaren nodig is om de strategieën te realiseren hebben zijn berekeningen uitgevoerd met het model DEZY (versie 3.2). Na een aantal verkennende berekeningen is het aanslagpeil van de pompen voor het IJsselmeer op 10 cm en voor het Markermeer op 5 cm¹ onder het gewenste gemiddeld meerpeil gesteld. In tegenstelling tot de eerste analyse in fase 2 wordt er in de berekeningen voor het IJsselmeer bij overschrijding van het aanslagpeil altijd gepompt, ook als spuien nog mogelijk is. Dit leidt tot een beperking van de benodigde pompcapaciteit in de jaren waarin nog veel gespuid kan worden en dan met name in de a-strategieën (waarin de meerpeilpieken strak beheerst worden). In het Markermeer wordt alleen gepompt als er niet gespuid kan worden. De spuicapaciteit van het Markermeer is namelijk veel groter t.o.v. de wateraanvoer dan die van het IJsselmeer. Gelijktijdig pompen en spuien is daar daarom niet zinvol.

Voor het IJsselmeer zijn voor iedere combinatie van strategie en peiljaar iteratieve DEZY-berekeningen uitgevoerd, waarbij de pompcapaciteit stapsgewijs werd opgevoerd totdat aan de uitgangspunten (gemiddeld winterpeil, hoogte meerpeilpiek) werd voldaan. Daarbij is gewerkt met stappen van 100 m³/s. Uitgangspunt was daarbij de huidige of een verdubbelde spuicapaciteit. Voor enkele situaties is ook gerekend zonder de aanwezigheid van spuisluizen. Tot slot is nog een verkenning gedaan van de mogelijkheden om pompen niet alleen in te schakelen op basis van het actuele meerpeil, maar ook op basis van voorspellingen. Dit is op een eenvoudige manier gedaan: de pompen op de Afsluitdijk worden (onafhankelijk van het meer-

¹ Er is alleen een aanslagpeil gehanteerd, geen afslagpeil. Omdat er gerekend is met een tijdstap van 2 uur worden bij overschrijding van het aanslagpeil de pompen steeds voor 2 uur ingeschakeld.

peil) altijd ingeschakeld wanneer in de vijf komende dagen de IJsselafoer boven de 800 m³/s ligt. Dit is een afvoer die gemiddeld ca. eenmaal per jaar voorkomt.

In fase 2 is duidelijk geworden dat iteratieve berekeningen voor het Markermeer nauwelijks verschillende pompcapaciteiten opleveren voor de verschillende strategieën. Voor het Markermeer is daarom gerekend met vooraf gekozen pompcapaciteiten van 100 en 150 m³/s¹. Dit bij handhaving van de huidige spuicapaciteit. Bij de systeemanalyse in fase 1 is gebleken dat die spuicapaciteit ruim bemeten is: vergroting van de capaciteit heeft weinig invloed op de meerpeilen. Verkleining is weinig zinvol, omdat de huidige sluizen nog lang niet technisch zijn afgeschreven.

Bijlage E (gebaseerd op Kuijper, 2017) geeft weer welke pompcapaciteiten voor het IJsselmeer berekend zijn, hoeveel procent van de tijd de pompen moeten draaien in de winter en hoeveel water met de pompen wordt afgevoerd². De waarden worden enigszins beïnvloed door de waterafvoer van het Markermeer (peilbeheer en pompcapaciteit op de Houtribdijk). Voor de overzichtelijkheid worden de pompcapaciteiten van het IJsselmeer niet weergegeven bij verschillende Markermeerstrategieën³.

Benodigde pompcapaciteit Afsluitdijk

Tabel 4.1 geeft een uitsnede van de resultaten van de iteratieve berekeningen voor het IJsselmeer: de pompcapaciteiten en pompduren in de drie peiljaren, bij de huidige spuicapaciteit.

Uit de tabel blijkt dat in de a-strategieën (meerpeilpiek met een herhalingsstijd van 100.000 jaar wordt gelijk gehouden t.o.v. het gemiddeld meerpeil) de benodigde pompcapaciteit veel groter is dan in de b-strategieën (meerpeilpieken met een herhalingsstijd van 1 jaar wordt gelijk gehouden t.o.v. het gemiddeld meerpeil). Omdat de af te voeren hoeveelheid water gelijk is, is het logisch dat de pompen in de a-strategieën gemiddeld minder draaiuren hoeven te maken dan in de b-strategieën. De waarden van de c-strategieën liggen tussen die van de a- en b-strategieën in.

Als gevolg van de klimaatverandering neemt de benodigde pompcapaciteit toe in de loop der tijd. Uit de berekeningen in fase 1 is gebleken dat de stijging van de zeespiegel (waardoor de spui mogelijkheden afnemen) daarvan de belangrijkste oorzaak is. Daarnaast speelt het grotere wateraanbod in pieksituaties een rol, veroorzaakt door grotere pieken in de IJsselafoer en de neerslag. De strategieën met peilstijging (2 en 3) "lopen daarbij achter" op strategie 1. De spui mogelijkheden worden namelijk bepaald door de relatieve zeespiegelstijging: de zeespiegelstijging t.o.v. het winterpeil van het IJsselmeer. Voor 2175 is uitgegaan van een zeespiegelstijging van 175 cm. In strategie 3 is in 2175 het gemiddeld meerpeil gestegen met 60 cm en is de relatieve zeespiegelstijging dus 115 cm. Dit is gelijk aan de relatieve zeespiegelstijging van strategie 1 in 2125. In de tabel is dan ook te zien dat de pompcapaciteiten en -duren voor strategie 3 in 2175 vrijwel gelijk zijn aan die van strategie 1 in 2125.

¹ In fase 2 werd nog gesteld dat 100 m³/s ook op lange termijn voldoende is om het gemiddeld winterpeil te handhaven en te zorgen dat de meerpeilpieken niet in hoogte toenemen. In de definitieve berekeningen is echter rekening gehouden met twee toekomstige gemalen van Hollands Noorderkwartier: Schardam (20 m³/s) en Monnickendam (33 m³/s). Door deze gemalen kan er bij hoge peilen van het Markermeer meer water op het Markermeer worden afgevoerd, waardoor de meerpeilpieken toenemen. Om dit effect te compenseren is ca. 50 m³/s extra pompcapaciteit op de Houtribdijk nodig.

² In fase 2 werd voor de verpompte hoeveelheid water nog een benadering toegepast. Door aanpassing van de DEZY uitvoer is het nu mogelijk exacte berekeningsresultaten te presenteren.

³ Bij gelijkblijvend winterpeil voor het IJsselmeer (strategie 1) heeft het Markermeer ook gelijkblijvend winterpeil (strategie 1) en bij stijgend IJsselmeerpeil (strategie 2 en 3) stijgt het Markermeerpeil ook (strategie 2). In Tabel 4.1 is in alle gevallen uitgegaan van situaties met 150 m³/s pompcapaciteit op de Houtribdijk.

	2075		2125		2175	
Strategie	Pomp-capaciteit [m ³ /sec]	Pomp-duur winter	Pomp-capaciteit [m ³ /sec]	Pomp-duur winter	Pomp-capaciteit [m ³ /sec]	Pomp-duur winter
Zonder voorspelling IJsselafvoer						
1a	1400	46%	2500	34%	3200	29%
1b	800	71%	1000	78%	1200	70%
1c	1200	52%	1900	45%	2100	44%
2a	1100	45%	2000	39%	2900	31%
2b	600	67%	1000	71%	1100	73%
2c	900	52%	1700	46%	2000	44%
3a	1100	45%	1800	41%	2400	34%
3b	600	67%	900	72%	1000	77%
3c	900	52%	1500	48%	1900	44%
Met voorspelling IJsselafvoer						
2a	1100	45%	1900	42%	2600	35%
3a	1100	45%	1700	43%	2300	37%

Tabel 4.1 Berekende pompcapaciteit en pompduur voor de verschillende strategieën voor het IJsselmeer in de drie peiljaren (bij de huidige spuicapaciteit).

Omdat in het klimaatscenario voor 2175 er al nauwelijks meer gespuid kan worden zullen berekeningen met nog verdergaande klimaatverandering nauwelijks leiden tot toename van de benodigde pompcapaciteit in strategie 1. Dit betekent dat voor de lange termijn, afhankelijk van de keuze voor een a, b of c-strategie, de benodigde pompcapaciteit voor het IJsselmeer globaal tussen de 1200 en 3200 m³/s zal liggen. Dit geldt ook voor de strategieën met stijgend IJsselmeerpeil, alleen duurt het in die strategieën langer totdat deze capaciteiten benodigd zijn. De voor het Markermeer benodigde pompcapaciteit van uiteindelijk 150 m³/s is veel kleiner dan die voor het IJsselmeer. Dit komt omdat de wateraanvoer naar het Markermeer veel geringer is.

Tot slot laten de berekeningen het effect zien van voorspelling van de IJsselafvoer. Wanneer spuien niet meer mogelijk is, blijkt het werken met een (perfecte!) voorspelling slechts beperkte invloed te hebben op de benodigde pompcapaciteit in de a-strategieën. Deze invloed is er bovendien pas op de langere termijn, wanneer spuien niet of nauwelijks meer mogelijk is. Voor de b-strategieën is geen berekening met voorspelling gemaakt. Omdat in de b-strategieën de extreme pieken mogen toenemen en de voorspelling alleen zin heeft voor extreme omstandigheden mag hier geen effect verwacht worden.

Met DEZY hebben zijn de functioneel benodigde pompcapaciteiten berekend, zonder rekening te houden met het niet beschikbaar zijn van pompen door beheer en onderhoud. Zeker in de b-strategieën, waarin de pompen rond de 70% van het winterseizoen draaien, zou dit kunnen betekenen dat meer pompcapaciteit geïnstalleerd moet worden om de beschikbaarheid van de berekende capaciteit te kunnen garanderen. Bij de kostenberekeningen is daarom een toeslag op de berekende pompcapaciteiten gehanteerd.

Effect van spuicapaciteit bij veranderend klimaat

Tabel 4.2 brengt het effect van de beschikbare spuicapaciteit in de afsluitdijk op de benodigde pompcapaciteit en de hoeveelheid water die verpompt wordt in beeld. De tabel geeft de rekenresultaten voor de meest extreme strategieën weer: de strate-

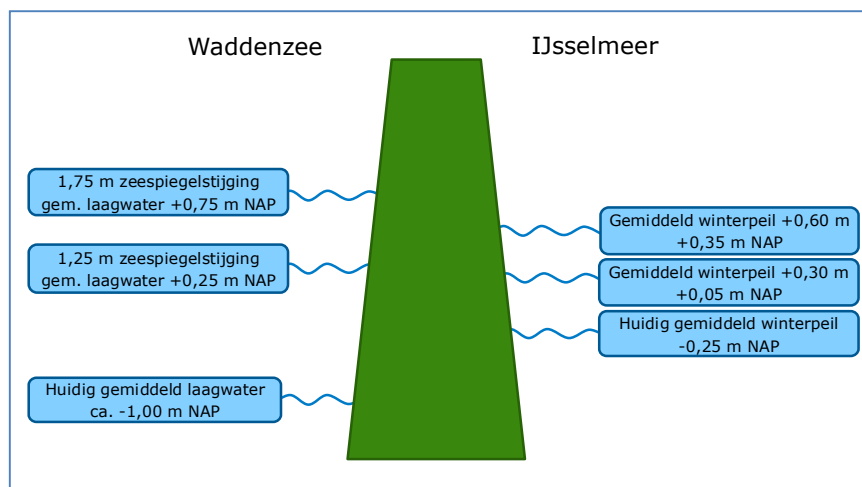
gie 1a en 1b (gelijkblijvend gemiddeld winterpeil) en strategie 3a en 3 b (toename van het gemiddeld winterpeil met 60 cm tussen 2050 en 2150).

		2075		2125		2175	
Strategie en spui-capaciteit		Pomp-capaciteit [m ³ /sec]	Verpompt water [*10 ⁹ m ³]	Pomp-capaciteit [m ³ /sec]	Verpompt water [*10 ⁹ m ³]	Pomp-capaciteit [m ³ /sec]	Verpompt water [*10 ⁹ m ³]
1a	100%	1400	10	2500	13	3200	13
	200%	500	6	2200	13	3100	13
1b	100%	800	9	1000	12	1200	12
	200%	500	6	1000	12	1200	12
3a	0%	2700	12	3000	13	3100	13
	100%	1100	8	1800	11	2500	13
	200%	100	1	1100	9	2200	13
3b	100%	600	7	900	11	1000	12
	200%	200	3	800	9	1000	12

Tabel 4.2 Effect van spuicapaciteit en klimaatverandering op de benodigde pomp-capaciteit en de verpompte hoeveelheid water per winterseizoen in de strategieën 1 en 3.

In 2075 is te zien dat de benodigde pompcapaciteit en de verpompte hoeveelheid water afnemen als de spuicapaciteit toeneemt. Beide effecten nemen af met de (relatieve) zeespiegelstijging¹. Bij een relatieve zeespiegelstijging van 115 cm (strategie 1 in 2125, strategie 3 in 2175) is er geen zichtbaar effect meer van de spuicapaciteit op de verpompte hoeveelheid water. Dit komt omdat er dan nauwelijks meer gespuid kan worden: het gemiddeld winterpeil ligt dan onder de gemiddelde laagwaterstand buiten de spuisluizen (zie figuur 4.1). Slechts bij extreem hoge meerpeilen zal er nog gespuid kunnen worden. Dit is de reden dat in de a-strategieën (waar de pompcapaciteit berekend is op het kunnen beheersen van extreme meerpeilen) vergroting van de spuicapaciteit in 2175 nog wel invloed heeft op de benodigde pompcapaciteit. De spui fungeert dan in deze strategieën als een soort noodoverloop. Het effect van spui als noodoverloop blijft bij stijgende zeespiegel dus langer in stand dan het effect op de benodigde inzet van de pompen. Het noodoverloopeffect komt ook tot uiting in de meerpeilstatistiek (zie Figuur 4.4 en de bespreking daarvan in paragraaf 4.2.1). Het nut van spui is in de toekomst dus afhankelijk van de relatieve zeespiegelstijging en de vraag in welke keuze gemaakt wordt voor het beheersen van de meerpeilpieken.

¹ De relatieve zeespiegelstijging is de zeespiegelstijging minus de stijging van het gemiddeld winterpeil van het IJsselmeer.



Figuur 4.1 Verhouding van de stijging van het gemiddeld winterpeil in de strategieën en de zeespiegelstijging in het klimaatscenario.

4.2

Meerpeilstatistiek

Zowel de strategieën als de klimaatverandering werken door in de meerpeilstatistiek. De DEZY-berekeningen waarmee de benodigde pompcapaciteiten zijn berekend leveren ook frequentielijnen voor de meerpeilen op. In deze paragraaf wordt een selectie van frequentielijnen besproken, die inzicht geeft in de effecten van waterafvoer (spui- en pompcapaciteit) en klimaatverandering. De frequentielijnen zijn afkomstig uit Kuijper (2017). In paragraaf 4.2.1 komt het IJsselmeer aan de orde en in paragraaf 4.2.2 het Markermeer. Tenzij anders is aangegeven is in de berekeningen uitgegaan van de huidige spuicapaciteit van IJsselmeer en Markermeer. De aangegeven pompcapaciteiten zijn daar dus een aanvulling op.

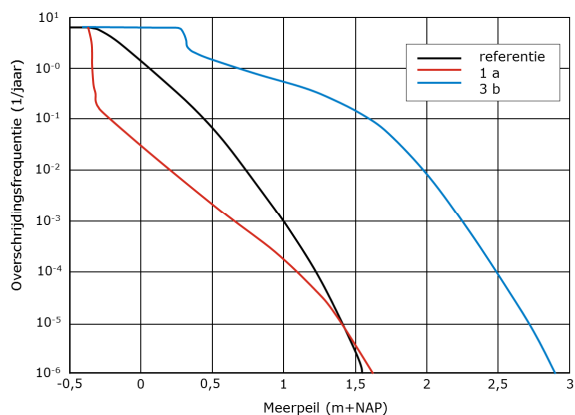
4.2.1

IJsselmeer

Figuur 4.2 geeft de bandbreedte weer van de meerpeilstatistiek van het IJsselmeer (in 2175) van de geanalyseerde strategieën. De bandbreedte wordt begrensd door de frequentielijn van de strategie met de laagste meerpeilpieken (1a) en die met de hoogste meerpeilpieken (3b). Waar de bandbreedte van het gemiddeld winterpeil 60 cm is blijkt die van de meerpeilpieken ruim 1,5 meter te zijn. De strategiekeuze is dus van grote invloed op de peildynamiek van het IJsselmeer.

Figuur 4.2

Bandbreedte van de meerpeilstatistiek voor het IJsselmeer in 2175, bepaald door de strategie met de hoogste meerpeilpieken (3b) en de strategie met de laagste meerpeilpieken (1a). De referentie is de statistiek in peiljaar 2015.

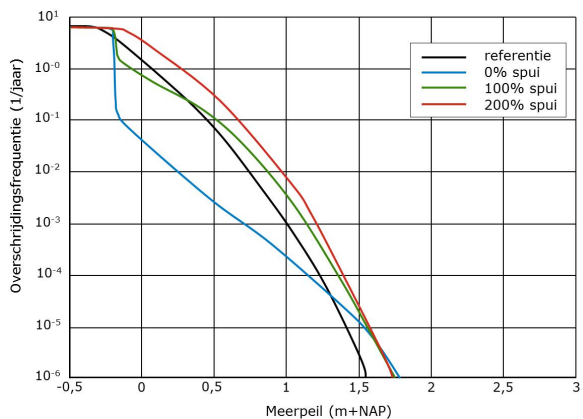


Spuicapaciteit

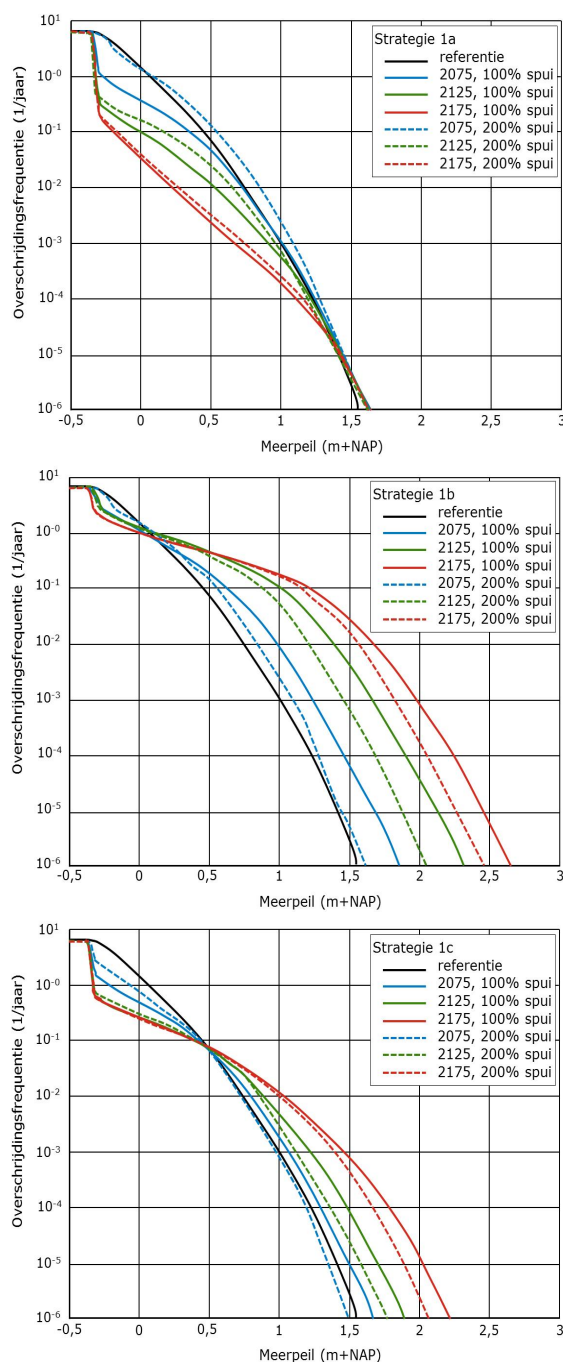
Figuur 4.3 laat de frequentielijnen zien voor strategie 2a in 2075, bij drie verschillende spuicapaciteiten. Bij 200% spuicapaciteit is de pompcapaciteit beperkt en wordt het water voor het overgrote deel via de spuisluizen afgevoerd. De frequentielijn loopt vrijwel parallel aan de referentielijn. Naarmate de rol van pompen in de waterafvoer toeneemt wordt de frequentielijn vlakker. Dit komt omdat bij spui de afvoercapaciteit sterk toeneemt bij hoge meerpeilen, terwijl dat bij pompen veel minder het geval is. Naarmate de afhankelijkheid van pompen toeneemt, verandert de vorm van de frequentielijn steeds meer.

Figuur 4.3

Het effect van de spuicapaciteit op de frequentielijnen van het IJsselmeer in 2075 (strategie 2a).



Figuur 4.4 laat het effect van verdubbeling van de spuicapaciteit op de meerpeilsta-tistiek zien in de loop der jaren. De figuur geeft de frequentielijnen van de strate-gieën met gelijkblijvend gemiddeld winterpeil weer. In strategie 1b leidt spuiver-dubbeling tot een verlaging van de meerpeilpieken. Deze verlaging neemt toe met de hoogte van de pieken, omdat de functionele spuicapaciteit toeneemt met de hoogte van de meerpeilpieken. Het effect neemt af met de tijd, omdat door stijgen-de zeespiegel de rol van spui afneemt. In strategie 1a leidt verdubbeling van de spui tot verhoging van de meerpeilpieken. Dit komt omdat bij spuiverdubbeling minder pompcapaciteit nodig is om de 1:100.000 per jaar pieken gelijk te houden. Ook hier neemt het effect af met de tijd. De 1-c strategie neemt een tussenpositie in. In de strategieën met een stijgend gemiddeld winterpeil (niet afgebeeld) verloopt het effect van de zeespiegelstijging uiteraard trager, doordat de spui mogelijkheden af-nemen met de *relatieve* zeespiegelstijging (zeespiegelstijging minus meerpeilstij-ging: zie paragraaf 4.1).



Figuur 4.4

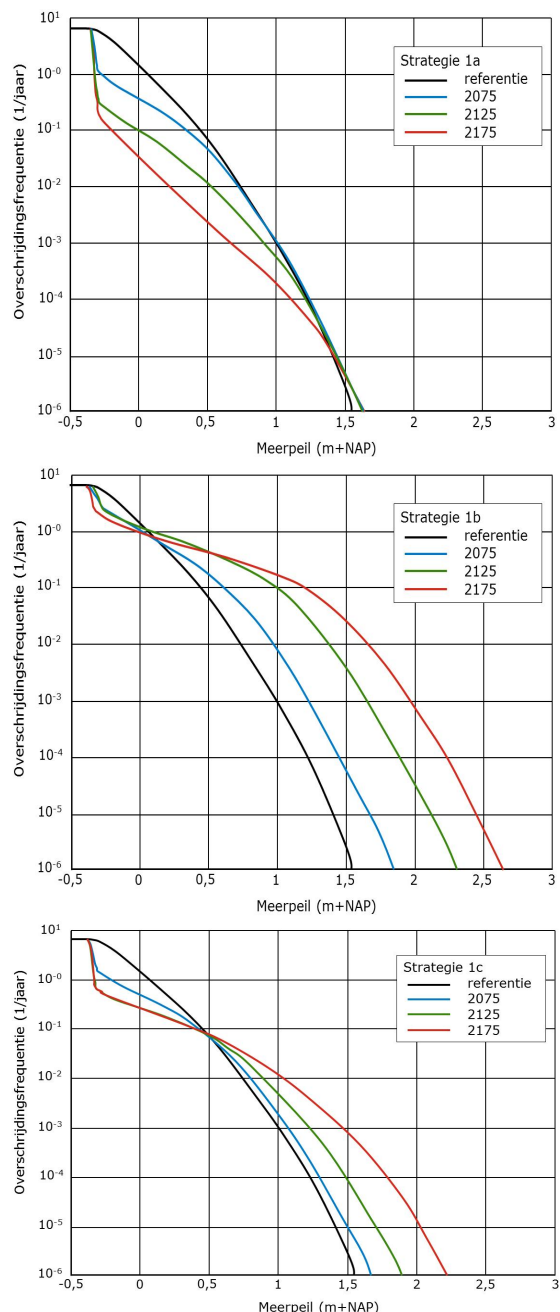
Frequentielijnen van het IJsselmeer bij 100% en 200% van de huidige spuicapaciteit, bij gelijkblijvend gemiddeld winterpeil. Van boven naar beneden respectievelijk de a-strategieën (pompcapaciteit berekend op het gelijk houden van de 1:100.000 per jaar pieken t.o.v. het gemiddeld winterpeil), de b-strategieën (pompcapaciteit berekend op gelijk houden van de 1:1 per jaar pieken t.o.v. het gemiddeld winterpeil) en de c-strategieën (pompcapaciteit berekend op gelijk houden van de 1:10 per jaar pieken t.o.v. het gemiddeld winterpeil). De referentie is de statistiek in peiljaar 2015.

Klimaatverandering en pompcapaciteit

Figuur 4.5 laat zien hoe de peildynamiek zich in de loop der tijd ontwikkelt, wanneer het gemiddeld winterpeil gelijk wordt gehouden. De ontwikkeling is het gevolg van klimaatverandering en aanpassing van de pompcapaciteit daaraan. De drie grafieken geven achtereenvolgens de frequentielijnen voor de strategieën 1a, 1b en 1c weer. In deze strategieën is de overschrijdingsfrequentie waarbij de pieken gelijk worden gehouden achtereenvolgens 1:100.000, 1:1 en 1:10 per jaar. Duidelijk is te zien hoe op deze punten de lijnen voor de drie jaren waarvoor berekeningen zijn gemaakt de referentielijn kruisen. De grafieken laten zien dat bij overschrijdingsfrequenties groter dan deze waarden de pieken in hoogte afnemen en dat de pieken in hoogte toenemen bij overschrijdingsfrequenties die kleiner zijn dan de waarde waarvoor de pieken gelijk worden gehouden. Het wordt ook duidelijk dat het op de langere termijn niet mogelijk is de huidige frequentielijn te handhaven, vanwege de veranderende vorm van de lijnen bij een toenemende rol van pompen.

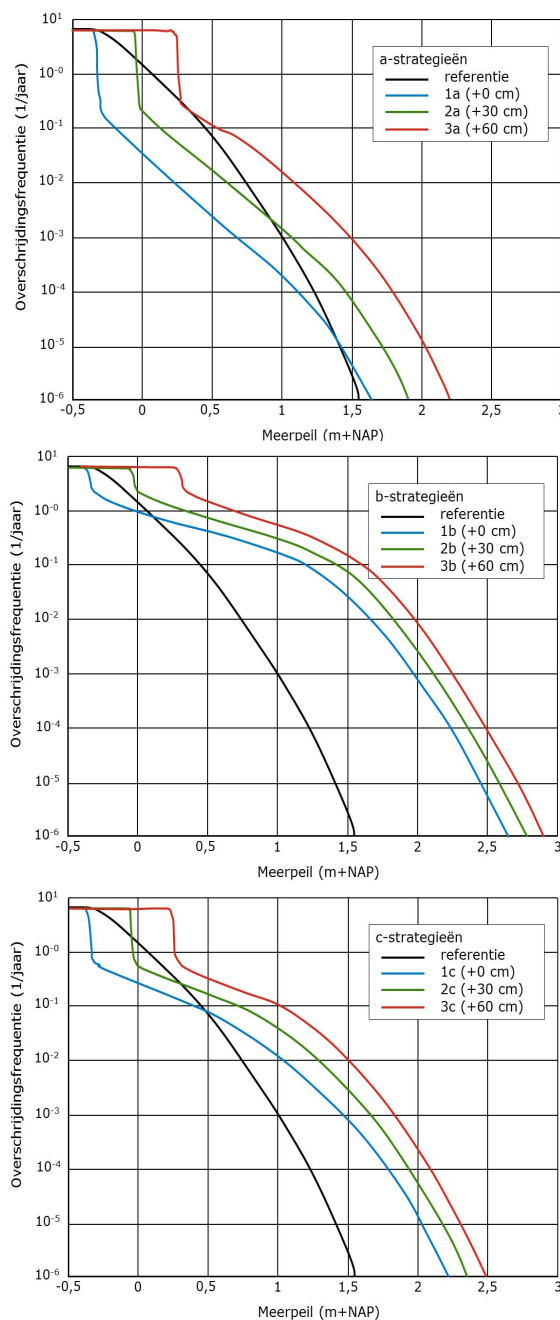
Figuur 4.5

Frequentielijnen van het IJsselmeer in de strategieën met gelijkblijvend gemiddeld winterpeil in de drie peiljaren (uitgaande van de huidige spuicapaciteit). Van boven naar beneden achtereenvolgens strategie 1 a (pompcapaciteit berekend op het gelijk houden van de 1:100.000 per jaar pieken), strategie 1 b (pompcapaciteit berekend op gelijk houden van de 1:1 per jaar pieken) en strategie 1c (pompcapaciteit berekend op het gelijk houden van de 1:10 per jaar pieken). De referentie is de statistiek in peiljaar 2015.



Stijging gemiddeld winterpeil

Figuur 4.6 brengt het effect van stijging van het gemiddeld winterpeil in beeld. De figuur geeft de frequentielijnen voor het jaar 2175. In de a-strategieën stijgen de meerpeilpieken ongeveer evenveel als het gemiddeld winterpeil. In de b-strategieën stijgen de pieken met minder dan de helft van de winterpeilstijging en de c-strategieën nemen een tussenpositie in. Het valt op dat de keuze voor pompcapaciteit (volgens de a, b of c strategie) een grotere invloed heeft op de frequentielijn dan een stijging van het gemiddeld winterpeil met 30 of 60 cm.



Figuur 4.6

Frequentielijnen van het IJsselmeer in 2175 bij verschillende stijgingen van het gemiddeld winterpeil. Van boven naar beneden respectievelijk de a-strategieën (pompcapaciteit berekend op het gelijk houden van de 1:100.000 per jaar pieken t.o.v. het gemiddeld winterpeil), de b-strategieën (pompcapaciteit berekend op gelijk houden van de 1:1 per jaar pieken t.o.v. het gemiddeld winterpeil) en de c-strategieën (pompcapaciteit berekend op gelijk houden van de 1:10 per jaar pieken t.o.v. het gemiddeld winterpeil). De referentie is de statistiek in peiljaar 2015.

4.2.2

Markermeer

Figuur 4.7 geeft een overzicht van de peilstatistiek van het Markermeer in drie varianten van strategieën:

- Strategie 1 (handhaving van het gemiddeld winterpeil), waterafvoer met alleen spuien.
- Strategie 1 (handhaving van het gemiddeld winterpeil), waterafvoer met spuien en pompen ($150 \text{ m}^3/\text{s}$).
- Strategie 2 (stijging van het gemiddeld winterpeil met 8 cm), waterafvoer met spuien en pompen ($150 \text{ m}^3/\text{s}$).

De peildynamiek van het Markermeer wordt beïnvloed door die van het IJsselmeer. De figuren laten de resultaten voor gelijkblijvend Markermeerpeil zien bij gelijkblijvend IJsselmeerpeil en voor stijgend Markermeerpeil bij stijgend IJsselmeerpeil. In alle gevallen wordt zowel het resultaat bij de a-strategie (afnemende meerpeilpieken) als de b-strategie (toenemende meerpeilpieken) van het IJsselmeer weergegeven.

Klimaatverandering

Figuur 4.7A laat zien dat bij afwezigheid van pompen de lagere meerpeilpieken afnemen en de hogere toenemen ten opzichte van de referentie. Dit terwijl in het IJsselmeer de 1:100.000 per jaar pieken gelijk worden gehouden (en de frequenter optredende pieken afnemen in hoogte). Het in hoogte afnemen van de lagere (frequenter optredende) pieken in het IJsselmeer werkt door de spui mogelijkheden van het Markermeer. De afname van de hoogte van de hogere IJsselmeerpeilpieken werkt echter niet door: de pieken zijn nog steeds zo hoog dat er vanuit het Markermeer niet gespuid kan worden. Omdat door de klimaatverandering de wateraanvoer naar het Markermeer toeneemt tijdens de tijd dat er niet gespuid kan worden nemen de pieken in hoogte toe. Zonder pompen op de Houtribdijk zullen er op termijn dus altijd hogere meerpeilpieken op het Markermeer kunnen optreden, zelfs als die van het IJsselmeer gelijk worden gehouden.

IJsselmeerstrategie

Vergelijking van Figuur 4.7A (IJsselmeerstrategie 1a) met 4.7D (IJsselmeerstrategie 1b) laat zien dat bij alleen spui mogelijkheden de hogere pieken in het IJsselmeer sterk doorwerken in het Markermeer.

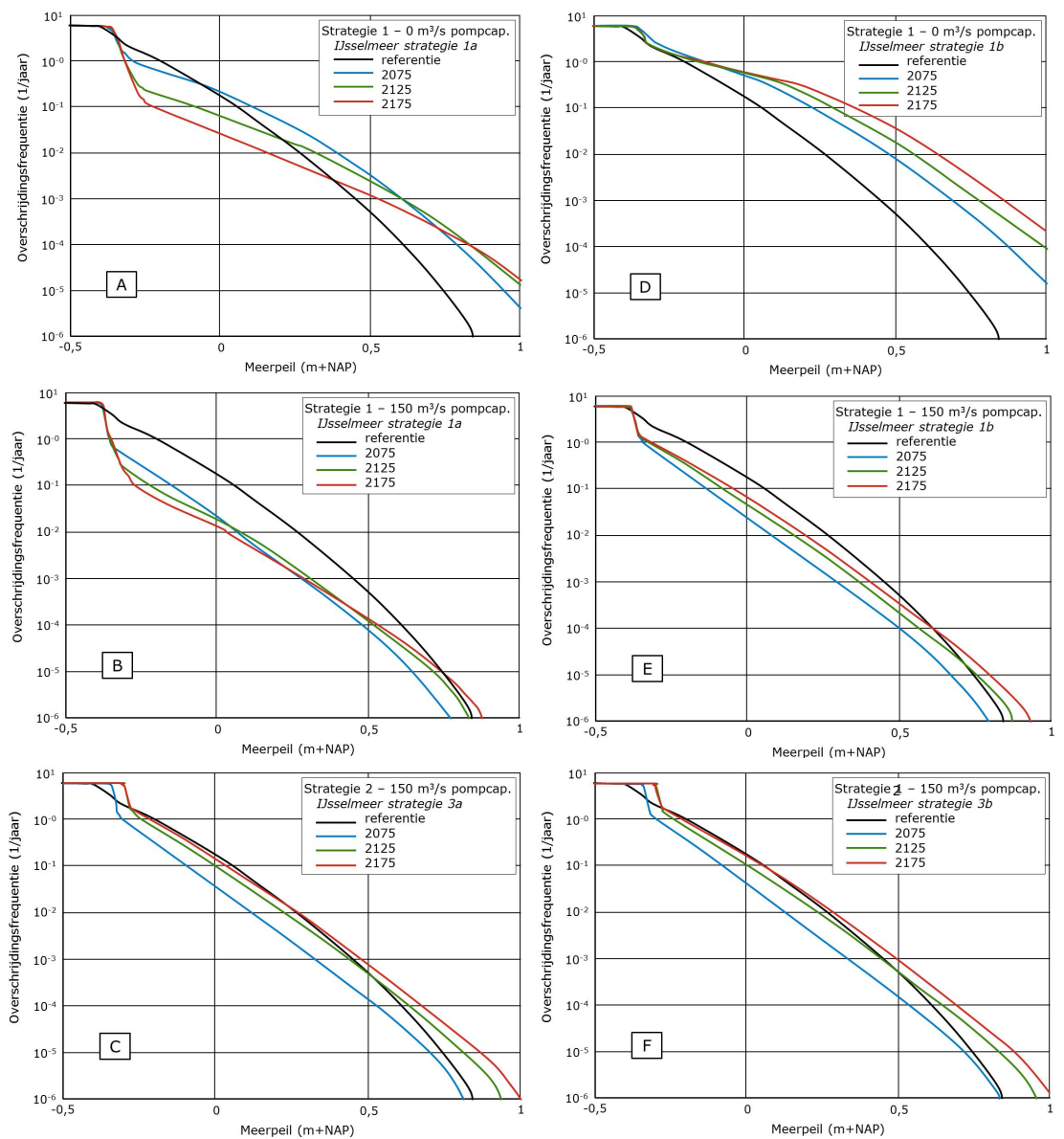
Vergelijking van Figuur 4.7E met 4.7B laat zien dat zelfs met $150 \text{ m}^3/\text{s}$ pompcapaciteit op de Houtribdijk de IJsselmeerstrategie nog invloed heeft op het Markermeer. Het effect is echter beduidend kleiner dan wanneer er geen pompen op de Houtribdijk aanwezig zijn.

Pompen

In Figuur 4.7B en E is te zien dat in 2175 dat bij gelijkblijvend gemiddeld winterpeil van het IJsselmeer $150 \text{ m}^3/\text{s}$ pompcapaciteit voldoende is om te zorgen dat pieken met een lage overschrijdingsfrequentie niet of nauwelijks toenemen t.o.v. de referentie en dat de frequenter voorkomende pieken in hoogte afnemen. In 2075 zou met minder pompcapaciteit kunnen worden volstaan om te zorgen dat de pieken niet in hoogte toenemen. Ook bij een stijging van het gemiddeld winterpeil van het Markermeer blijkt dat het geval te zijn (4C en F).

Stijging gemiddeld winterpeil

Uit figuur 4.7C blijkt dat de stijging van het gemiddeld winterpeil in beide meren op termijn leidt tot hogere meerpeilpieken in het Markermeer (bij dezelfde pompcapaciteit). De verandering in de tijd komt door de stijging van het IJsselmeerpeil en de toenemende kans op zeer grote wateraanvoer naar het Markermeer. Er blijkt er nauwelijks meer effect te zijn van de keuze van de a of b strategie in het IJsselmeer (figuur 4.7F).

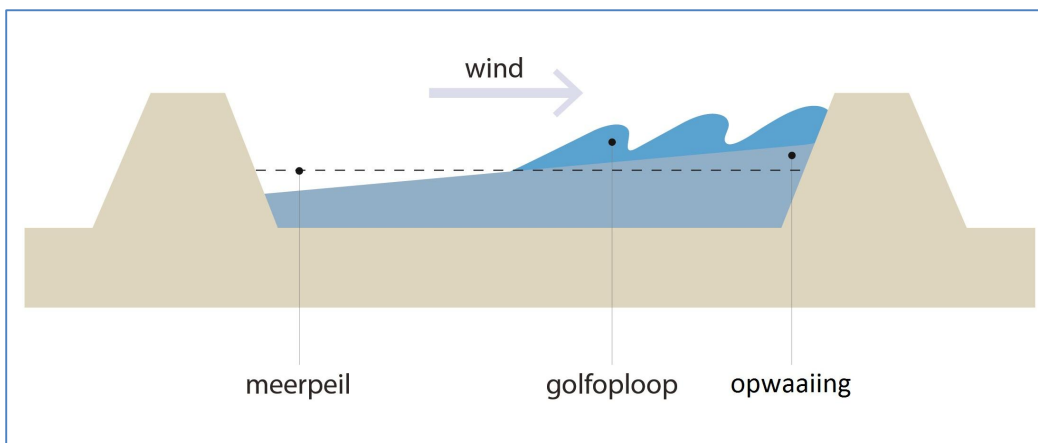


Figuur 4.7 Frequentielijnen van het Markermeer voor drie strategieën, bij verschillende strategieën voor het IJsselmeer.

4.3

Dijkbelasting

In de vorige paragraaf is het effect van de strategieën op de meerpeilen besproken. Het meerpeil is de ruimtelijk gemiddelde waterstand van een meer. Voor een dijklocatie is echter niet de gemiddelde waterstand van belang, maar de lokale waterstand. Als er geen wind is, is de lokale waterstand¹ gelijk aan het meerpeil. Wind drijft het water echter op, waardoor het wateroppervlak scheef komt te staan. Bij wind is de lokale waterstand daarom het meerpeil plus de opwaaiing. Wind veroorzaakt daarnaast ook golven. Als golven in de richting van dijk bewegen, lopen ze tegen het dijktaalud op. De helling en de ruwheid van het talud bepalen hoever een bepaald type golf kan oplopen. De totale hydraulische belasting van dijken is de som van meerpeil, opwaaiing en golfoploop (zie Figuur 4.8).



Figuur 4.8 De hydraulische belasting van meerdijken bestaat uit het gecombineerde effect van meerpeil, opwaaiing en golfoploop.

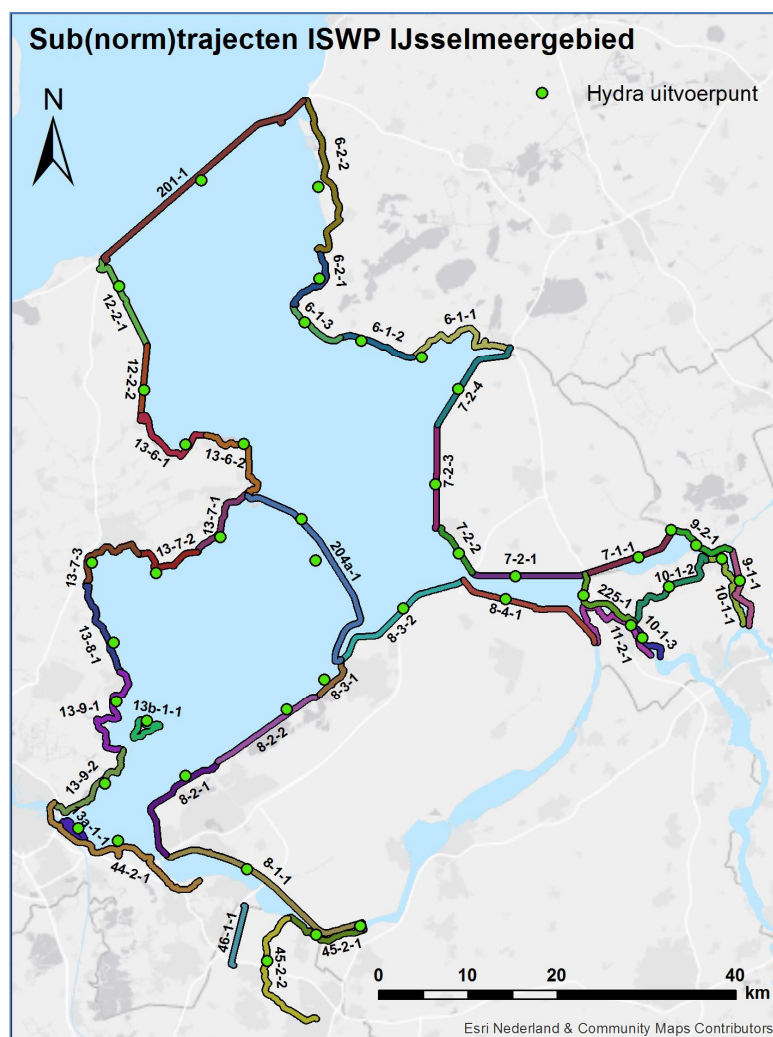
Met het model Hydra-zoet zijn, uitgaande van de meerpeilstatistiek en gegevens van de dijken, de statistiek van de lokale waterstanden en de hydraulische belastingniveaus (HBN) berekend voor 43 locaties rond IJsselmeer, Markermeer en in de IJssel-Vechtdelta. Samen geven de locaties een representatief beeld van het effect van de strategieën op de dijkbelasting in het gebied. Figuur 4.9 geeft de locaties weer. De berekeningen zijn uitgevoerd voor minder varianten dan de DEZY berekeningen: er is gekozen voor de negen strategieën en zes varianten daarvan. (Totaal zijn dus 15 varianten doorgerekend: zie Bijlage F).

Bijlage G geeft de berekende dijkbelastingen voor het IJsselmeer (incl. IJssel-Vechtdelta) weer, voor de strategieën 1 (geen stijging gemiddeld winterpeil) en 3 (60 cm stijging gemiddeld winterpeil). Het gaat om de lokale waterstanden bij de overschrijdingskansen 1:10 en 1:100.000 per jaar en het HBN bij een overschrijdingskans van 1:100.000 per jaar². Deze waarden vormen als het ware de hoekpunten van de range van relevante hydraulische belastingen gegeven de maximaal toelaatbare overstromingskansen in het IJsselmeergebied. Deze lopen van 1:100 per jaar voor Marken en IJburg tot 1:10.000 per jaar voor Flevoland. Doordat voor ieder traject verschillende faalmechanismen van belang zijn zoals overloop, overslag en macro stabiliteit waar de toegestane kans "over moet worden verdeeld" en er reke-

¹ In deze paragraaf wordt voor de lokale waterstand bij een gegeven overschrijdingsfrequentie soms de afkorting MHW gebruikt. In feite is dit een verouderde term. Hij wordt echter nog regelmatig gebruikt en komt ook voor in bijvoorbeeld de uitvoer van modelberekeningen.

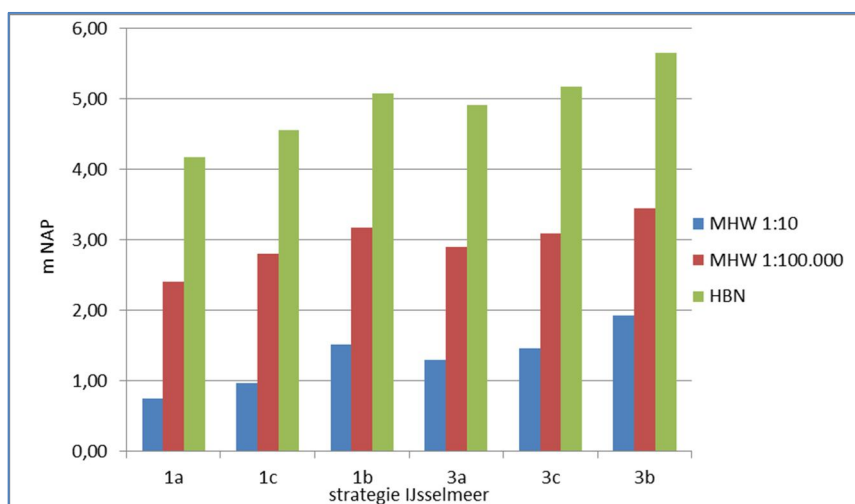
² De HBN's zijn voor de oude dijken van Noord-Holland, Friesland en de IJssel-Vechtdelta berekend bij een overslagdebiet van 5 l/m/s en 10 l/m/s voor de Wieringermeer, Noodoostpolder en Oostelijk Flevoland: zie kader op pagina 30.

ning moet worden gehouden met de lengte van een traject via het zogenaamde lengte-effect gaat het om belastingen die mogen voorkomen met een aanzienlijk kleinere kans. Vandaar dat ook is gekozen om te kijken naar de waterstanden en HBN met een overschrijdingsfrequentie van 1:100.000 per jaar.



Figuur 4.9 Dijktrajecten waarvoor dijkbelastingen en versterkingsopgaven zijn berekend. De berekeningen zijn gebaseerd op één locatie per dijktraject, die met een stip is aangegeven.

In Bijlage G zijn per strategie ook de over de locaties gemiddelde waarden weergegeven. Omdat de waarden tussen locaties sterk uiteenlopen hebben deze gemiddelde waarden in zichzelf weinig betekenis. Ze geven echter wel inzicht in het gemiddelde effect van de strategieën op de dijkbelasting. In Figuur 4.10 zijn deze gemiddelde waarden van lokale waterstanden en HBN's grafisch weergegeven. In de figuur is te zien dat de dijkbelasting (bij gelijkblijvend gemiddeld winterpeil) toeneemt met toenemende meerpeilpieken (dat is: in de volgorde a, c, b). Deze toename geldt zowel voor de waterstanden bij de overschrijdingsfrequenties 1:10 per jaar en 1:100.000 per jaar, als voor het HBN. Ook toename van het gemiddeld winterpeil (strategie 3 t.o.v. strategie 1) leidt tot verhoging van de dijkbelasting. Opvallend is dat het verschil tussen 1a en 3a (60 cm stijging gemiddeld winterpeil) minder groot is dan het verschil tussen 1a en 1b (toename meerpeilpieken). Verder is in de figuur te zien dat het effect van toenemende meerpeilpieken op het HBN en de lokale waterstanden met overschrijdingsfrequentie 1:100.000 kleiner is wanneer het gemiddeld winterpeil hoger is geworden. Oftewel: het verschil tussen 1a en 1b is groter dan dat tussen 3a en 3b. Dit effect geldt niet voor de lokale waterstanden bij een overschrijdingsfrequentie van 1:10 per jaar.

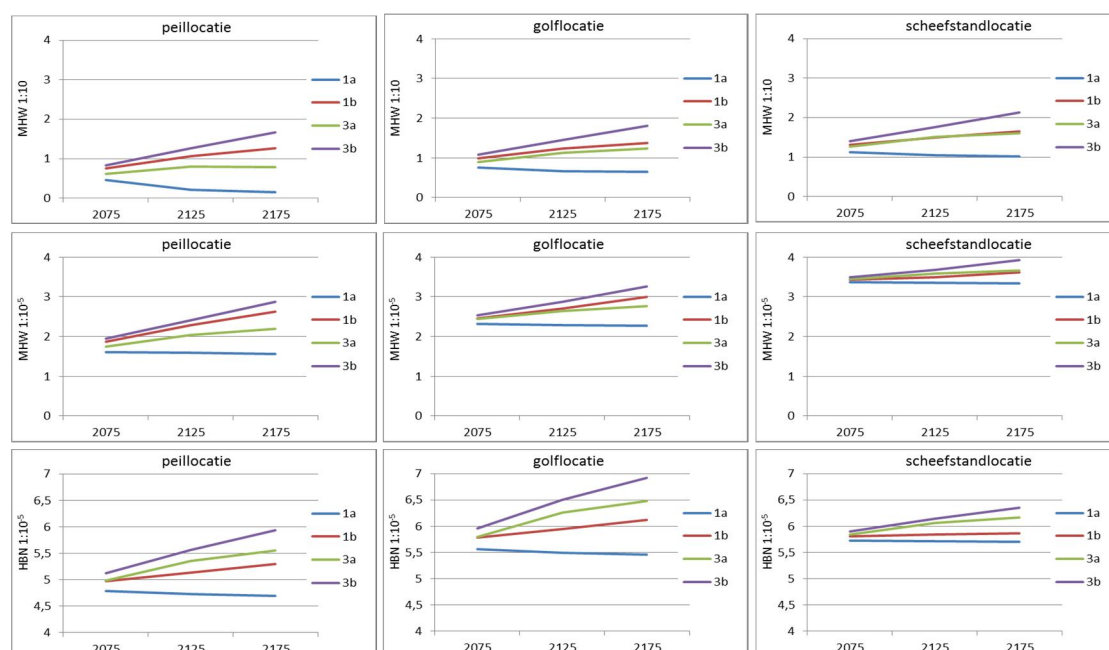


Figuur 4.10 Gemiddeld effect van de peilstrategie op lokale waterstanden (MHW) en hydraulische belastingniveaus (HBN) in het IJsselmeer (incl. IJssel-Vechtdelta) in 2175.

Het effect van de strategieën op de dijkbelasting (MHW en NBN) verschilt sterk tussen de dijktrajecten. Figuur 4.11 geeft ter illustratie de ontwikkeling van lokale waterstanden en HBN's op drie locaties: een locatie met weinig windbelasting ("peilgedomineerd"), een locatie met veel scheefstand maar een beperkte golfbelasting ("scheefstandlocatie") en een locatie met grote golfbelasting ("golflocatie"). Bij het bekijken van de figuur moet er rekening mee worden gehouden dat het HBN niet alleen wordt bepaald door de belasting van de dijk, maar ook door dikeigenschappen als taludhoek en ruwheid van de bekleding.

De figuur laat zien dat in strategie 1a de dijkbelasting iets afneemt in de loop van de tijd. Dit correspondeert met de meerpeilstatistiek (zie Figuur 4,4, eerste grafiek). Doordat de meerpeilpieken met een overschrijdingsfrequentie van 1:100.000 per jaar gelijk worden gehouden, nemen de frequenter optredende pieken in hoogte af. En dat des te meer naarmate de pompcapaciteit toeneemt.

In de figuur is verder te zien dat het verschil tussen de meest extreme strategieën (1a en 3b) het kleinst is op de scheefstandlocatie, zowel voor HBN als de lokale waterstanden. Voor de lokale waterstanden is het verschil het grootst op de peillootatie, voor het HBN echter juist op de golflocatie.



Figuur 4.11 Effect van peilstijging en pompcapaciteit op lokale waterstanden (MHW) en HBN's op drie locaties: een peilgedomineerde locatie (dijktraject 12.2.2), een golfgedomineerde locatie (dijkvak 7.2.3) en een scheefstandgedomineerde locatie (dijkvak 7.2.1).

Intermezzo: het effect van het toegestane overslagdebiet op het HBN

Uit het Hydraulisch BelastingsNiveau (HBN) worden de benodigde dijkhoogte afgeleid. Tot nu toe wordt bij de bepaling van het hydraulisch belastingniveau (HBN) van de meerdijken gerekend met een vast toegestaan overslagdebiet van 1 l/m/s. In het nieuwe ontwerpinstrumentarium mag gerekend worden met waarden tussen de 1 en 10 l/m/s, afhankelijk van de conditie van de dijk. We hebben in ISWP voor alle dijkvakken het HBN berekend bij een overslagdebiet van 1, 5 en 10 l/m/s. Op basis van overleg met deskundigen is voor berekening van de dijkversterkingsopgaven het HBN bij 5 l/m/s gebruikt voor de oude dijken en 10 l/m/s voor de dijken van de zuiderzeepolders.

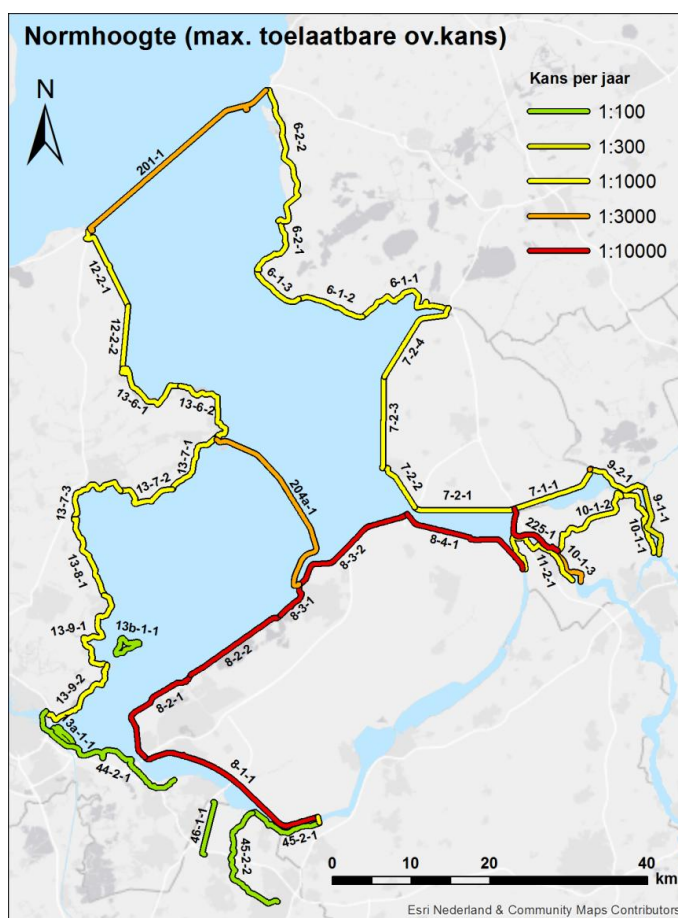
De totale set aan rekenresultaten kan echter ook gebruikt worden om inzicht te krijgen in het effect van het overslagdebiet op het HBN. Dit is gedaan met de rekenresultaten van fase 2. Er is een korte analyse van het effect van de keuze van het overslagdebiet gemaakt voor het jaar 2175 en het HBN dat een overschrijdingskans van 1:100.000 jaar heeft. Voor het IJsselmeer (inclusief Ketelmeer) blijkt (gemiddeld over alle strategieën en locaties) een toename van 1 naar 5 l/m/s het HBN met 76 cm te verlagen en een verdere toename naar 10 l/m/s geeft nog eens 33 cm verlaging. Op het Markermeer (incl. Gooimeer) is de verlaging resp. 52 en 22 cm. Daarbij moet in gedachten worden gehouden dat de HBN's op het Markermeer gemiddeld beduidend lager zijn dan die op het IJsselmeer.

Er zijn grote verschillen tussen locaties. De gemiddelde verlaging van het HBN op het IJsselmeer is 109 cm bij een toename van het toegestane overslagdebiet van 1 naar 10 l/m/s. De waarden lopen voor de onderzochte locaties uiteen van 36 tot 182 cm (nog steeds gemiddeld over de strategieën). Op het Markermeer (gemiddeld 74 cm verlaging) lopen de waarden voor de onderzochte locaties uiteen van 8 tot 214 cm. De 214 cm is voor locatie 320, in de bocht van de Houtribdijk bij Lelystad.

Het effect van het overslagdebiet op het HBN is het grootst op de plekken met grote scheefstand en golfbelasting, minder op plekken waar wel veel scheefstand is maar de golfbelasting beperkt en het kleinst op de zg. peilgedomineerde locaties: plaatsen waar scheefstand en golfbelasting een kleine bijdrage geven aan het HBN. Het effect van golven en scheefstand wordt geïllustreerd door de extreme verandering in het HBN op de locatie in de bocht van de Houtribdijk. Hier spelen scheefstand en golven een grote rol.

4.4 Benodigde dijkversterkingen

Figuur 4.12 geeft een overzicht van de veiligheidsnormering in het IJsselmeergebied (maximaal toelaatbare overstromingskans per dijktraject). Op basis van de berekende hydraulische belastingen en gegevens van de dijken en de ondergrond is geanalyseerd welke dijkversterkingen in de toekomst noodzakelijk zijn om aan de normen te voldoen. De dijken worden versterkt in 2025, 2075 en 2125. Met de laatste versterking zijn de dijken op orde tot 2175. Bij het analyseren van de benodigde dijkversterkingen is gekeken naar drie faalmechanismen van de dijken: overloop en overslag, piping en macrostabiliteit binnenwaarts¹. De methode waarmee de versterkingsopgaven zijn bepaald is beschreven in Bijlage B.

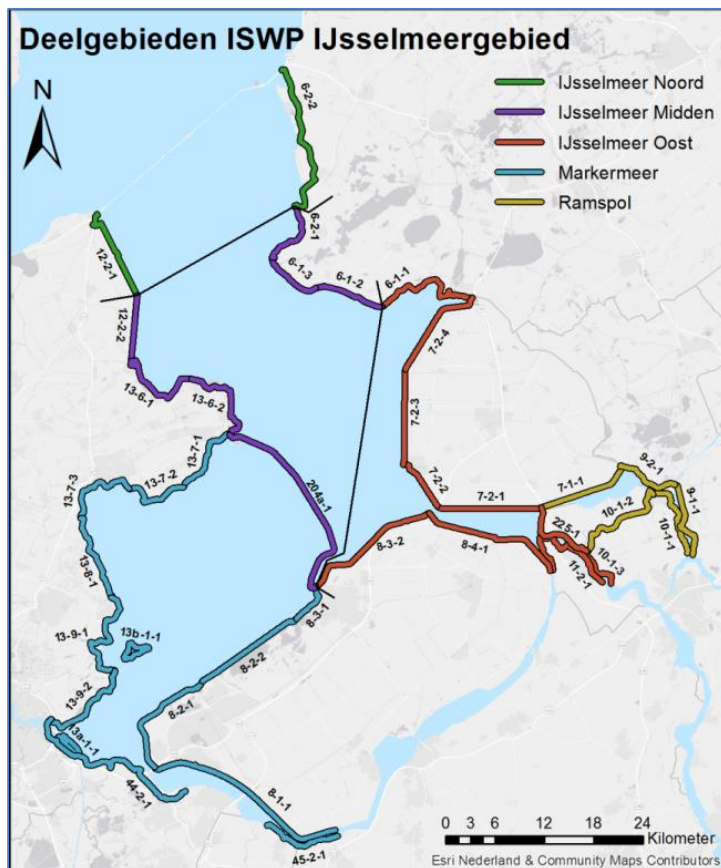


Figuur 4.12 Normhoogtes (maximaal toelaatbare overstromingskans) in het studiegebied.

In de tabellen in deze paragraaf wordt onderscheid gemaakt tussen vijf deelgebieden die van karakter verschillen: IJsselmeer Noord (vooral windgedomineerd), IJsselmeer Midden (vooral meerpeilgedomineerd), IJsselmeer Oost (vooral windgedomineerd), Ramspol (rivierinvloeden) en Markermeer. Figuur 4.13 brengt deze deelgebieden in beeld. Door de opsplitsing in deelgebieden wordt een eerste indruk verkregen van de verschillen in opgave die er zijn binnen het onderzoeksgebied. Bij het

¹ Bij de Houtribdijk is alleen een hoogteopgave bekeken. Vanwege de beperkte peilverschillen tussen beide zijden van de dijk wordt geen piping verwacht. Bij de Afsluitdijk is er vanuit gegaan dat hoogte en sterkte door de belasting vanuit de Waddenzee worden bepaald en is alleen het effect op de dijkbekleding aan de binnenzijde meegenomen.

bekijken van de opgaven moet er wel rekening mee worden gehouden dat er ook tussen locaties binnen een deelgebied grote verschillen kunnen bestaan.



Figuur 4.13 Indeling van het IJsselmeergebied in vijf deelgebieden.

Tabel 4.5 geeft een overzicht van de berekende versterkingsopgaven in de vijf deelgebieden¹. Het gaat in Tabel 4.5 om de totale opgave in de periode 2025 t/m 2125, voor drie faalmechanismen. De opgaven per faalmechanisme worden bij de versterking geïntegreerd in één nieuw ontwerp: zie daarvoor de toelichting in Bijlage C.

De tabel laat zien dat de opgaven sterk variëren, zowel tussen de strategieën als tussen de deelgebieden. Gemiddeld per deelgebied varieert de hoogteopgave van 0-168 cm, de opgave voor macrostabiliteit van 0-10 m dijkvoetverbredening en de opgave voor piping van 2 tot 73 m dijkvoetverbredening. Voor het IJsselmeer (en de daarmee in openverbinding staande wateren) neemt de opgave toe met de meerpeilstijging (strategie 1,2,3) en de hoogte van de meerpeilpieken (strategie a, c, b).

In de tabel valt op dat de pipingopgave voor het Markermeer klein is ten opzichte van de andere deelgebieden. Dit komt enerzijds doordat ervan uitgegaan wordt dat in 2025 geen versterking van de Noord-Hollandse dijken nodig is (omdat die net versterkt zijn) en anderzijds omdat een groot deel van de andere dijken niet gevoelig is voor piping, vanwege de ondoorlatende meerbodem.

		Strategie								
		1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c
Hoogte [cm verhoging]	IJssm. noord	0	6	0	0	17	0	0	27	4
	IJssm. midden	8	61	25	25	79	41	42	97	60
	IJssm. oost	75	113	81	92	141	106	122	168	136
	Ramspol	11	80	31	19	95	39	34	113	66
	Markermeer	45	47	46	52	53	54	53	53	54
Macrostabiliteit [m dijkvoetver- breiding]	IJssm. noord	0	4	2	2	5	3	3	6	4
	IJssm. midden	0	1	0	0	1	0	0	1	1
	IJssm. oost	3	5	3	3	5	4	4	6	4
	Ramspol	7	9	8	8	9	8	8	10	9
	Markermeer	7	7	6	7	7	7	7	7	7
Piping [m dijkvoetver- breiding]	IJssm. noord	15	39	22	23	45	30	30	50	36
	IJssm. midden	2	25	11	6	29	15	11	34	19
	IJssm. oost	19	34	25	22	36	28	27	40	31
	Ramspol	39	62	46	43	67	52	50	73	58
	Markermeer	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tabel 4.5 De versterkingsopgave per faalmechanisme voor de negen strategieën, gemiddeld per deelgebied, voor de gehele periode 2025 t/m 2125 (zie tabel 3.1 voor de samenstelling van de strategieën).

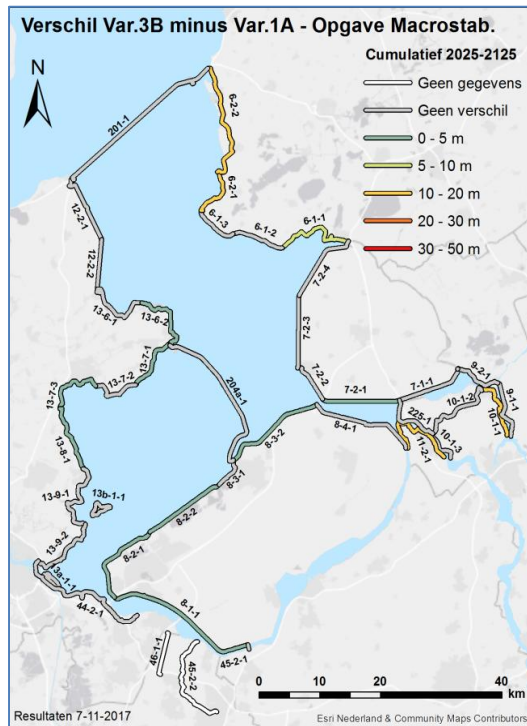
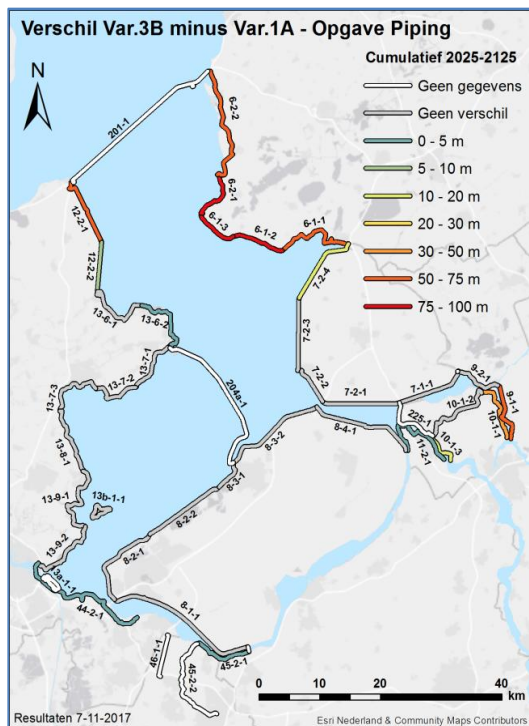
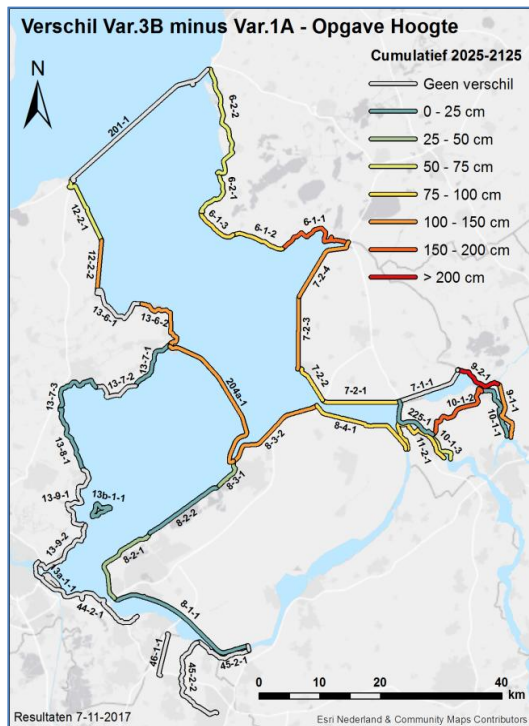
¹ De berekende opgave voor het dijktraject Enkhuizen-Amsterdam voor 2025 niet meegenomen. Deze dijk is gedeeltelijk al versterkt en voor de rest is versterking in voorbereiding. Aangenomen is dat deze versterkingen precies voldoende zijn om de dijken tot 2075 aan de norm te laten voldoen.

Tabel 4.6 geeft voor het IJsselmeer verschillen in opgaven weer tussen de strategieën, waardoor het effect van meerpeilstijging en de manier waarop pieken worden beheerst zichtbaar wordt. In het IJsselmeer is het effect van toenemende meerpeilpieken gemiddeld groter dan het effect van 60 cm stijging van het gemiddeld winterpeil. De effecten verschillen echter sterk per deelgebied. Dit heeft zowel te maken met eigenschappen van de dijken als met de rol die wind speelt in de dijkbelasting. Waar de windeffecten groot zijn, zijn de effecten van veranderingen in het peilbeheer kleiner. Het Markermeer is niet opgenomen in Tabel 4.6. In Tabel 4.5 is echter te zien dat verhoging van het gemiddeld winterpeil daar met 8 cm (strategie 2 en 3) leidt tot een vergroting van de hoogteopgave t.o.v. de strategie met gelijkblijvend gemiddeld winterpeil van ongeveer dezelfde grootte. Deze peilstijging heeft echter geen invloed op de opgaven voor piping en macrostabiliteit.

		Effect toename meerpeilpieken bij gelijkblijvend gem. winterpeil	Effect 60 cm peilstijging bij afnemende meerpeilpieken	Effect 60 cm peilstijging bij toenemende meerpeilpieken
		1b-1a	3a-1a	3b-1b
Hoogte [cm verhoging]	IJssm. noord	6	0	21
	IJssm. midden	53	34	36
	IJssm. oost	38	48	55
	Ramspol	69	23	33
Macrostabiliteit [m dijkvoetverbreding]	IJssm. noord	4	2	2
	IJssm. midden	1	0	0
	IJssm. oost	2	1	2
	Ramspol	2	1	1
Piping [m dijkvoetverbreding]	IJssm. noord	24	14	10
	IJssm. midden	23	9	9
	IJssm. oost	15	8	6
	Ramspol	23	11	11

Tabel 4.6 Het effect van pompcapaciteit, peilstijging en spuicapaciteit op de gemiddelde versterkingsopgaven voor het IJsselmeer en Markermeer.

In Figuur 4.14 zijn de locatieverschillen nog wat gedetailleerder in beeld gebracht. Deze figuur laat voor alle trajecten het verschil in opgave zien tussen de strategieën die het meest uiteenlopen in dijkbelasting. Voor het IJsselmeer gaat het daarbij om de strategieën 3b (beperkte pompcapaciteit en 60 cm stijging van het gemiddeld winterpeil) en 1a (grote pompcapaciteit en geen stijging van het gemiddeld winterpeil), voor het Markermeer om wel en geen stijging van het gemiddeld winterpeil met 8 cm. Uit deze kaarten valt niet gelijk een eenduidige conclusie te trekken. Duidelijk is wel dat het effect van de strategieën sterk verschilt per locatie en per faalmechanisme. Omdat in het Markermeer de dijkbelasting weinig verschilt tussen de strategieën is daar ook het verschil in versterkingsopgave het kleinst.



Figuur 4.14 Verschil in dijkversterkingsopgaven (voor de drie faalmechanismen) tussen strategie 3B (Markermeer 2) en strategie 1a (Markermeer 1). Het gaat om het totaal over de drie versterkingsrondes.

De versterkingsopgave wordt bepaald door veranderingen in hydraulische belasting (door klimaatverandering en de gekozen strategieën) en bodemdaling¹, maar ook door de nieuwe normering en beoordelingssystematiek die in 2017 worden ingevoerd. Het effect van de nieuwe normering en beoordelingssystematiek is daarbij groot. Dit komt tot uiting als de opgaven worden opgesplitst naar de versterkingsjaren 2025, 2075 en 2125. In Tabel 4.7 is dit gedaan voor de pipingopgave. In de tabel is te zien dat (gemiddeld over de deelgebieden) de grootste pipingopgave in 2025 ligt, ook in de strategieën waarin de hydraulische belasting toeneemt in de loop der tijd.

Bij strategie 1a neemt de hydraulische belasting in het IJsselmeer in de loop der tijd iets af. In deze strategie is te zien dat de pipingopgave vrijwel geheel in 2025 ligt.

In de overige strategieën wordt bij de opgave voor 2025 al rekening gehouden met de toename van de belasting in de periode tot 2075. De opgave is in die strategieën daardoor ook in 2025 al iets groter dan in strategie 1a. De verschillen tussen de deelgebieden hebben te maken met verschillen in bodemdaling, gevoeligheid voor piping en de doorwerking van de strategie in de lokale hydraulische belasting.

		Pipingopgave dijkvoetverbreding [m]								
Strategie:		1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c
IJssm. noord	2025	14	20	14	19	21	19	16	22	20
	2075	1	9	2	3	9	6	7	12	9
	2125	1	11	5	1	14	5	4	17	8
IJssm. midden	2025	2	4	2	3	4	3	3	4	3
	2075	0	10	3	3	11	4	5	13	6
	2125	1	11	6	0	13	7	3	17	9
IJssm. oost	2025	18	20	19	19	22	20	19	22	20
	2075	1	6	2	2	6	4	5	8	5
	2125	1	7	4	0	9	4	3	10	6
Ramspol	2025	35	39	36	38	40	39	38	40	39
	2075	1	11	4	4	12	6	8	15	10
	2125	2	12	7	1	15	7	4	18	10
Markermeer	2025	2	2	2	2	3	2	2	3	2
	2075	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2125	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 4.7 De gemiddelde pipingopgave per deelgebied (in m dijkvoetverbreding), uitgesplitst naar de versterkingsmomenten.

¹ Tabel E.1 in Bijlage E geeft per traject de bodemdaling waarmee gerekend is weer.

5 Kosten van de strategieën

Dit hoofdstuk bespreekt de verschillen in kosten tussen de strategieën voor het peilbeheer (en enkele varianten daarvan). Na de algemene uitgangspunten voor de kostenberekeningen in 5.1 komen in 5.2 en 5.3 de kosten van respectievelijk de versterking van keringen en de waterafvoer aan de orde. Deze kosten zijn gebaseerd op de berekende opgaves voor versterkingen en waterafvoer in hoofdstuk 4. In paragraaf 5.4 worden de totale kosten van de strategieën vergeleken, waarna het hoofdstuk afsluit met een gevoeligheidsanalyse in paragraaf 5.5. Hier wordt gevarieerd met uitgangspunten en kostenniveaus, om na te gaan in hoeverre dit de kostenverschillen tussen de varianten beïnvloedt. In dit hoofdstuk wordt duidelijk dat de strategieën sterk verschillen in de kosten voor versterking van de keringen en de kosten van waterafvoer, maar dat de verschillen in de totale kosten heel weinig uiteenlopen (zowel nominaal als contant). In strategieën waar veel kosten voor waterafvoer worden gemaakt zijn de dijkversterkingskosten namelijk relatief laag en omgekeerd.

5.1 Uitgangspunten kostenramingen

De kostenraming van de strategieën bestaat uit twee onderdelen: de kosten van de versterking van de waterkeringen en de kosten van waterafvoer. Voor de kosten van de dijkversterkingen is het KOSWAT-instrumentarium gebruikt. Voor de raming van de kosten van pompen en spuien is in ISWP het spreadsheetmodel KOWIJS ontwikkeld (KOSTen Waterafvoer IJsselmeergebied).

KOSWAT is gebaseerd op het kader MKBA MIRT van Rijkswaterstaat en de Algemene Leidraad MKBA voor van CPB-PBL. Daarmee voldoet de studie aan de randvoorwaarden die Rijkswaterstaat en het ministerie aan MIRT-studies stellen. KOWIJS sluit geheel aan bij de uitgangspunten van KOSWAT. Het tekstkader geeft een overzicht van algemene uitgangspunten in de kostenberekeningen. Specifieke uitgangspunten die in KOSWAT en KOWIJS zijn gehanteerd zijn te vinden in Bijlage C en D.

Algemene uitgangspunten kostenramingen

- Er is gewerkt met prijspeil 2014 en prijzen inclusief BTW.
- De kostenramingen en kostenprojecties zijn in reële prijzen.
- Er is verdisconteerd naar het jaar 2025, het eerste jaar waarin investeringen plaatsvinden..
- Conform de richtlijnen van de ministeries van Financiën en van Infrastructuur en Milieu is een discontovoet van 4,5% toegepast om bedragen te verdisconteren.
- De kosten worden berekend tot het jaar 2175. De laatste investeringen hebben plaatsgevonden in 2125 (dijkversterking) en 2150 (pompen).
- In de kostenramingen zijn alleen die kosten opgenomen die per strategie (significant) kunnen verschillen. Kosten die vrijwel gelijk blijven tussen strategieën zijn buiten beschouwing gelaten.

De kostenberekeningen zijn bedoeld om een analyse te maken van de kostenverschillen tussen de strategieën voor het waterbeheer. Ze zijn niet bruikbaar als raming van de kosten voor individuele dijkversterkingsprojecten. Ze kunnen worden gebruikt als eerste inschatting van de kosten van beleidskeuzes, maar dan moet wel rekening worden gehouden met:

1. In het algemeen wordt voor een studie in de fase van een MIRT onderzoek met een bandbreedte van 50% rond de berekende bedragen gerekend. Dit is ook een redelijke inschatting van de onzekerheden in deze studie.

2. De berekeningen zijn gebaseerd op de huidige kostenniveaus en de huidige technieken. Gezien de lange zichttijd van de studie mag verwacht worden dat er op beide punten gedurende de realisatie van gekozen opties nog veel zal veranderen.
3. In de kostenberekeningen zijn niet alle kosten van waterafvoer en waterkeren meegenomen, maar slechts die kosten waarin de strategieën onderling verschillen. Zo zijn de kosten voor spuisluizen in de Houtribijken de Veluwerandmeren en de kosten van dijkonderhoud niet meegenomen. Ook is geen rekening gehouden met de mogelijke inzetbaarheid na 2050 van gemalen in de Afsluitdijk die voor 2050 worden gerealiseerd.

Omdat bovenstaande punten in alle strategieën op een zelfde manier doorwerken zijn de berekeningen goed geschikt om de kosten van de strategieën te vergelijken. Daarbij geldt uiteraard dat aan kleine kostenverschillen weinig waarde mag worden toegekend. In dit rapport worden kosten weergegeven op 0,1 miljard nauwkeurig. Dit betekent echter niet dat kostenverschillen van 0,1 miljard significant zijn.

5.2 Kosten versterking keringen

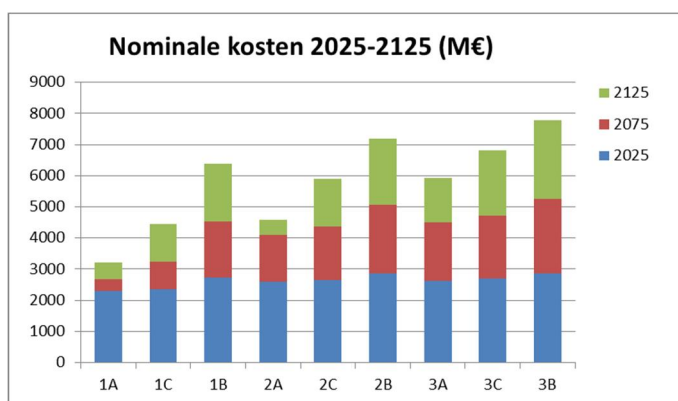
De versterking van de keringen bestaat uit dijkversterkingen, versterking van de dijkbekleding en versterking van de waterkerende kunstwerken in de dijken. De beschrijving van de kostenberekeningen in deze paragraaf is gebaseerd op De Grave et al (2017).

De kosten in deze paragraaf zijn exclusief de kosten voor "kleine opgaven". Het gaat om de opgaven die volgen uit een berekende faalkans voor waterstanden met een terugkeertijd van groter dan 1:10 per jaar. Deze opgaven zullen in de praktijk namelijk meestal wegvallen door meer "op maat" te beoordelen. Verder zijn geen kosten meegenomen voor versterking van de Noord-Hollandse Markermeerdijken in 2025, omdat deze recent versterkt zijn of binnenkort worden. Bijlage H geeft een overzicht van de kosten voor alle doorgerekende varianten.

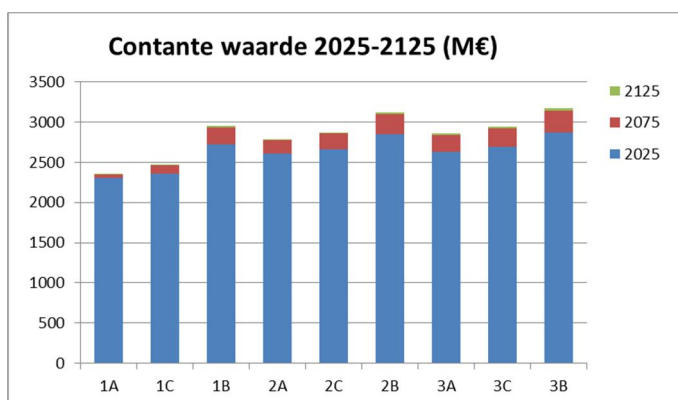
Voor de duidelijkheid zij nogmaals genoemd dat de kosten voor beheer en onderhoud van de keringen niet zijn meegenomen, omdat die zeer weinig zullen verschillen tussen de varianten.

Gehele gebied

Figuur 5.1 geeft een overzicht van de kosten van de versterking van keringen op de drie versterkingsmomenten: 2025, 2075 en 2125¹. De kosten variëren van 3,2 tot 7,8 miljard euro. In alle strategieën zijn de kosten van de eerste versterkingsronde het hoogst. Dit komt door de invoering van de nieuwe normering en beoordelings-systematiek. Omdat in strategie 1a de dijkbelasting in de loop der jaren daalt, zijn de kosten van de eerste versterkingsronde van deze strategie (ruim 2 miljard) een indicatie voor de extra kosten die de nieuwe normering en beoordelingssystematiek met zich meebrengen. Figuur 5.2 laat de contante waarde van de kosten zien. Deze waarden variëren van 2,4 tot 3,2 miljard euro. Door de lange zichtperiode en door-dat de kosten van de eerste versterkingsronde hoog zijn, worden de contante waar-den vrijwel geheel bepaald door de kosten van de eerste versterkingsronde.



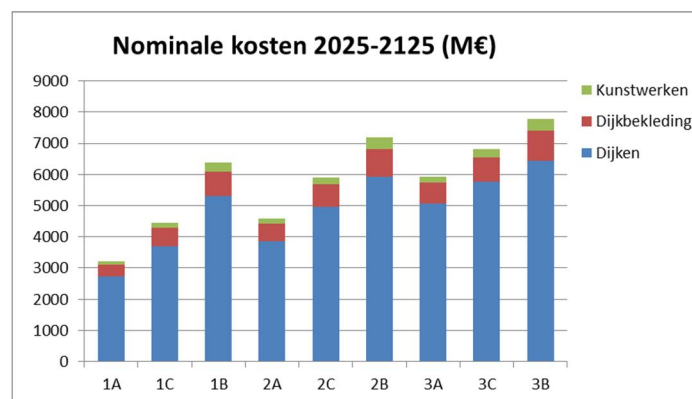
Figuur 5.1 De kosten (nominaal) van versterking van de keringen op de drie versterkingsmomenten voor de negen strategieën.



Figuur 5.2 Contante waarde van de kosten van versterking van de keringen versterking van de keringen op de drie versterkingsmomenten voor de negen strategieën.

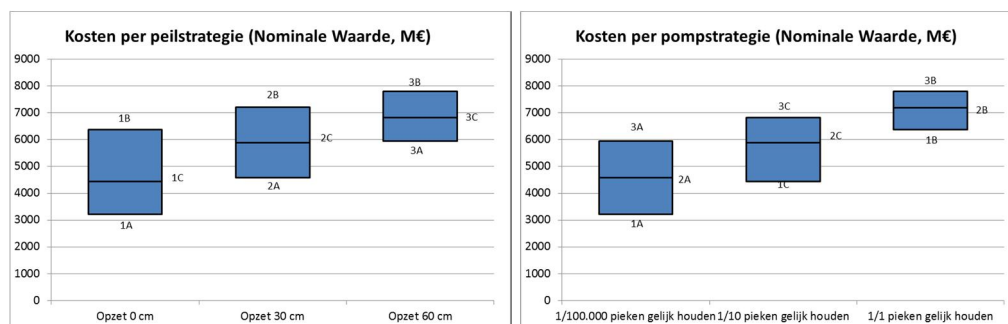
¹ De figuren 5.1 t/m 5.4 brengen de kosten van varianten van de strategieën niet in beeld. De varianten verschillen namelijk wel in de wijze waarop het water wordt afgevoerd, maar niet in de versterkingskosten voor het IJsselmeergebied als geheel.

In Figuur 5.3 zijn de kosten van versterking van de keringen (de totale kosten over de drie versterkingsrondes) opgesplitst in de kosten van versterking van de dijken, versterking van de kunstwerken en aanpassen van de dijkbekleding. De kosten van versterking van de dijken blijken sterk te domineren. Het effect van de strategieën is voor de drie kostensoorten vergelijkbaar.



Figuur 5.3 Kosten van versterking van de keringen (nominaal), opgesplitst naar de kosten voor dijklichamen, kunstwerken en bekleding voor de negen strategieën.

In Figuur 5.1 en 5.3 is te zien dat de kosten in de strategieën met beperkte pomp-capaciteit (de b-strategieën) beduidend hoger zijn dan in die met een grote pomp-capaciteit (de a-strategieën). Verder is te zien dat stijging van het gemiddeld winterpeil in het IJsselmeer leidt tot hogere kosten. Deze effecten zijn nog nadrukkelijker in beeld gebracht in Figuur 5.4. In deze figuur valt op dat naarmate de meerpeilstijging groter is het effect van toenemende pieken kleiner wordt en naarmate de pieken meer toenemen, het effect van meerpeilstijging kleiner wordt.



Figuur 5.4 Het effect van de strategie op de kosten van de versterking van keringen. Links: het effect van stijging van het gemiddeld winterpeil, rechts het effect van de manier waarop de meerpeilpieken beheerst worden.

Voor het IJsselmeer zijn er varianten van de strategieën doorgerekend met verdubbelde spuicapaciteit of zonder spuicapaciteit. De aanpassingen van de spuicapaciteit blijken nauwelijks invloed te hebben op de kosten van de versterking van de keringen. Dit komt omdat de uitgangspunten voor het peilbeheer gelijk blijven en veranderingen in de spuicapaciteit dus gecompenseerd worden door veranderingen in de pompcapaciteit. Deze varianten verschillen daarom wel in de kosten van waterafvoer.

Markermeer

In het voorgaande zijn de versterkingskosten in het gehele IJsselmeergebied besproken van de negen strategieën. Specifiek voor het Markermeer zijn er nog twee aanvullende vragen:

1. Wat betekent de peilstijging op het Markermeer voor de versterkingskosten?
2. Wat betekent de inzet van pompen op de Houtribdijk voor de versterkingskosten?

De vergelijking tussen alleen spuien en de combinatie van pompen en spuien voor het Markermeer kan alleen gemaakt worden voor strategie 1a voor het IJsselmeer. Uit Tabel 5.1 blijkt dat de inzet van pompen een kleine beperking van de versterkingskosten voor het Markermeer met zich meebrengt (ca. 0,1 miljard). Omdat tegelijkertijd de kosten voor het IJsselmeer met ongeveer hetzelfde bedrag toenemen zijn de versterkingskosten voor het totale gebied echter niet lager. De stijging van het gemiddeld winterpeil van het Markermeer met 8 cm leidt tot 0,4 miljard extra versterkingskosten. De peilstijging in het Markermeer heeft geen effect op de versterkingskosten in het IJsselmeer.

Markermeer gem. winterpeil: variant waterafvoer:	huidig spuien	huidig pompen&spuien	+8 cm pompen&spuien
IJsselmeer	1a	1a	2a
Versterkingskosten Markermeer	1,5	1,4	1,8
Versterkingskosten hele gebied	3,2	3,2	4,6

Tabel 5.1 Effect van keuzes voor het Markermeer op de versterkingskosten van het Markermeer en het IJsselmeergebied als geheel (totaal van de drie versterkingsronden 2025-2125).

5.3

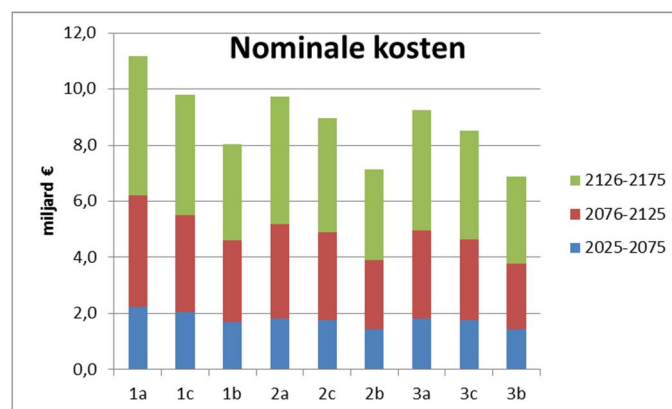
Kosten waterafvoer

De kosten voor waterafvoer zijn bepaald met het in dit project ontwikkelde spreadsheetmodel KOWIJS (kosten waterafvoer IJsselmeergebied, zie Bijlage D). Het model omvat de kosten waarin de strategieën van elkaar kunnen verschillen: gemalen en spuisluizen op de Afsluitdijk, gemalen op de Houtribdijk en een gemaal voor de Veluwerandmeren. De kosten van de spuisluizen in de Houtribdijk zijn niet meegenomen, omdat die voor alle strategieën gelijk zijn. De kosten bestaan uit investeringskosten, vervangingsinvesteringen, beheer en onderhoud en energievoorziening.

De kostenberekeningen worden gebaseerd op de keuzes die in de strategieën gemaakt zijn en op resultaten van de DEZY berekeningen. De keuzes in de strategieën bepalen de pompcapaciteit voor het Markermeer en de Veluwerandmeren en de spuicapaciteit op de Afsluitdijk. Met DEZY zijn de benodigde pompcapaciteiten op de Afsluitdijk berekend. In de kostenberekening worden die met 8% verhoogd (en vervolgens afgerond op een veelvoud van de standaard eenheid van 50 m³/s) omdat door storingen niet altijd alle pompen beschikbaar zijn. De pompcapaciteit 50 m³/s is gekozen omdat dit ongeveer de grootst verkrijgbare capaciteit is. Deze pompen worden toegepast in zeer grote gemalen als dat bij IJmuiden en een nieuw gebouwde gemaal bij New Orleans. Bijlage F geeft een overzicht van de doorgerekende situaties en de daarin opgenomen waterafvoermiddelen (exclusief de 8% faaltoeslag).

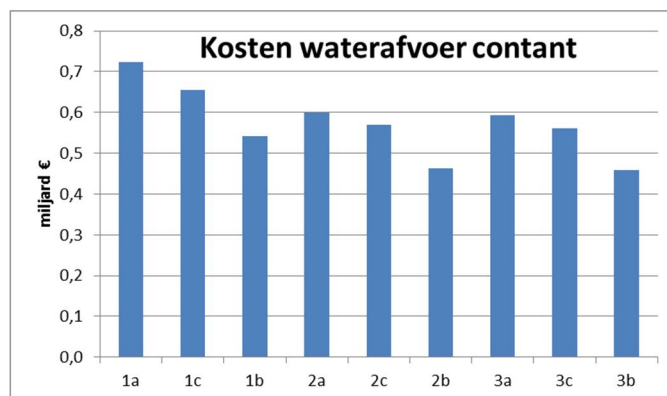
Met DEZY zijn ook de draaiuren van de pompen, de weggepompte hoeveelheden water en de opvoerhoogte van het water bij Houtribdijk en Afsluitdijk berekend. Deze gegevens worden in KOWIJS gebruikt om het energieverbruik te berekenen.

Figuur 5.5 geeft de kosten van de negen strategieën weer. De figuur is gebaseerd op Bijlage I, waarin ook de kosten van de varianten van deze strategieën zijn te vinden, die niet in de grafiek zijn opgenomen. De kosten voor de periode 2050 t/m 2174 lopen uiteen van bijna 7 tot ruim 11 miljard euro. Duidelijk is te zien dat de kosten afnemen met stijgend meerpeil (de kosten nemen af in de volgorde 1,2,3) en naarmate de meerpeilpieken meer mogen toenemen (de kosten nemen af in de volgorde a,c,b). De kosten nemen toe in de loop der tijd. Dit komt omdat in iedere periode geïnvesteerd wordt in aanvullende pompcapaciteit vanwege zeespiegelstijging en klimaatverandering. De kosten van de gemalen die in de voorgaande perioden zijn gebouwd (beheer en onderhoud, vervangingen, energie) lopen daarbij natuurlijk gewoon door. In de grafiek zijn de kosten van alle genoemde waterafvoermiddelen opgenomen. De kosten van de gemalen op de Afsluitdijk domineren hierin echter sterk.



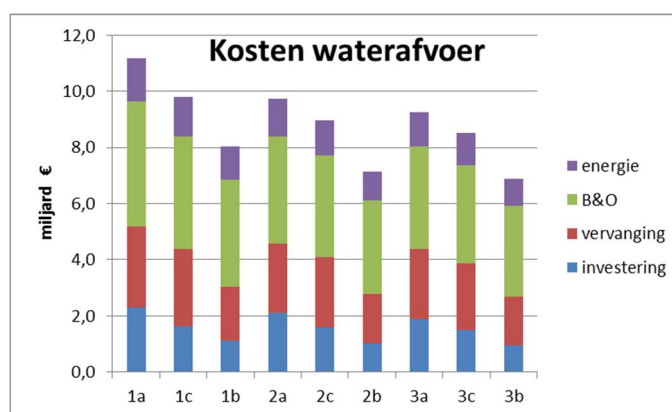
Figuur 5.5 De kosten voor waterafvoer (nominaal) in de negen strategieën, in drie perioden.

Figuur 5.6 geeft de contante waarden van de waterafvoerkosten weer. De verhouding contante waarde/nominale kosten is bij de waterafvoer veel kleiner dan bij de dijkversterkingen. Dit komt doordat bij de dijkversterkingen de hoogste kosten al in 2025 worden gemaakt. De kosten voor waterafvoer starten pas in 2050 en nemen vervolgens toe in de tijd. De kosten voor waterafvoer worden dus veel later in de tijd gemaakt dan die voor de dijkversterkingen. De contante waarden vertonen hetzelfde patroon als de nominale kosten.



Figuur 5.6 Contante waarde van de kosten van waterafvoer in de negen strategieën (totaal van de drie perioden).

Figuur 5.7 laat die opbouw van de kosten zien voor de negen strategieën. Hierbij zijn investeringen, vervangingsinvesteringen, beheer en onderhoud en energie onderscheiden. De figuur is gebaseerd op Bijlage J, waarin ook de kosten van de varianten van deze strategieën zijn opgenomen. Slechts 14-21% van de kosten bestaat uit de primaire investeringen, de rest van de kosten betreft de exploitatie (beheer en onderhoud, vervangingen en energie). Het aandeel van energie in de kosten is 13-15%.

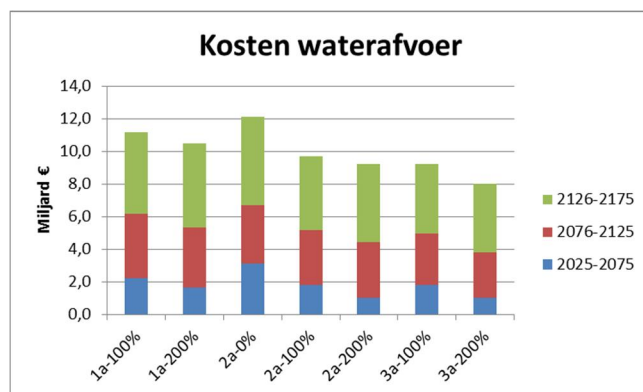


Figuur 5.7 De kosten voor waterafvoer in de negen strategieën, onderverdeeld naar vier kostenposten.

Energiekosten bestaan uit de kosten voor transport, verbruik en energiebelastingen. Over deze posten (ook de energiebelastingen) moet ook BTW worden betaald. Als indicatie voor de opbouw van de energiekosten zijn de gemiddelde energiekosten over alle doorgerekende (varianten van de) strategieën en alle rekenperioden voor de pompen op de Afsluitdijk geanalyseerd. Deze kosten zijn gemiddeld 10,1 miljoen

per jaar (incl. BTW). Hiervan is 3,2 M€ voor transport, 6,6 M€ voor gebruik en 0,3 M€ voor belastingen.

In de strategieën 1a, 2a en 3a zijn varianten doorgerekend met verschillende spuicapaciteiten op de Afsluitdijk. Er is gekozen om dit te doen bij de a- strategieën, omdat daar het grootste effect van de spuicapaciteit op de benodigde pompcapaciteit is (zie Tabel 4.2). Figuur 5.8 laat zien dat verdubbeling van de spuicapaciteit leidt tot lagere kosten voor waterafvoer, door besparing op pompkosten. De afwezigheid van spui in strategie 2a zorgt voor hogere kosten voor waterafvoer. Bij strategie 2a is het verschil in kosten tussen 0 en 100% spuicapaciteit groter dan het verschil tussen 100 en 200%. De rol van spui in de waterafvoer neemt af met stijgende zeespiegel (zie paragraaf 4.1). Daarom is de kostenreductie ook het grootst in de eerste periode.



Figuur 5.8 De kosten voor waterafvoer bij verschillende spuicapaciteiten op de Afsluitdijk.

5.4

Totale kosten

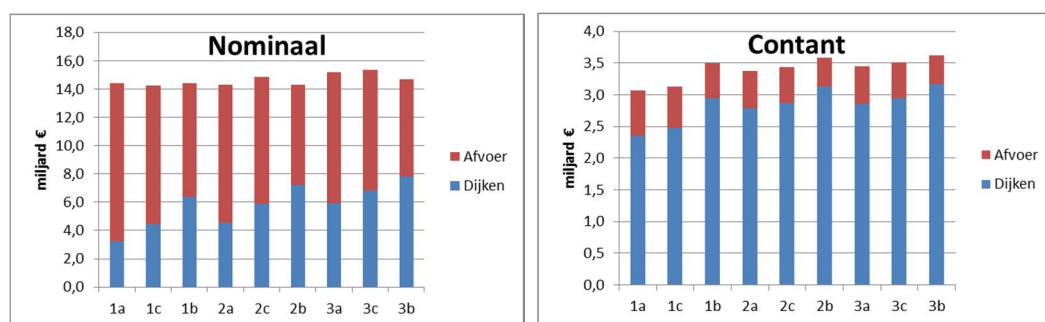
De som van de kosten van versterking van de keringen uit paragraaf 5.2 en die van waterafvoer uit paragraaf 5.3 bepaalt de totale kosten van de verschillende (varianten van) strategieën die zijn geanalyseerd¹. Tabel 5.2 geeft een overzicht van de totaalkosten van de geanalyseerde (varianten van) strategieën. De kosten variëren van 13,4 tot 16,7 miljard euro (nominaal). Door de lange zichttermijn zijn de constante bedragen slechts ruim 20% van de nominale bedragen. Uitgaande van gemiddeld 14,5 miljard komen de jaarlijkse kosten op 95 miljoen euro per jaar (waarbij de kosten voor waterafvoer pas beginnen in 2050).

¹ Nogmaals: in deze "totale kosten" zijn kosten die voor alle strategieën gelijk zijn niet meegenomen, zoals beheer, onderhoud en eventuele vervanging van de spuisluizen in de Houtribdijk en beheer en onderhoud van de dijken.

	Strategie	Variant waterafvoer		Kosten [miljard €]				
		Spui Afsluitdijk	Pompen Markermeer	2025 - 2075	2076 - 2125	2126 - 2175	Totaal	Contant
1	1a	100%	nee	4,3	4,1	5,0	13,4	3,0
2	1a	100%	ja	4,5	4,4	5,5	14,4	3,1
3	1a	200%	nee	4,0	4,2	5,5	13,8	3,0
4	1a	200%	ja	4,1	4,4	5,5	14,0	3,0
5	1b	100%	ja	4,4	4,7	5,3	14,4	3,5
6	1c	100%	ja	4,4	4,3	5,5	14,2	3,1
7	2a	0%	ja	5,4	4,9	6,4	16,7	3,4
8	2a	100%	ja	4,4	4,8	5,0	14,3	3,4
9	2a	200%	ja	3,7	4,8	5,3	13,8	3,2
10	2b	100%	ja	4,3	4,7	5,3	14,3	3,6
11	2c	100%	ja	4,4	4,8	5,6	14,9	3,4
12	3a	100%	ja	4,6	5,0	5,7	15,2	3,5
13	3a	200%	ja	3,7	4,7	5,5	14,0	3,3
14	3b	100%	ja	4,3	4,7	5,6	14,7	3,6
15	3c	100%	ja	4,4	4,9	6,0	15,3	3,5

Tabel 5.2 Totaalkosten van de (varianten van) strategieën in miljarden euro's, nominaal en contant.

Figuur 5.9 brengt de kosten in beeld voor de 9 strategieën voor het IJsselmeergebied.

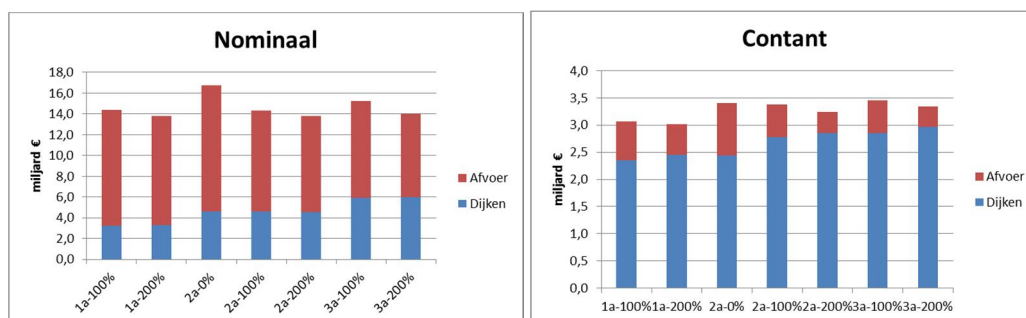


Figuur 5.9 Totaalkosten van negen strategieën in miljarden euro's, nominaal en contant.

De figuur laat zien dat de nominale kosten van de strategieën weinig uiteenlopen. Bij 60 cm peilstijging (3a, 3b, 3c) zijn de kosten iets hoger dan bij 0 of 30 cm peilstijging, maar de verschillen zijn minimaal. De kostenverschillen in versterkingen en de kostenverschillen in waterafvoer heffen elkaar grotendeels op. Contant is er een duidelijker effect van de strategieën. Zowel peilstijging (in de volgorde 1,2,3) als toename van de meerpeilpieken (in de volgorde a,c,b) leiden tot toenemende kosten. In feite volgen de totaalkosten hiermee wat meer het patroon van de versterkingskosten.

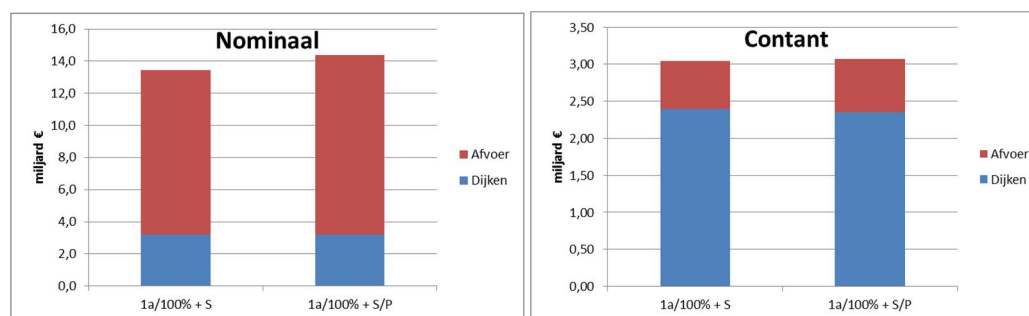
Contant domineren de dijkkosten sterk in de totaalkosten. Dit komt ten eerste omdat in 2025 (het jaar waarnaar verdisconteerd is) de meeste kosten voor versterking moeten worden gemaakt, als gevolg van de nieuwe normering en beoordelingssystematiek. De aanpassing aan de nieuwe normering en systematiek is echter voor alle strategieën gelijk en heeft dus geen invloed op de verschillen tussen de strategieën. Dat hierin de dijkkosten ook meer doorwerken dan de afvoerkosten komt omdat de afvoerkosten pas beginnen in 2050 blijven toenemen in de loop der tijd.

Figuur 5.10 geeft de kosten weer van varianten van de strategieën met verschillende spuicapaciteit op de Afsluitdijk. Bij de strategieën 1a, 2a en 3a is te zien dat de totale kosten iets afnemen bij verdubbeling van de spuicapaciteit. Contant blijft van dit verschil weinig over, omdat de eerste kosten voor waterafvoer pas in 2050 worden gemaakt, terwijl er wordt verdisconteerd naar 2025. Bij strategie 2a is te zien dat zonder spuisluizen de totale kosten van de strategie flink toenemen. Het is duidelijk dat bij het gebruikte klimaatscenario investeren in vervanging van de spuisluizen meer oplevert dan het kost.



Figuur 5.10 Totaalkosten van varianten van de strategieën met verschillende spuicapaciteit op de Afsluitdijk, nominaal en contant (in miljarden euro's).

In Figuur 5.11 is in beeld gebracht wat de inzet van pompen voor de waterafvoer van het Markermeer betekent voor de totale kosten van strategie 1a. Strategie 1a is de enige strategie voor het IJsselmeer waarbij ook een variant is meegenomen waarbij waterafvoer van het Markermeer alleen met behulp van spuien gebeurt. In de andere strategieën zouden peilstijging en/of toenemende pieken in het IJsselmeer leiden tot sterke verandering van de peildynamiek (en daarmee de versterkingskosten) in het Markermeer. Uit Figuur 5.10 blijkt dat de inzet van pompen in deze strategie kostenverhogend werkt: de kosten worden 1 miljard € hoger. Contant is het verschil in kosten 100 miljoen €.



Figuur 5.11 Totaalkosten van varianten van strategie 1a, waarbij waterafvoer van het Markermeer plaatsvindt met alleen spuien of met spuien en pompen, nominaal en contant (in miljarden euro's).

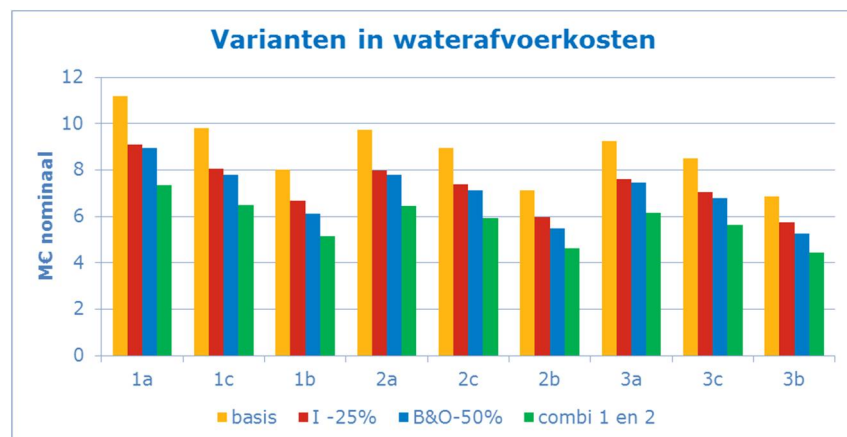
5.5 Gevoeligheidsanalyses kosten

Om een gevoeligheidsanalyse te kunnen uitvoeren zijn zowel voor de waterafvoer als voor de versterking van keringen aangepaste kostenberekeningen uitgevoerd. Afgezien van een berekening met verhoogde veiligheidsnormering gaat het in alle gevallen om berekeningen die tot lagere kosten leiden. De afvoerkosten zijn gebaseerd op gegevens van Rijkswaterstaat. Bij projecten met veel grotere aantallen pompen dan tot nu toe zijn uitgevoerd mag worden verwacht dat de kosten van aanleg en beheer en onderhoud kunnen dalen. Bij de dijken geldt dat gerekend is met generieke benaderingen, terwijl lokaal maatwerk vaak tot kostenreducties kunnen leiden. Bovendien is de ontwerpsystematiek op dit moment op een aantal punten erg conservatief. Voor zowel afvoer als versterkingen geldt bovendien dat toekomstige innovaties tot kostenreducties kunnen leiden.

Er zijn vier berekeningen voor de kosten van waterafvoer gemaakt:

0. De standaardberekening.
1. De investeringskosten voor de gemalen zijn met 25% verlaagd. Deze verlaging werkt ook door in de kosten voor beheer en onderhoud (die een percentage van de investeringskosten zijn) en in de vervangingsinvesteringen.
2. De kosten voor beheer en onderhoud zijn verlaagd met 50%.
3. De combinatie van 1 en 2: kosten van investeringen verlaagd met 25% en die van beheer en onderhoud met 50%.

Het gaat in alle gevallen dus om drastische aanpassingen in de kosten. Figuur 5.12 brengt de resultaten van de verschillende berekeningen in beeld. Te zien is dat in alle berekeningen de rangorde van de strategieën gelijk blijft, maar dat de grootte van de verschillen tussen de strategieën wat verandert.



Figuur 5.12 Kosten waterafvoer in de negen strategieën, bij vier berekeningswijzen van de kosten (zie toelichting in de tekst).

Voor de versterking van de keringen zijn tien berekeningen van de kosten gemaakt. uitgevoerd. Het gaat om drie groepen van aanpassingen in de berekening: verkleining van de berekende versterkingsopgaven, verlaging van de kosten van versterkingsmaatregelen en aanpassing van de veiligheidsnormering. Het gaat om de volgende berekeningen:

0. De standaardberekening.

Verkleining van de berekende versterkingsopgaven:

1. Verkleining van de berekende hoogteopgave met 50%.
2. Verkleining van de berekende geotechnische opgave met 50%.
3. Verkleining van zowel hoogteopgave als geotechnische opgave met 50%.
4. Berekening van de geotechnische opgave op basis van het meerpeil, in plaats van de waterstand. Gebruik van de meerpeilen past volgens deskundigen meer bij de faalmechanismen die kunnen optreden dan gebruik van waterstanden volgens het WBI..

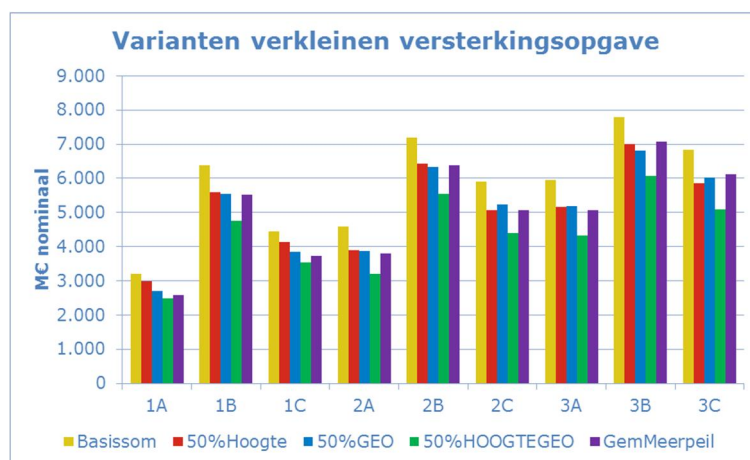
Verlaging van de kosten van versterkingen:

5. Toepassing van innovatieve pipingmaatregelen, die goedkoper zijn (zie toelichting in De Grave et al, 2017).
6. De kosten voor verwijderen en herstellen van infrastructuur op de dijken worden gehalveerd. Dit omdat in de praktijk combinaties zullen worden gezocht voor dijkversterking en groot onderhoud aan de wegen op de dijken.
7. De kosten van constructieve dijkversterkingen worden gereduceerd met 25%. Constructieve dijkversterkingen worden in de systematiek alleen toegepast waar er geen ruimte is voor het goedkopere versterken met grond. In de praktijk zijn waarschijnlijk meer maatwerkoplossingen mogelijk die de kosten van constructieve maatregelen beperken.

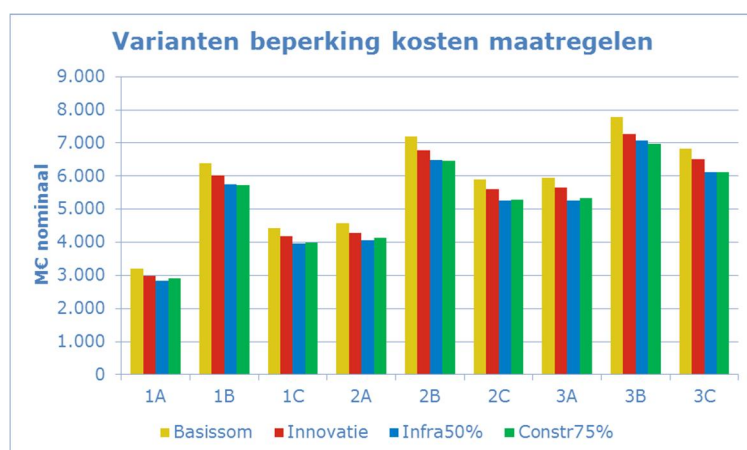
Aanpassing van de veiligheidsnormering:

8. Voor alle dijken wordt de veiligheidsnorm met 1 klasse verhoogd (dit is de enige variant die leidt tot hogere versterkingskosten).
9. Voor alle dijken wordt de veiligheidsnorm met 1 klasse verlaagd.

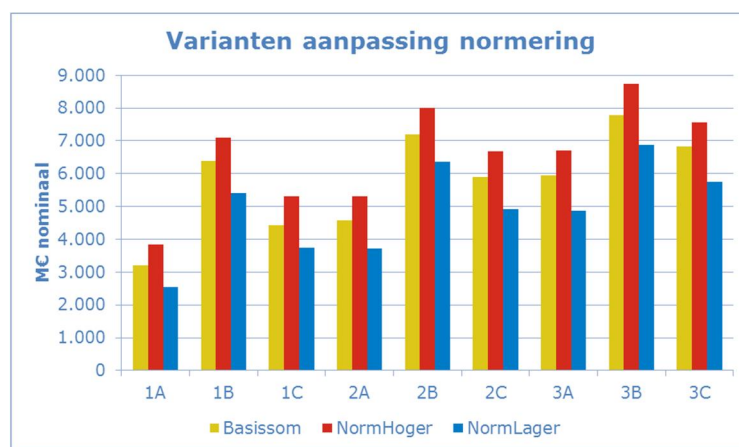
Figuur 5.13 brengt de resultaten van kostenberekeningen in beeld, voor de drie groepen van aanpassingen in de berekeningen. De rangorde van de strategieën verandert nauwelijks: alleen 1c kan soms net van plaats verwisselen met 2a en 2c met 3a. Dit zijn strategieën waarvan de kosten dicht bij elkaar liggen. Net als bij de berekeningen van de kosten van waterafvoer veranderen de verschillen in kosten tussen de strategieën soms wel duidelijk. In Figuur 5.13 valt op dat berekening van de geotechnische opgave op basis van de meerpeilen (in plaats van de lokale waterstanden) ongeveer dezelfde kostenreductie geeft als beperking van de opgave met 50%. Verandering van de norm kost (gemiddeld over de strategieën) 0,8-0,9 miljard € per normklasse.



Figuur 5.13a De kosten van versterking van de keringen bij verschillende manieren van beperking van de versterkingsopgave.



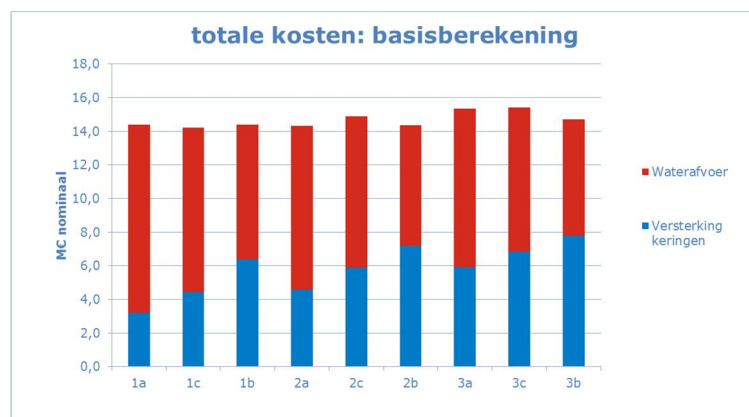
Figuur 5.13b De kosten van versterking van de keringen bij verschillende manieren van beperking van de kosten van versterkingsmaatregelen.



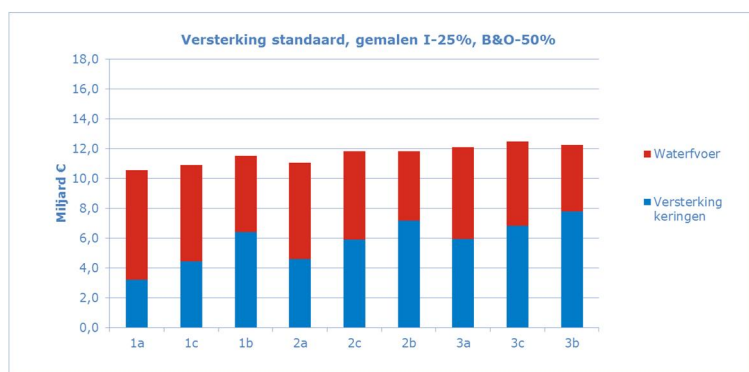
Figuur 5.13c De kosten van versterking van de keringen bij verhoging en verlaging van de veiligheidsnormering met één klasse, voor alle dijken in het gebied.

Interessant is nu vooral wat de aanpassingen in de kostenberekeningen betekenen voor de totale kosten van de strategieën. In Figuur 5.14 zijn, naast de standaard berekening in 5.14a, twee combinaties van kosten van waterafvoer en versterkingen in beeld gebracht. In Figuur 5.14b zijn de kosten bij extreme verlaging van de afvoerkosten (investeringen -25%, beheer en onderhoud -25%) gecombineerd met de standaardberekening van de versterkingskosten. In Figuur 5.14c zijn de kosten bij extreme verlaging van de versterkingskosten (beperking versterkingsopgaven met 50%) gecombineerd met de standaard berekening van de afvoerkosten. In beide gevallen ontstaan er meer verschillen in kosten tussen de strategieën dan in de standaardberekening. Bij hogere versterkingskosten/lagere afvoerkosten volgen de totale kosten het patroon van de versterkingskosten wat meer en bij lagere versterkingskosten/hogere afvoerkosten wat meer het patroon van de afvoerkosten. Dit betekent dat bij lagere kosten voor waterafvoer het goedkoper wordt om de meerpeilpieken strak te beheersen en het gemiddeld winterpeil gelijk te houden. Bij lagere kosten voor dijkversterking wordt het goedkoper om de meerpeilpieken minder strak te beheersen. Er is dan weinig verschil tussen al dan niet stijgen van het gemiddeld winterpeil. In alle gevallen geldt echter dat zelfs bij extreme verlaging van slechts één van de twee kostenposten de kostenverschillen tussen de strategieën heel beperkt blijven. Dit betekent dat de conclusies van de berekeningen robuust zijn en dus niet sterk afhankelijk van enkele aannames.

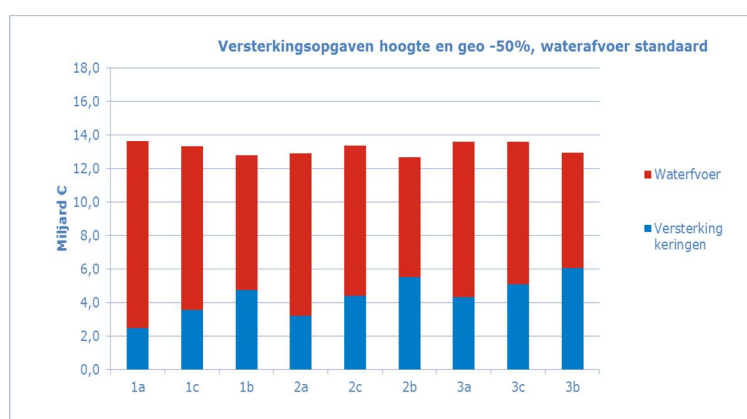
Tot slot nog energie. Er zijn geen berekeningen uitgevoerd met verschillende KWh prijzen voor elektriciteit. Dit heeft twee redenen. Ten eerste vormen de kosten van energie slechts 13-15% van de kosten voor waterafvoer (zie 5.3), en daarvan wordt slechts 2/3 bepaald door de elektriciteitsprijs. Daarvan vormen de daadwerkelijke verbruikskosten ongeveer twee derde. De kosten van energieverbruik variëren in de strategieën van 0,7 tot 1 miljard voor de hele periode 2025-2175. Dit betekent dat de verschillen tussen de (varianten van) strategieën weinig beïnvloed zullen worden door de energieprijzen. De tweede reden is dat de energieprijzen niet alleen de kosten van gemalen beïnvloeden, maar ook die van versterking van de keringen: de kosten van bijvoorbeeld grondverzet bestaan voor een belangrijke deel uit energiekosten. De effecten van energieprijzen op de waterafvoer en op versterking van de keringen zullen elkaar deels compenseren.



Figuur 5.14a Basisberekening van de totale kosten van de strategieën.



Figuur 5.14b Totale kosten van de strategieën bij standaard versterkingskosten en lage afvoerkosten (beperking investeringskosten gemalen met 25% en beperking kosten beheer en onderhoud gemalen met 50%).



Figuur 5.14c Totale kosten van de strategieën bij standaard kosten voor waterafvoer en lage versterkingskosten (beperking van de geotechnische en hoogteopgaves met 50%).

6 Overige effecten van veranderend peilbeheer

ISWP is gericht op de analyse van de relaties tussen waterafvoer, peilbeheer en waterveiligheid in het licht van klimaatverandering. De klimaatverandering, de beschikbaarheid van waterafvoermiddelen en de keuzes in het peilbeheer zorgen voor veranderingen in de meerpeildynamiek van IJsselmeer en Markermeer. Veranderingen in de meerpeildynamiek hebben invloed op toekomstige versterkingsopgaven voor dijken en kunstwerken, wat in de voorgaande hoofdstukken aan de orde is geweest. Er zijn echter ook gevolgen voor andere functies van het gebied. Dit hoofdstuk geeft een kwalitatief overzicht van deze gevolgen, gebaseerd op literatuurgegevens¹ en deskundigenoordeel. Het overzicht is vooral bedoeld om te onderstrepen dat beleidskeuzes voor waterafvoer en peilbeheer niet gemaakt kunnen worden op basis van alleen de effecten op de versterkingsopgave in het gebied: er hangt heel veel samen met de peildynamiek. De ISWP-analyse is daarom slechts een bouwsteen voor de besluitvorming. Paragraaf 6.1 geeft een samenvattend overzicht van de effecten. In paragraaf 6.2 worden de effecten besproken. Paragraaf 6.3 geeft een korte beschouwing over maatregelen om negatieve effecten te mitigeren en de kosten daarvan. Dit hoofdstuk maakt duidelijk dat verhoging van het gemiddeld meerpeil (en in mindere mate ook verhoging van de meerpeilpieken) veel consequenties hebben voor functies van het IJsselmeergebied.

6.1 Overzicht effecten ander peilbeheer

In ISWP wordt gekeken naar de waterafvoersituatie, dat wil zeggen naar het winterseizoen. De geanalyseerde strategieën voor het IJsselmeer omvatten verhoging van het gemiddeld winterpeil (met maximaal 60 cm) en verhoging of verlaging van de meerpeilpieken in de winter. Voor het Markermeer is de maximale verhoging van het gemiddeld winterpeil met 8 cm veel kleiner dan die voor het IJsselmeer. In de strategieën voor het Markermeer is geen verschil gemaakt tussen verschillende niveaus van beheersing van de piekpeilen.

In de strategieën worden geen keuzes gemaakt voor het zomerpeil. Bij een hoger gemiddeld winterpeil lijkt het logisch dat ook het zomerpeil zal stijgen. Dit is echter niet noodzakelijk: in principe is dat een afzonderlijke keuze. Ook verhoging van de pieken in de winter hoeft niet automatisch te betekenen dat de pieken in de zomer toenemen. Dit komt doordat voor het beheersen van de pieken in de zomerperiode veel minder pompcapaciteit nodig is dan in de winter.

De effecten van hogere meerpeilen (gemiddeld peil en/of pieken) zijn deels gebonden aan het seizoen. In de bespreking hierna wordt per functie ingegaan op het effect van:

- hoger gemiddeld winterpeil;
- toename van de hoogte van meerpeilpieken²;
- afname van de hoogte van meerpeilpieken;
- Hoger gemiddeld zomerpeil.

Tabel 6.1 geeft een samenvattend overzicht van de effecten van ander peilbeheer op functies. Het samenvatten van effecten in één symbool per functie voor alle locaties in het gebied is natuurlijk een sterke abstractie van de sterk gedifferentieerde werkelijkheid. De tabel moet daarom gelezen worden in combinatie met de beschrijving van de effecten in de volgende paragraaf.

¹ Er is gebruik gemaakt van het kennisdocument dat in het Deltaprogramma IJsselmeergebied is opgesteld (van Staveren et al, 2014) en van de MER voor het nieuwe peilbesluit voor het IJsselmeergebied (van Duin et al, 2017).

² Toe- of afname van de hoogte van meerpeilpieken is hetzelfde als toe- of afname name van de frequentie waarmee pieken van een bepaalde hoogte voorkomen.

	Winter			Zomer
	Hoger peil	Hogere pieken*	Lagere pieken*	Hoger peil
Waterbeheer				
Benodigde pompcapaciteit Afsluitdijk	+	+	-	o
Buffervoorraad water	o	o	o	+
Natuurlijk peilbeheer	+	o	o	-
Waterafvoer regio	-	o/-	o/-	-
Waterveiligheid en -overlast				
Versterkingsopgave waterkeringen	-	-	+	o
Potentiële overstromingsschade	-	-	+	o
Buitendijkse gebieden	-	-	+	-
Sluitfrequentie beweegbare keringen	-	-	+	o
Landbouw en stedelijk gebied				
Kwel en grondwateroverlast	-	o	o	-
Natuur				
Verschuiving ecotopen	o	o	o	-
Oevervegetatie	-	+	-	-
Overstroming buitendijkse gebieden	o/-	o/-	o	-
Erosie buitendijkse gebieden	-	-	+	-
Vismigratie	+/-	o	o	+/-
Waterkwaliteit	o	o	o	o
Scheepvaart				
Vaardiepte	+	o	o	+
Havens en steigers	-	-	+	-
Wachttijden schutsluizen	+/-	o	o	+/-
Doorvaarhoogte bruggen	-	o	o	-
Oeverrecreatie				
Overstroming recreatiestranden	o	o	o	-
Erosie recreatiestranden	-	-	+	-
Landschap en cultuurhistorie	p.m.	p.m.	p.m.	p.m.

* bij gelijkblijvend gemiddeld winterpeil.

Tabel 6.1. Overzicht van de effecten van veranderingen in de meerpeilen. Een + betekent een positief effect, een – een negatief effect en een o geen of heel klein effect. (Dus: een + bij wachttijden sluizen betekent een positief effect: dat is minder wachttijd). Als bij een functie +/- is aangegeven betekent dit dat er zowel positieve als negatieve effecten zijn.

6.2 Effecten ander peilbeheer per functie

De indeling van deze paragraaf volgt de functie-indeling die in Tabel 6.1 is gebruikt. Bij het lezen van deze paragraaf moet niet uit het oog verloren worden dat binnen de geanalyseerde strategieën de marges voor het peilbeheer in het Markermeer (inclusief IJmeer, en Gooi-Eemmeer) veel krappere zijn dan die voor het IJsselmeer (inclusief Ketelmeer en Zwarte Meer). Dit betekent dat ook de effecten rond het Markermeer veel kleiner zullen zijn dan rond het IJsselmeer.

6.2.1

Waterbeheer

De randvoorwaarden die gesteld worden aan de meerpeilen hebben invloed op het waterbeheer en de middelen die daarvoor nodig zijn.

Benodigde pompcapaciteit Afsluitdijk

In paragraaf 4.1 is besproken wat veranderingen in het peilbeheer betekenen voor de benodigde pompcapaciteit op de Afsluitdijk. Als er voor gekozen wordt om het gemiddeld winterpeil van het IJsselmeer te laten stijgen, betekent dat de benodigde pompcapaciteit minder snel toeneemt bij zeespiegelstijging. Op lange termijn (wanneer ook bij gestegen gemiddeld winterpeil geen spui meer mogelijk is) is de benodigde pompcapaciteit echter gelijk. De keuze van de manier waarop de pieken worden beheerst heeft een blijvend groot effect op de benodigde pompcapaciteit. Als de pieken mogen toenemen is veel minder pompcapaciteit nodig dan als de pieken gelijk worden gehouden. De beperkte peilstijging op het Markermeer heeft, in combinatie met peilstijging op het IJsselmeer, geen invloed op de benodigde pompcapaciteit op de Afsluitdijk (zie paragraaf 4.1).

Buffervoorraad water

De benutbare buffervoorraad zoetwater wordt bepaald door het verschil tussen het maximale en minimale waterpeil in de zomer. Als een hoger gemiddeld winterpeil gecombineerd wordt met een stijging van het zomerpeil en als bovendien in de zomer even diep kan worden uitgezakt als nu betekent verhoging dat een grotere waterbuffer beschikbaar is. Doordat het IJsselmeer in oppervlakte groter is dan het Markermeer en doordat de mogelijke peilstijging daar ook groter is, biedt het IJsselmeer veel meer mogelijkheden voor het vergroten van de buffervoorraad dan het Markermeer. Op dit moment is er geen directe behoefte aan een grotere buffervoorraad zoetwater voor droge periodes in de zomer. Door klimaatverandering en ontwikkelingen in de waterbehoefte zou dat op termijn echter kunnen veranderen.

Natuurlijk peilbeheer

Een hoger gemiddeld winterpeil geeft in principe de mogelijkheid om in het voorjaar het waterpeil geleidelijk te laten dalen. Dit is natuurlijker dan het huidige peilverloop en kan gunstige effecten hebben voor de natuur in de oeverzone. Een natuurlijker peilverloop (dalend waterpeil in het voorjaar) en een grotere beschikbare buffervoorraad water (handhaven hoog peil in het voorjaar) staan op gespannen voet met elkaar. Als de stijging van het gemiddeld winterpeil voldoende groot is zijn er echter mogelijkheden om beide te realiseren. Het is duidelijk dat binnen de gekozen strategieën voor het Markermeer de speelruimte veel kleiner is dan voor het IJsselmeer.

Waterafvoer regio

Zowel een hoger gemiddeld winterpeil als hogere meerpeilpieken hebben negatieve gevolgen voor de waterafvoer uit de regio.

1. De mogelijkheden om onder vrij verval te spuien op IJsselmeer en Markermeer zullen afnemen. Waar gemalen aanwezig zijn, zullen die dan meer worden ingezet (bijvoorbeeld gemaal Zedemuden voor het Meppelerdiep). Afhankelijk van de mate van peilstijging zullen nieuwe gemalen moeten worden gebouwd. Spuien onder vrij verval gebeurt nu:
 - Vanuit de Veluwerandmeren op het IJsselmeer en Markermeer.
 - Vanuit het Meppelerdiep, de Reest (via het Meppelerdiep), Dedemsvaart, Sallandse weteringen (beide via het Zwarte Water), Vollenhovermeer en Kadoelermeer op uiteindelijk het IJsselmeer.
 - Vanuit de Eem, de Laak en Arkervaart op het Markermeer.
 - Bij extreme wateroverlast vanuit het beheersgebied van AGV op het Markermeer via de Ipenslotersluis en de Diemerdammersluis (tot de vernieuwde Ipenslotersluis klaar is).

- Onder bijzondere omstandigheden vanuit het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal op het Markermeer via de inlaatsluis bij Schellingwoude.
2. Gemalen moeten het water hoger oppompen. Dit kost extra energie en draaiuren. Afhankelijk van de mate van peilstijging kan het zijn dat bepaalde gemalen het water onvoldoende hoog kunnen opvoeren en aangepast moeten worden.
 3. Hogere meerpeilen leiden in bepaalde gebieden tot meer kwel binnendijs. Dit betekent dat meer water moet worden afgevoerd, wat extra energie kost. Mogelijk is in enkele gevallen is de capaciteit van een gemaal mogelijk niet meer toereikend.

Lagere meerpeilpieken hebben een gunstig effect op de waterafvoermogelijkheden, juist in perioden waarin het wateraanbod hoog is.

6.2.2

Waterveiligheid en –overlast

De peildynamiek van de meren is bepalend voor de eisen waaraan dijken en keringen moeten voldoen, maar ook voor de wateroverlast en waterveiligheid in gebieden niet bedijkt of bekaad zijn.

Versterkingsopgave waterkeringen

De versterkingsopgave van de primaire waterkeringen is besproken in paragraaf 4.4. Zowel een hoger gemiddeld winterpeil als toename van de pieken in de winterperiode leiden tot een grotere versterkingsopgave. Dit geldt ook voor de kades van gebieden die formeel buitendijs liggen. De opgave voor deze kades en de kosten daarvan zijn overigens niet meegenomen in de analyse van paragraaf 4.4.

Potentiële overstromingsschade

De schade die ontstaat bij overstroming van een dijkkring is afhankelijk van de overstromingsdiepte. Na een doorbraak van een polderdijk gedragen de polder en het IJsselmeer zich als communicerende vaten. Het waterpeil in de polder zal stijgen tot het gelijk is de lokale waterstand bij de bres in de dijk. In laaggelegen polders zal het effect van peilstijging op de schade heel beperkt zijn. Het gebied kan daar bij het huidige meerpeil al zo diep overstroomd raken dat een toename van de overstromingsdiepte nauwelijks extra schade geeft. In minder laag gelegen gebieden kan de potentiële overstromingsschade wel toenemen door hogere meerpeilen. Voor de potentiële overstromingsschade is de peildynamiek in de winter (het stormseizoen) bepalend.

Buitendijkse gebieden

Buitendijkse gebieden zijn gebieden die buiten de primaire kering liggen. De totale oppervlakte buitendijs gebied rond IJsselmeer en Markermeer is circa 15.600 ha. Een deel hiervan is echter bekaad. Figuur 6.1¹ laat de gebieden zien die niet beschermd zijn door een kade met een kruinhoogte van minimaal 50 cm +NAP. Voor de bekaade gebieden geldt hetzelfde als voor binnendijkse gebieden.

De laagst gelegen onbekade gebieden hebben vooral natuur, recreatie en landbouwfuncties. In de huidige situatie wordt periodieke overstroming daar geaccepteerd. Bij peilstijging en/of hogere pieken zullen de overstromingsfrequenties toenemen en kan zelfs permanente overstroming optreden. Afhankelijk van het seizoen en de specifieke functie kan dit leiden tot meer overlast of zelfs functieverlies. Bij gelijkblijvend gemiddeld winterpeil betekenen lagere meerpeilpieken dat er minder overstromingen in het winterseizoen.

¹ De uitsnede van de kaarten in Figuur 6.1 en 6.2 is mogelijk aan de oostzijde nog te klein, waardoor in de omgeving Zwolle-Meppel nog gebieden kunnen zijn afgevalen.

Er zijn ook woongebieden, bedrijven en wegen in onbekend buitendijks gebied. Deze liggen zo hoog dat ze in de huidige situatie niet met inundatie te maken hebben (al kunnen tuinen wel eens onder water komen). Bij stijging van het gemiddeld winterpeil en/of stijging van de meerpeilpieken kunnen deze functies met meer inundatie te maken krijgen. Figuur 6.2 brengt de locaties in beeld. De beperkte oppervlakte daarvan zegt weinig: het gaat immers om de gebieden met de hoogste economische waarde.



Figuur 6.1 Buitendijkse gebieden rond IJsselmeer en Markermeer (en de daarmee in open verbinding staande wateren) die lager liggen dan +50 cm NAP en niet omsloten zijn door een hoge kade (uit van Duin et al, 2017).

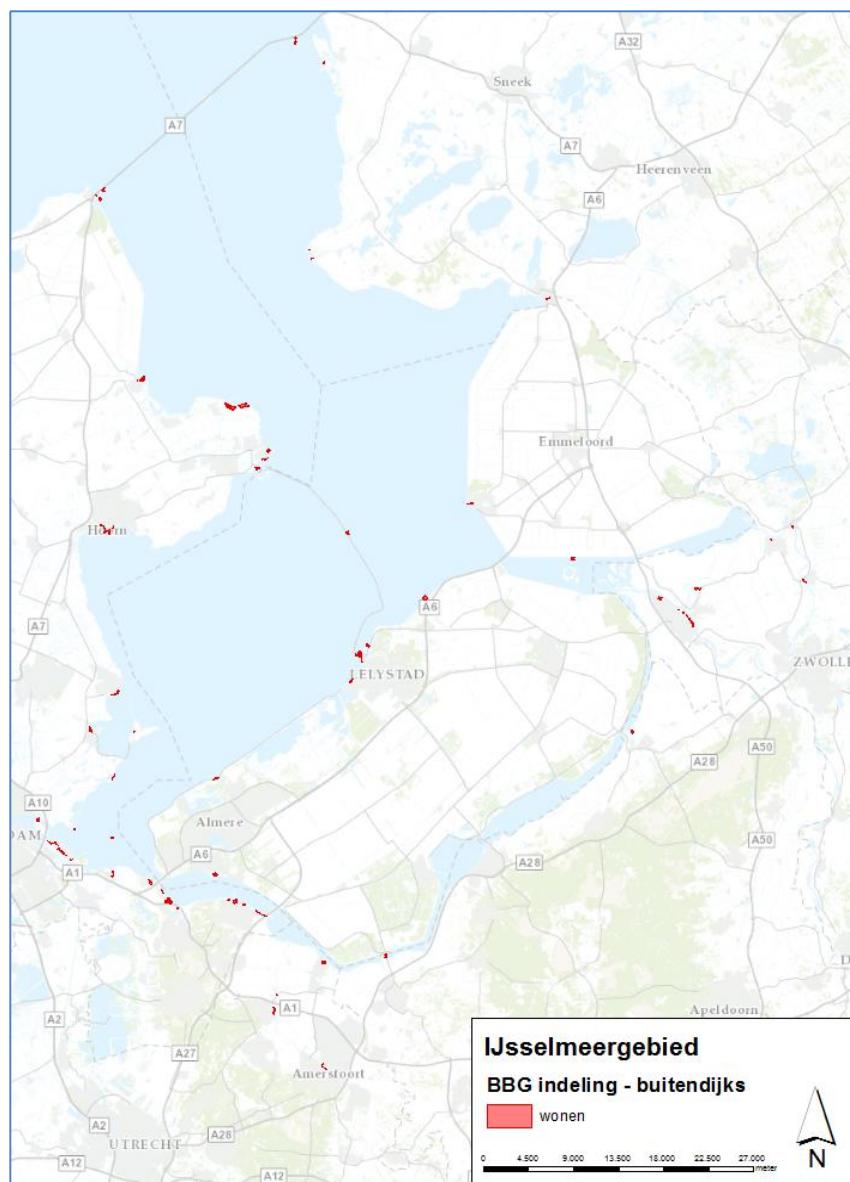
Sluitfrequentie beweegbare keringen

In het IJsselmeergebied zijn keringen aanwezig die worden gesloten bij hoge waterstanden. De grootste daarvan is de Ramspolkering (balgstuw), die het Zwarte meer afsluit van het IJsselmeer. Andere keringen zijn die van het Meppelerdiep, de Ka-doelerkeersluis tussen Zwarte meer en Vollenhovermeer en een keersluis in het Zwarte Water, die de binnenstad van Zwolle beschermt. Verder hebben de binnenhavens van enkele oude Zuiderzeestadjes keersluizen waarmee ze van het open

water van de meren kunnen worden afgesloten: Hoorn, Enkhuizen, Blokzijl, Hasselt, Genemuiden en Nijkerk.

Bijzondere keringen zijn die langs de IJsselkade in Kampen. Bij hoog water moeten hier maar liefst 84 doorgangen worden afgesloten. Dit gebeurt door de vrijwillige hoogwaterbrigade. In Spakenburg is een opdrijfbare kering gebouwd, die automatisch omhoogkomt bij hoog water.

Bij hogere meerpeilen en/of hogere meerpeilpieken zal de sluitfrequentie van de keringen toenemen. Dit heeft consequenties voor beheer en onderhoud en de inzet van vrijwilligers. Er zal ook meer hinder ontstaan. Op de meeste plaatsen is dat hinder voor de scheepvaart, maar in Kampen is het hinder voor bewoners en gebruikers van de binnenstad. In sommige gevallen zal de bestaande constructie niet meer voldoen. Neem bijvoorbeeld de Ramspolkering. Uit de voor ISWP uitgevoerde berekeningen blijkt dat de huidige sluitfrequentie ruim 2 maal per jaar is. Bij een stijging van het gemiddeld winterpeil van het IJsselmeer, gecombineerd met toename van de peilen in de meerpeilen, zal de frequentie toenemen tot tientallen malen per jaar in 2175. Op dit soort sluitfrequenties is de kering niet ontworpen. Verlaging van de meerpeilpieken (bij gelijkblijvend gemiddeld winterpeil) maakt dat er minder sluitingen nodig zijn.



Figuur 6.2 Buitendijkse woongebieden en bedrijven rond IJsselmeer en Markermeer en de daarmee in open verbinding staande wateren (uit van Duin et al, 2017).

6.2.3 Landbouw en stedelijke gebied

Er is landbouw en bewoning in buitendijkse gebieden. De effecten van veranderend peilbeheer op waterveiligheid en overlast door overstroming zijn hiervoor besproken. Er is ook aan de orde geweest dat door veranderingen in het peilbeheer de af te voeren hoeveelheid water uit de binnendijkse gebieden verandert. Maar ook bij een aangepaste waterafvoer kunnen er binnendijkse effecten overblijven, met gevolgen voor de landbouw en bebouwde gebieden.

Grondwateroverlast

Bij verhoging van het gemiddeld winterpeil zal er op verschillende plaatsen toename van de hoeveelheid kwel plaatsvinden, waardoor grondwaterstanden hoger worden. In sommige gevallen zal dit zoute kwel zijn. Boeren kunnen hierdoor te maken krij-

gen met natte plekken en/of verzilting in de akkers. In stedelijk gebied kunnen problemen ontstaan als het onderlopen van kelders, optrekkend vocht, drassige parken et cetera. Voor locaties met natte natuur binnendijs kan toename van de kwel positief uitwerken. Verandering van de meerpeilpieken zal geen invloed hebben op kwel en grondwateroverlast.

6.2.4

Natuur

Het effect van veranderingen in de meerpeilen op natuur is complex: het verschilt per type gebied, maar daarbinnen kan het ook nog eens per soortgroep verschillen.

Verschuiving ecotopen

Hogere meerpeilen betekenen dat ondiep water dieper wordt, laag gelegen buitendijs gebied ondiep water wordt en hoger gelegen buitendijs gebied natter wordt. Er treedt dus een verschuiving van ecotopen op. De oppervlakte buitendijs gebied is echter beperkt. Dit betekent dat, gebiedsbreed gezien, de oppervlakte diep water toeneemt ten opzichte van de oppervlakte ondiep water en buitendijs land. Dit terwijl de oppervlakte diep water al onevenredig groot is en juist de kustzone van groot ecologisch belang is.

Voor de ecologie is de zomersituatie het meest bepalend. Als de peilverhoging alleen in de winter plaats zou vinden (en het peil uitzakt in de zomer) zullen de ecologische effecten zelfs positief zijn.

Oevervegetatie

Een verhoging van de meerpeilpieken (bij gelijkblijvend gemiddeld winterpeil) leidt tot meer uitspoeling van opgehoopt organisch materiaal in zones met oevervegetatie. Dit is gunstig voor de rietontwikkeling. Een verlaging van de meerpeilpieken in de winter is ongunstig voor de rietontwikkeling.

Overstroming buitendijkse gebieden

Frequentere overstromingen in de winter zijn van weinig invloed voor de iets hoger gelegen delen van de buitendijkse gebieden. Als de hogere meerpeilpieken ook in het voorjaar zouden optreden wordt hierdoor de kans vergroot dat nesten van vogels die op de grond broeden worden weggespoeld. Schraallandvegetaties (beperkt aanwezig) zijn gevoelig voor overstroming met voedselrijk water vanuit het IJsselmeer

Erosie buitendijkse gebieden

Hogere meerpeilen en meerpeilpieken versterken de erosie van onbeschermd buitendijkse gebieden. Het gaat vooral om de zandige gebieden die langs de Friese kust op grote schaal aanwezig zijn. Door de erosie verdwijnt er oppervlakte van schaarse en waardevolle ecotopen. Het gevolg is wel dat de oppervlakte ondiep water hierdoor weer toeneemt.

Vismigratie

Vismigratie wordt lastiger naarmate het peilverschil tussen gebieden toeneemt. Bij verhoging van het gemiddeld winterpeil groeit het IJsselmeer mee met de zeespiegelstijging. Dit betekent dat peilstijging gunstig is voor het in stand houden van de migratiemogelijkheden tussen IJsselmeer en Waddenzee¹. De migratie tussen IJsselmeer en Markermeer wordt echter bemoeilijkt, omdat het Markermeer niet meer onder vrij verval kan spuien op het IJsselmeer. Hetzelfde geldt voor het Meppelerdiep. Bij migratie naar de niet vrij afwaterende regionale wateren moet nu al een hoogteverschil worden overbrugt en dat hoogteverschil zal toenemen. Veranderingen in de meerpeilpieken zullen weinig invloed hebben op de vismigratiemogelijkheden.

¹ Met name door de spuisluizen en de vismigratierivier. De migratie door de schutsluizen en de vispassage bij Den Oever wordt niet of nauwelijks beïnvloed.

Waterkwaliteit

Verandering van de meerpeilen kunnen lokaal leiden tot andere watertemperaturen. Waar water dieper wordt, zal de temperatuur afnemen. Waar ondiep water ontstaat kunnen relatief hoge watertemperaturen optreden. Hogere IJsselmeerpeilen zullen verder de zoutindringing vanuit de Waddenzee verkleinen, wat echter maar beperkte effecten voor de ecologie van het IJsselmeer zal hebben. Er is geen algeheel positief of negatief effect van peilverandering op de waterkwaliteit.

6.2.5

Scheepvaart

Onder de kop scheepvaart komen hier zowel de recreatievaart als de beroepsvaart aan de orde.

Vaardiepte

Een hoger waterpeil betekent dat bepaalde schepen zwaarder kunnen worden beladen óf verkleining van de onderhoudsopgave voor de vaargeulen. Daarnaast betekent het een vergroting van de mogelijkheden voor de recreatievaart in ondiepe gebieden. Verandering van de meerpeilpieken in de winter hebben nauwelijks gevolgen voor de vaardieptes.

Havens en steigers

Bij hogere meerpeilen zullen veel steigers en kades in het gebied moeten worden verhoogd. Bij toename van de meerpeilpieken kunnen aanpassingen wenselijk zijn in verband met de sterkere wisselingen in waterstanden in de winter.

Wachttijden schutsluizen

De wachttijden nemen toe naarmate het peilverschil dat overbrugd moet worden groter is. Dit betekent dat bij een stijgende zeespiegel stijging van het IJsselmeerpeil gunstig is voor de wachttijden bij de Afsluitdijk. Daarentegen nemen de wachttijden tussen het IJsselmeer en de omliggende wateren (ook het Markermeer) toe.

Doorvaarhoogte bruggen

Bij een stijging van het gemiddeld winterpeil neemt de doorvaarhoogte van bruggen af. In het Markermeer (inclusief Gooi-Eemmeer) is dit met name een punt bij de vaste bruggen van de A6 en de A27. De peilstijging in de scenario's is in het Markermeer echter beperkt tot 8 cm, zodat er weinig schepen getroffen worden. In het IJsselmeer (met de daarop vrij afwaterende wateren) zijn geen vaste bruggen aanwezig. Mogelijk zullen de beweegbare Ketelbrug, Ramspolbrug en Eilandbrug bij Kampen wel vaker geopend moeten worden.

6.2.6

Oeverrecreatie

Veranderingen in het peilbeheer treffen met name de oeverrecreatie op buitendijkse strandjes en voorlanden.

Overstroming recreatiestranden

Omdat de recreatiestrandjes vrijwel uitsluitend in de zomer gebruikt worden zijn verhoging van het gemiddeld winterpeil en veranderingen in de meerpeilpieken in de winter van weinig belang. Een hoger zomerpeil leidt tot verlies aan oppervlakte.

Erosie recreatiestranden

Verhoging van het meerpeil en hogere meerpeilpieken kunnen leiden tot versterking van de erosie van recreatiestrandjes. Dit betekent verlies aan oppervlakte of een beheersinspanning om de oppervlakte in stand te houden.

6.2.7

Landschap en cultuurhistorie

Verhoging van de meerpeilen heeft invloed op het landschap, omdat buitendijkse gebieden deels onder water komen te staan. Hierbij kunnen ook cultuurhistorische

waarden beïnvloed worden. Naast dit directe effect geldt echter dat verhoging van de meerpeilen en/of de meerpeilpieken maatregelen nodig maakt (zie volgende paragraaf). Deze maatregelen kunnen effect hebben op het landschap en de cultuurhistorische waarden. De maatregelen zijn niet per definitie positief of negatief. Het effect hangt sterk af van het type maatregel, de locatie van de maatregel en de manier waarop de maatregel in de omgeving wordt ingepast.

6.3 Maatregelen en kosten

In het kader van het Deltaprogramma IJsselmeergebied is een kosteneffectiviteitsanalyse uitgevoerd, waarin onder meer peilstijging en gelijk houden van het IJsselmeerpeil bij klimaatverandering zijn vergeleken (Bos et al, 2012). Ten behoeve van deze analyse zijn maatregelen geïdentificeerd die de negatieve effecten van peilstijging kunnen compenseren of mitigeren (van Staveren, 2012). Uit het totale pallet van mogelijke maatregelen is daarbij gekozen voor eenduidige maatregelen die in principe overal in het gebied toegepast kunnen worden. Er zijn analyses toegepast om na te gaan op welke schaal maatregelen nodig zijn. Vervolgens is een inschatting gemaakt van de kosten van de maatregelen. Tabel 6.2 geeft een overzicht van de kosten bij een stijging van het gemiddeld winterpeil van het IJsselmeer met 60 cm (en gelijkblijvende meerpeilpieken). Omdat de compensatie van natuurschade hierin een grote plaats inneemt is die in twee varianten uitgevoerd. In de eerste variant wordt het verloren gaan van ondiep water (0-100 cm) voorkomen door het opspuiten van zand en buitendijkse gebieden worden beschermd met kades. In de tweede variant wordt landbouwgrond omgezet in natuur, als compensatie voor wat aan buitendijkse natuur verloren is gegaan (waarbij inrichtingskosten niet zijn meegenomen). In beide varianten worden de buitendijkse gebieden die nu boven water liggen tegen overstroming beschermd door kades aan te leggen.

Bij de tabel zijn de volgende kanttekeningen te maken:

- De kosten zijn exclusief de kosten voor waterafvoer en versterking van de waterkeringen (die in hoofdstuk 5 zijn besproken).
- De bedragen zijn niet meer dan een indicatie. De omvang van de benodigde maatregelen is namelijk gebaseerd op een globale analyse en de kostenraming is vervolgens gedaan op basis van algemene kentallen. In de praktijk kunnen kosten sterk afwijken. Zo heeft bijvoorbeeld het project Markerwadden geleerd dat grootschalig suppleren van zand d.m.v. opspuiten veel goedkoper kan zijn dan suppletie waarbij zand per schip wordt aangevoerd.
- Er zijn geen kosten meegenomen voor de aanpassing van steigers en kades. Omdat de peilstijging over langere tijd plaatsvindt is ervan uitgegaan dat bij reguliere vervanging de hoogtes kunnen worden aangepast zonder veel meerkosten. Veel kades (zeker in de oude Zuiderzeestadjes) lijken een peilstijging van maximaal 60 cm nog aan te kunnen.
- De tabel geeft alleen investeringskosten. Meerkosten voor het waterbeheer en beheer en onderhoud van de uitgevoerde maatregelen zijn niet meegenomen. Ook vervangingsinvesteringen zijn niet meegenomen. Zo geldt bijvoorbeeld voor drainage een geschatte gemiddelde levensduur van 25 jaar.

De eerste ruwe inschatting van de kosten voor de compenserende en mitigerende maatregelen in het IJsselmeer en de daarmee verbonden wateren komt dus op ca. 750 miljoen euro. Dit is een groot bedrag, maar veel kleiner dan de kosten die moeten worden gemaakt voor waterafvoer en versterking van de keringen. Dit betekent dat het uitvoeren van het pakket financieel niet op voorhand onrealistisch hoeft te worden geacht. Het moge echter duidelijk zijn dat peilverhoging in combinatie met de genoemde maatregelen grote ruimtelijke consequenties heeft voor het gebied.

Maatregel	Kosten variant 1 [miljoen euro]	Kosten variant 2 [miljoen euro]
Aanpassen opvoerhoogte gemalen.	40	40
Capaciteit gemalen vergroten.	2	2
Ophogen kades buitendijkse gebieden (alle functies).	350	190
Aankoop landbouwgrond voor natuurcompensatie.	0	440
Ophogen buitendijks natuurgebied.	310	0
ophogen recreatiestranden.	2	2
Drainage kwelgevoelige landbouwgebieden verdichten.	9	9
Drainage stedelijk gebied aanleggen.	60	60
Totaal	773	743

Tabel 6.2. Inschatting van de kosten van maatregelen om de negatieve effecten van een stijging van het gemiddeld winterpeil met 60 cm te mitigeren of compenseren (uit basisinformatie die gebruikt is door Bos et al (2012)).

7 Discussie, conclusies en vervolg

Dit hoofdstuk bespreekt de resultaten van de in ISWP uitgevoerde analyses op hoofdlijnen. Achtereenvolgens komen aan de orde:

- de ontwikkelde methodiek,
- de gegenereerde dataset,
- de waterhuishoudkundige analyse van de strategieën,
- de kosten van waterafvoer en waterveiligheid in de strategieën,
- overige effecten van de strategieën.

Het hoofdstuk eindigt met een korte vooruitblik op het vervolg van het project.

Methodiek

Met behulp van bestaande en nieuwe bouwstenen is een methodiek opgezet waarmee de consequenties van keuzes rond waterbeheer, waterafvoer en waterveiligheid kunnen worden geanalyseerd. Het gaat zowel om technisch-inhoudelijke consequenties als benodigde pompcapaciteit, meerpeilen en dijkbelastingen als om de kosten van de keuzes.

De eerste stap in de analyse is het uitvoeren van berekeningen met het model DEZY. DEZY is door HKV ontwikkeld binnen ten behoeve van ISWP. Met het model wordt de meerpeilstatistiek van IJsselmeer en Markermeer berekend, op basis van keuzes met betrekking tot waterafvoer, peilbeheer en klimaatscenario. Het model is een krachtig instrument gebleken en wordt inmiddels voor een reeks van andere toepassingen gebruikt en/of uitgebreid.

Het model DEZY werkt zeer snel. Dit geldt ook voor de kostenanalyse van de waterafvoer met het door WVL ontwikkelde spreadsheetmodel KOWIJS. Voor de complexe analyse van de (kosten van) versterkingen van keringen is door Deltares een script ontwikkeld, waardoor de stappen geautomatiseerd doorlopen kunnen worden. De totale methodiek werkt hierdoor snel en efficiënt. Dit betekent dat eventuele aanvullende vragen in het vervolg van het project vrij eenvoudig doorgerekend kunnen worden.

Dataset

In fase 3 van ISWP, waarover deze rapportage gaat, is de definitieve dataset gegenereerd die gebruikt zal worden bij de bezinning op beleidskeuzes. De dataset is samengevat in dit rapport, maar in de rekenresultaten zijn veel meer detailgegevens beschikbaar. In 2018 zullen nog wel enkele aanvullende berekeningen gedaan, met meer extreme keuzes in de strategieën en klimaatscenario's.

Waterhuishoudkundige analyse

De uitgevoerde analyses hebben veel inzicht geleverd in de gevolgen van klimaatverandering en keuzes met betrekking tot waterafvoer en peilbeheer. De belangrijkste inzichten worden hier kort besproken.

1. Klimaatverandering heeft grote effecten op de gemiddelde meerpeilen en de meerpeildynamiek van IJsselmeer en Markermeer. De zeespiegelstijging, die de waterafvoermogelijkheden beperkt, heeft de grootste invloed. In de wateraanvoer zijn voor het IJsselmeer veranderingen in de IJsselaanvoer dominant, in het Markermeer veranderingen in extreme regenval die op kan treden. Toename in extreme regenval zorgt ervoor dat in het Markermeer, ook bij gelijk houden van het gemiddeld meerpeil van het IJsselmeer, de meerpeilpieken zullen toenemen.
2. Waterafvoer met pompen werkt anders dan met spuisluizen. Pompen kunnen altijd werken, spuisluizen alleen als de binnenwaterstand groter is dan de bui-

tenwaterstand. De capaciteit van pompen wordt maar beperkt beïnvloed door het verschil in binnen- en buitenwaterstand, terwijl de spuicapaciteit sterk toeneemt met verschil in de waterstand. Het gevolg hiervan is dat waterafvoer met pompen altijd leidt tot andere frequentieverdelingen van de meerpeilen dan waterafvoer met spuumiddelen. Dit betekent dat het onvoldoende is om alleen beleidskeuzes te maken over het gemiddeld winterpeil in de toekomst: er moeten ook keuzes worden gemaakt over de manier waarop meerpeilpieken mogen veranderen. De consequenties daarvan zijn groot. Zo kan de benodigde pompcapaciteit bij sterke beheersing van de meerpeilpieken op termijn meer dan 2,5 maal de benodigde capaciteit bij minder sterke beheersing van de pieken zijn. Dit bij hetzelfde gemiddeld winterpeil. Tegelijkertijd bepaalt de keuze ook sterk de toekomstige versterkingsopgave voor de water keringen. Dit effect is op het Markermeer veel minder groot dan op het IJsselmeer, omdat de wateraanvoer naar het Markermeer veel kleiner is.

3. Stijging van het gemiddeld winterpeil leidt tot extra versterking van de waterkeringen. Doordat er bij stijgende zeespiegel dan langer gespuid kan worden is aanvankelijk de benodigde pompcapaciteit kleiner dan bij gelijkblijvend winterpeil. Op langere termijn is de benodigde pompcapaciteit gelijk. Aan de eventuele peilstijging op het IJsselmeer zijn namelijk grenzen gesteld, waardoor uiteindelijk ook bij gestegen gemiddeld winterpeil er niet meer gespuid kan worden.

Kosten

De gekozen strategieën voor waterafvoer en peilbeheer hebben sterk verschillende kosten voor waterafvoer en voor versterking van de primaire keringen. De som van deze kosten verschilt echter maar heel weinig tussen de strategieën. Inzetten op extra waterafvoer leidt immers tot lagere kosten voor dijkversterkingen. De strategieën met 60 cm stijging van het gemiddeld winterpeil lijken iets duurder dan die met 0 of 30 cm stijging, maar de verschillen zijn klein. Opvallend is daarbij wel dat een variant met verdubbeling van de spuicapaciteit (bij het gekozen klimaatscenario) in een strategie waarin de meerpeilpieken sterk beheerst worden duidelijk lagere kosten heeft. Dit effect is uiteraard afhankelijk van de snelheid van de zeespiegelstijging. Wordt die minder snel dan is aangenomen, dan neemt het kostenverdeel toe. Is de zeespiegelstijging sneller dan kan het geheel verdwijnen.

Wanneer andere uitgangspunten worden gekozen in berekening van de benodigde maatregelen en de kosten daarvan kunnen er meer verschillen tussen de strategieën ontstaan. De uitgevoerde gevoeligheidsanalyses laten echter zien dat dit pas het geval is als er forse veranderingen plaatsvinden, die ook nog eens dezelfde kant op werken. Dit sluit aan bij het gegeven dat al de aanpassingen die zijn doorgevoerd na de pilotberekeningen in 2016 maar tot beperkte veranderingen in de verschillen in kosten tussen de strategieën hebben geleid. De conclusies dat de strategieën weinig in kosten verschillen lijkt robuust.

De contante waarden van de kosten liggen veel lager dan de nominale waarde, omdat de doorzichtperiode van de analyses erg lang is. De verschillen tussen de strategieën zijn wat groter. Het goedkoopste zijn de strategieën met gelijkblijvend gemiddeld winterpeil en sterke beheersing van de meerpeilpieken. De contante waarden worden sterk gedomineerd door de dijkversterkingskosten. De kosten van waterafvoer beginnen namelijk pas 25 jaar later en nemen toe in de loop der tijd.

Naast de totale kosten heeft de analyse ook inzicht gegeven in de opbouw van kosten. Bij de opbouw van kosten van waterafvoer valt op dat niet de investeringen in de gemalen en ook niet de energievoorziening, maar de kosten van beheer en onderhoud (inclusief vervangingsinvesteringen) domineren.

De kostenberekeningen zijn uitgevoerd om strategieën te vergelijken. Ze kunnen als eerste inschatting van de kosten voor beleidskeuzes worden gemaakt wanneer rekening wordt gehouden met de grote bandbreedte in de ramingen (mogelijk rond de

50%, zie de Grave et al, 2017), het gegeven dat de berekeningen zijn gemaakt op de huidige kostenniveaus en bij de huidige stand van de techniek en met het gegeven dat niet alle kosten van waterbeheer en waterveiligheid zijn meegenomen (zie de inleiding van hoofdstuk 5).

Tot slot is het belangrijk dat de analyses in feite zijn gericht op een overgangsperiode, waarin de situatie zich ontwikkelt vanuit de huidige situatie naar de situatie waarin er niet meer gespuid kan worden en waarin het IJsselmeerpeil de gekozen maximale peilstijging heeft bereikt. Hoewel deze overgangsperiode lang is (bij de gekozen uitgangspunten meer dan 100 jaar) is het goed te bedenken dat in de situatie daarna de kostenverschillen heel anders komen te liggen:

- De kosteneffecten van peilstijging zijn tijdelijk. De dijken moeten er op worden aangepast, maar vervolgens blijven de kosten voor beheer en onderhoud nauwelijks hoger dan voor niet verzwaarde dijken. De benodigde gemaaicapaciteit is aanvankelijk lager, maar is op langere termijn gelijk aan die bij gelijkblijvend meerpeil. Dus na de "overgangsperiode" verschillen de jaarlijkse kosten voor dijken en waterafvoer weinig meer.
- Het effect van de keuze voor de mate waarin de meerpeilpieken worden beheerst is blijvend. Bij sterke beheersing van de meerpeilpieken (a-strategieën) zijn veel meer pompen nodig dan bij minder sterke beheersing daarvan. De pompen maken wel minder draaiuren, maar de totale pompkosten zijn beduidend hoger. Omdat bij doorgaande klimaatverandering de dijkbelasting blijft toenemen als de meerpeilpieken niet strak beheerd worden blijven er in de b- (en mindere mate c-)strategieën extra kosten voor dijkversterkingen.

Overige effecten

De inventarisatie van de effecten van verhoging van de meerpeilen en/of meerpeilpieken geeft een beeld van het bredere kader waarbinnen de kostenanalyses moeten worden beoordeeld. Er zijn veel effecten van hogere meerpeilen of pieken in de meerpeilen en overwegend zijn die negatief. Een eerste ruwe inschatting van de kosten om negatieve effecten te mitigeren laat zien dat die fors zijn (0,5-1 miljard voor 60 cm peilstijging), maar relatief klein in verhouding tot de kosten van waterafvoer en versterking van de keringen. Effecten kunnen geheel of gedeeltelijk gemitigeerd worden, maar natuur en landschap van het IJsselmeergebied zullen daarbij sterk beïnvloed worden.

Vervolg

De laatste fase van het project ISWP wordt gericht op het vertalen van de gegenereerde gegevens en inzichten in een beleidsadvies met betrekking tot toekomstige waterafvoer en peilbeheer. Daarbij zullen nog enkele aanvullende analyses worden uitgevoerd rond specifieke deelvragen.

Literatuur

Bos F., P. Zwaneveld & P. van Puijenbroek (2012). Achtergronddocument: Een snelle kosten-effectiviteitanalyse voor het Deltaprogramma IJsselmeergebied. CPB/PBL.

Deltares (2014). KOSWAT, KOSTen van het versterken van WATERkeringen: Systeem-documentatie.

Deltares (2015). Implications of the KNMI'14 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse: comparison with earlier scenario studies.

Duin, C.F. van, J. Kollen, M. Vrij Peerdeman en C.J. Jaspers (2017). Milieueffect-rapport Peilbesluit IJsselmeergebied. Sweco Nederland.

Geerse, C. & B. Kuijper, 2015. Probabilistisch model frequentielijnen IJsselmeergebied: hoofdrapport van het model DEZY. HKV lijn in water.

Grave, P. de, G. Pleijter, B. Kuijper en R. van der Meij (2017). Dijkkosten ISWP IJsselmeergebied: Methodiek en resultaten. Deltares-HKV.

KNMI (2015). KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland: leidraad voor professionals in klimaatadaptatie. Herziene uitgave 2015.

Kuijper, B., C. Geerse & A. Remmelzwaal, 2017 (in prep.). Rapid calculation of lake level statistics in The Netherlands. Proceedings of the 85th annual meeting of the international commission on large dams.

Levelt, O., S. van Vuren, J. Pol, R. van der Meij, P. de Grave, D. Nugroho, W. ter Horst, R. Koopmans, P. van der Scheer, & A. de Kruif (2016). Toepassing Methodiek Kostenreductie Dijkversterking door Rivierverruiming op Maas. Deltares, HKV lijn in water, Arcadis, RoyalHaskoningDHV en Rijkswaterstaat WVL.

Meij, R. van der, W. ter Horst, W., S. van Vuren, S., J. Pol, R. Koopmans, O. Levelt, N. Asselman, P. de Grave & A. de Kruif (2016). Uitwerking methode voor bepaling kostenreductie rivierverruiming. Kostenreductie dijkverbeteringen door uitvoering rivierverruiming. Deltares, HKV lijn in water, Arcadis en Rijkswaterstaat WVL.
Kuijper, B., 2017. Optimaliseren ISWP-strategieën peilbeheer: overzicht resultaten DEZY-berekeningen. HKV memorandum PR3294.40.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu /Ministerie van Economische Zaken (2015) Nationaal Waterplan 2016-2012.

Remmelzwaal, A., A. Kors, I. Tanczos, A. Hebbink & J. Helmer (2015). Meerpeilen en waterveiligheid IJsselmeergebied: Integrale Studie Waterveiligheid en Peilbeheer fase 1. Rijkswaterstaat WVL.

Remmelzwaal, A., A. Kors, I. Tanczos, A. Hebbink & H. Berger (2017). Eerste analyse van opties voor waterafvoer en peilbeheer IJsselmeergebied: Integrale Studie Waterveiligheid en Peilbeheer fase 2. Rijkswaterstaat WVL.

Staveren van, G. (2012). Achtergrondrapportage kosteneffectiviteitsanalyse. Acacia Water.

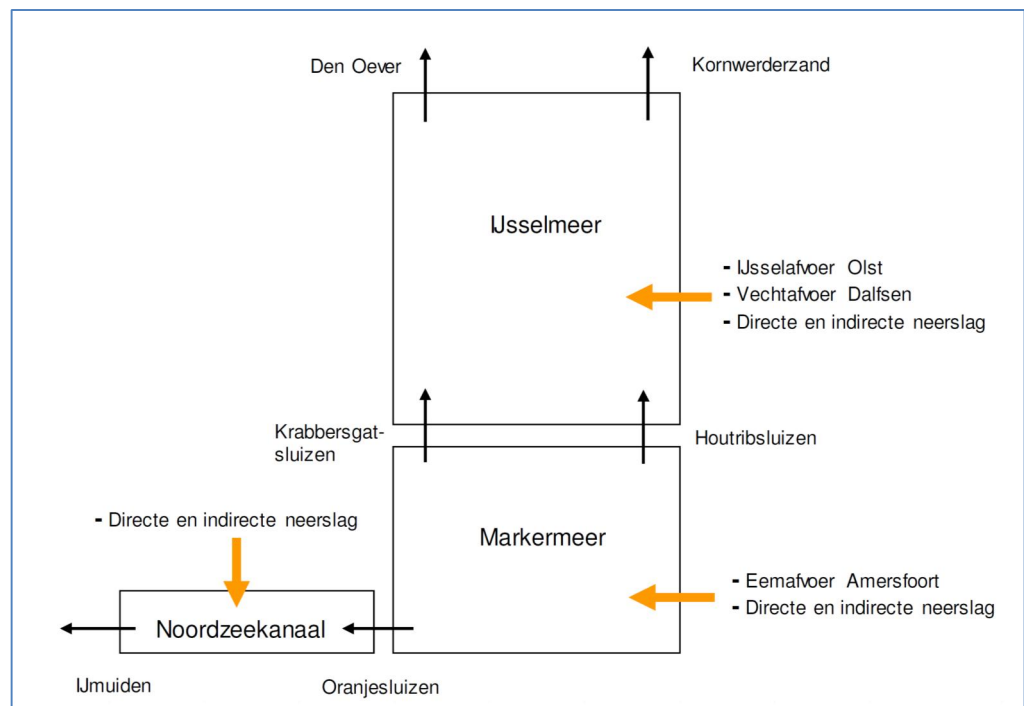
Staveren van G., L. Tolk & L. Joosten (2014). Kennisdocument strategieontwikkeling IJsselmeergebied. Acacia Water.

Vuren, S. van, Levelt, O., J. Pol, R. van der Meij, P. de Grave, D. Nugroho, W. ter Horst, R. Koopmans, P. van der Scheer, & A. de Kruif (2016). Toepassing Methodiek Kostenreductie Dijkversterking door Rivierverruiming op Rijntakken. Deltares, HKV lijn in water, Arcadis, RoyalHaskoningDHV en Rijkswaterstaat WVL.

Bijlage A Het model DEZY voor bepaling meerpeilstatistiek

Voor het bepalen van Hydraulische Randvoorwaarden en voor allerlei beleidsstudies voor het IJsselmeergebied is statistiek nodig van de meerpeilen voor het IJssel- en Markermeer. Tot nu toe werd dergelijke statistiek bepaald door statistische extrapolatie van gemeten meerpeilen (voor de bestaande situatie) of van zogenaamde synthetische meerpeilen (voor scenariostudies). De praktijk heeft uitgewezen dat deze extrapolaties vaak op problemen stuiten, waarbij subjectieve keuzes sterk bepalend zijn voor de afgeleide meerpeilstatistiek. Bovendien kosten ze veel tijd.

In opdracht van Rijkswaterstaat WVL heeft HKV een model ontwikkeld waarmee de meerpeilstatistiek voor IJsselmeer en Markermeer kan worden berekend, uitgaande van stochasten op de randen van het gebied. Met het model kunnen frequentielijnen voor de meerpeilen van het IJsselmeer en Markermeer worden afgeleid, voor allerlei scenario's. Daarbij kan gevarieerd worden met bijvoorbeeld klimaatverandering, spucapaciteit, pompcapaciteit en peilbeheer. Het model heeft de naam DEZY gekregen: **D**agelijkse en **E**xtrême waarden voor het **Z**uyder Zee gebied. Het model funktioneert voor de winterperiode: de periode die van belang is voor de waterveiligheid.



Figuur A.1 Schematische weergave watersystemen, spuilocaties en aanvoeren, inclusief richting van de spui, in het model DEZY (in winterhalfjaren)..

In model DEZY worden de volgende stochasten opgenomen (zie Figuur A.1):

- IJsselafoer te Olst.
- Vechtafoer te Dalfsen.
- De neerslag die afwatert op het IJsselmeer, voor zover niet inbegrepen in de afvoeren voor Olst en Dalfsen.

- Buitenwaterstand te Den Oever.
- Buitenwaterstand te Kornwerderzand.
- Windsnelheid station Schiphol.
- Windrichting station Schiphol.
- Eemafvoer te Amersfoort.
- De neerslag die afwatert op het Markermeer, voor zover niet inbegrepen in de Eemafvoer.
- De neerslag die afwatert op het Noordzeekanaal.
- Buitenwaterstand te IJmuiden.

Het model is gericht op het berekenen van de frequentielijnen van de meerpeilen in IJsselmeer en Markermeer. Het Noodzeekanaal is op een vereenvoudigde manier meegenomen in het model, om waterafvoer van het Markermeer via dit kanaal te kunnen simuleren. Door de vereenvoudigde benadering levert het model geen betrouwbare frequentielijnen voor het Noordzeekanaal.

In het model kunnen de invoergegevens worden aangepast (bijvoorbeeld om klimaateffecten te berekenen). Daarnaast kan er gevarieerd worden met de afvoer capaciteit (pompen en spuien) op de Afsluitdijk en Houtribdijk en met het peilbeheer (streefpeilen en aanslagpeilen pompen).

DEZY is in de afgelopen jaren uitgebreid met een aantal nieuwe functionaliteiten. In fase 3 van ISWP is gerekend met DEZY versie 3.2.

Volgens de ontwikkelaars zijn de resultaten van berekeningen met DEZY aanmerkelijk betrouwbaarder dan statistische extrapolaties van meetreeksen of synthetische reeksen. Dit omdat in DEZY, naast statistiek van aanvoeren, fysica van het systeem gebruikt wordt om de meerpeilstatistiek uit te rekenen.

Het model DEZY draait op een gewone PC en varianten kunnen er heel snel mee worden doorgerekend. Een uitgebreide beschrijving van het model is te vinden in Geerse & Kuijper, 2015 en Kuijper et al, 2017.

Deze bijlage beschrijft de methodiek die door Deltares is ontwikkeld voor de bepaling van de toekomstige dijkversterkingsopgaven in het IJsselmeergebied in verschillende strategieën en scenario's. Het is een samenvatting van de uitgebreidere beschrijving door de Grave et al (2017). De ontwikkelde methodiek is gebaseerd op de aanpak die in 2015-2016 is ontwikkeld om kostenreductie van dijkversterking door rivierverruiming te bepalen (Van der Meij et al 2016) en die is toegepast op de Waal en IJssel (Van Vuren et al 2016) en op de Maas (Levelt et al 2016) en de Nederrijn-Lek. De methodiek werkt langs drie sporen: dijkversterking, dijkbekleding en kunstwerken.

Dijkversterking

Overzicht van de methodiek

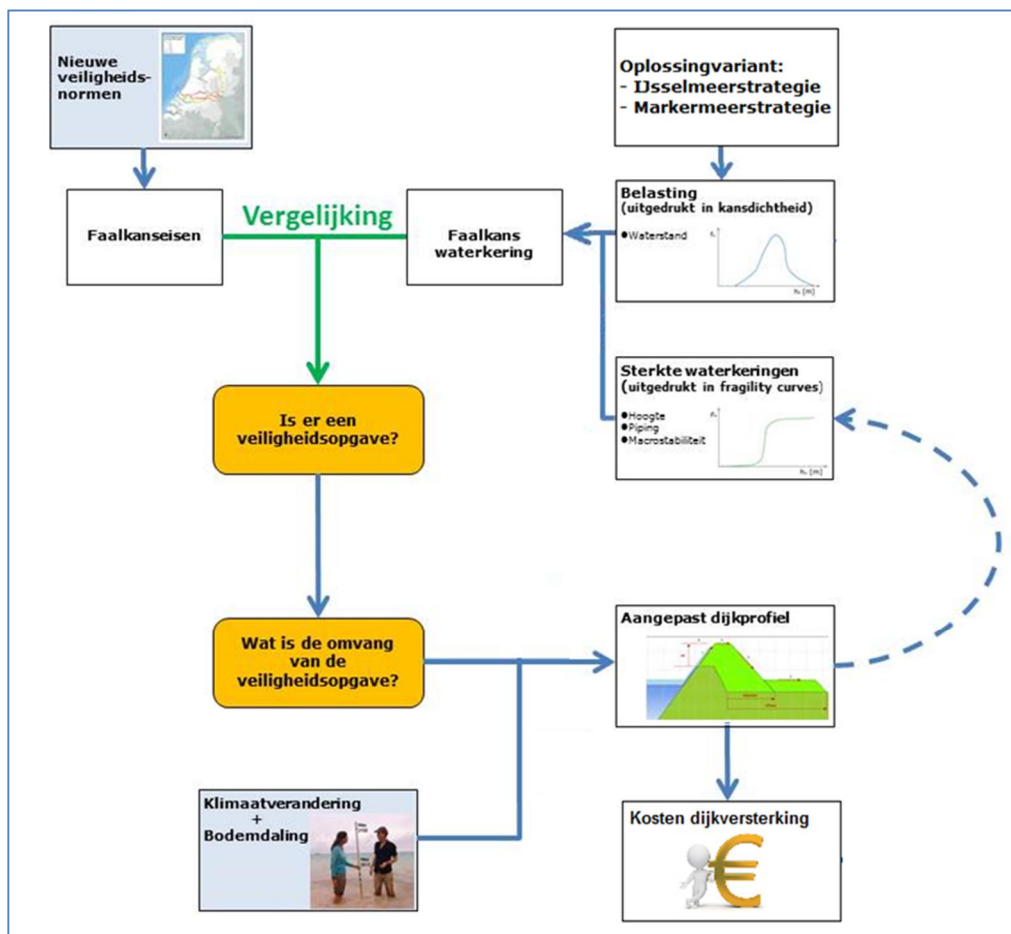
De eerste stap in de methodiek is het in kaart brengen van de huidige staat van de keringen. Vervolgens worden voor de situatie in 2025 per strategie de dijken getoetst aan de norm, om te bepalen of versterking nodig is. Wanneer dat voor een dijktraject het geval is wordt bepaald hoe het nieuwe dijkontwerp er uit moet zien, gegeven de gekozen ontwerplevensduur van 50 jaar. Daarbij wordt rekening gehouden met de ontwikkeling van de hydrologische belasting in de strategie en met bodemdaling. Er is uitgegaan van de nieuwe normering, die in 2017 van kracht wordt. De cyclus wordt herhaald voor de jaren 2075 en 2125.

De keuze om maar een maal per 50 jaar te toetsen en (waar nodig) te versterken is een pragmatische. Het beperkt sterk de hoeveelheid berekeningen die gemaakt moet worden. Het is bovendien weinig zinvol om in deze studie met meer toetsmomenten te werken. Ten eerste zal het algemene beeld dat de verschillende strategieën opleveren niet veranderen. Ten tweede is het praktisch nog niet mogelijk om met frequentere toetsing te werken. Veel dijken zullen namelijk niet voldoen aan de nieuwe normering. Ze zullen echter niet allemaal onmiddellijk versterkt worden: daar is tot 2050 tijd voor. Op dit moment is niet bekend in welke volgorde dat zal gebeuren.

Bij de toetsing wordt in deze studie gekeken naar drie faalmechanismen: overloop en overslag, piping en macrostabiliteit binnenwaarts. Onder het kopje *normering en toetsing* wordt daar verder op ingegaan.

De benodigde dijkversterkingen worden bepaald als verhoging (overloop en overslag) en verbreding van de dijkbasis (piping en macrostabiliteit). Bij de navolgende kostenbepaling wordt geanalyseerd of er op de betreffende locatie ruimte is voor deze versterkingen "in grond". Waar dat niet het geval is worden in plaats daarvan constructieve oplossingen als bijvoorbeeld damwanden gekozen.

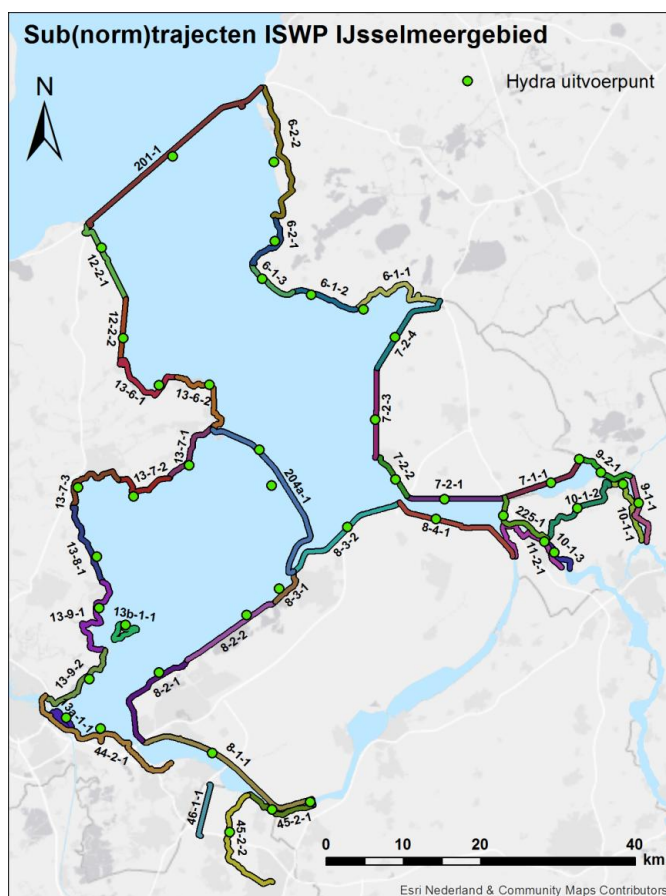
Figuur B.1 vat de methodiek voor het bepalen van de versterkingsopgaven samen. De figuur laat ook zien dat de berekende (fysieke) dijkversterkingsopgaven input zijn voor de kostenvergelijking van de varianten. Na de figuur worden enkele onderdelen meer in detail besproken.



Figuur B.1 Bepaling van de dijkversterkingsopgave

Dijktrajecten

In deze beleidsverkenning is er voor gekozen om te werken met dijktrajecten waarvoor de versterkingsopgave berekend wordt. De dijktrajecten vallen binnen de normtrajecten, zodat binnen een dijktraject overal dezelfde veiligheidsnorm geldt. Verder zijn ze zo gekozen dat zowel de dijkopbouw als de hydrologische belasting binnen het traject redelijk homogeen zijn. Binnen het studiegebied zijn 43 trajecten gedefinieerd, met een gemiddelde lengte van 12,7 km. Figuur B.2 geeft de trajectindeling en de ligging van de Hydra uitvoerpunten weer. Voor ieder dijkvak zijn gegevens over de dijk en de ondergrond verzameld, vanuit verschillende bronnen.



Figuur B.2 Dijktrajectindeling en Hydra-uitvoerlocaties.

Normering en toetsing

Vanaf 2017 worden waterkeringen niet meer getoetst op het veilig kunnen keren van een waterstand met een bepaalde overschrijdingskans, maar zal een zogenaamd normtraject (een vastgestelde strekking met een bepaalde lengte) moeten voldoen aan een wettelijk vastgelegde maximale overstromingskans. In de wet worden voor een normtraject twee verschillende normen vastgelegd, een zogenaamde signaleringswaarde, en een ondergrens (maximaal toelaatbare overstromingskans)¹. In de methodiek wordt gewerkt met de maximaal toelaatbare overstromingskans¹. Op welk moment precies gesignaleerd wordt dat een dijk in de toekomst afgekeurd gaat worden is in de methodiek immers niet relevant.

De gestelde normen gelden voor een heel normtraject met een bepaalde lengte. Voor ieder individueel faalmechanisme, zal de faalkans een stukje kleiner moet zijn. Immers, de totale faalkans op een traject is opgebouwd uit de faalkansen van alle individuele onderdelen. Dit wordt aangeduid met de zogenaamde faalkansruimte. In de methodiek wordt de norm, ofwel de toegestane faalkans op normtrajectniveau, terugvertaald naar een toegestane faalkans per faalmechanisme op doorsnedeniveau (hier geldt ook een zogenaamd lengte-effect; hoe langer een dijkstrekking is, hoe kleiner de faalkans van een individuele doorsnede mag zijn).

¹ De signaleringswaarde is de waarde die gebruikt wordt om op "af te keuren" bij de beoordeling. Aangezien een versterking daarna nog 15-20 jaar kan duren is een bepaalde "buffer" ingebouwd in de tijd. In die periode kan de faalkans van de dijk 'verslechteren' van de signaleringswaarde naar de ondergrens (maximaal aanvaardbare faalkans). Typisch geldt dat de ondergrens ongeveer gelijk is aan 3x de signaleringswaarde.

Bij de toedeling van faalkansruimte aan de dijkvakken is uitgegaan van een standaard faalkansboekhouding die wordt gehanteerd binnen het WBI. Het faalmechanisme overloop en overslag krijgt een faalkansruimte van 24%. Opbarsten en piping krijgt eveneens 24%, en macrostabiliteit binnenwaarts 4%. De overige faalkansruimte wordt verdeeld over de overige mechanismen. Deze blijven in deze analyse buiten beschouwing, omdat ze een geringe invloed hebben op de benodigde dimensies van het dijklichaam, zodat de verschillen in kosten tussen de verschillende varianten beperkt blijft. Deze standaard faalkansboekhouding geldt voor een gemiddeld dijkvak op een willekeurige plaats in het land.

In deze studie is ervoor gekozen om kleine opgaven uit de uitkomsten te verwijderen. De gedachte hierbij is dat deze opgaven in praktijk wegvallen door meer 'op maat' te beoordelen. Kruinverhogingen kleiner dan 10 centimeter, en dijkbasisverbredingen kleiner dan 3 meter voor macrostabiliteit en kleiner dan 5 meter voor piping zijn niet meegenomen. Deze kleine versterkingen worden voornamelijk gevonden in de periode 2075 en verder.

Bepalen van de veiligheidsopgave

Voor het bepalen van de veiligheidsopgave wordt het schema in Figuur 2.4 doorlopen voor iedere afzonderlijke dijkstrekking in het beschouwde gebied. In de methode zoals die is toegepast in het IJsselmeergebied wordt in de aanpak onderscheid gemaakt in het faalmechanisme overloop en overslag (hoogte) en de mechanismen macrostabiliteit en piping.

Voor het mechanisme overloop en overslag wordt bepaald of er een opgave is door de aanwezige kruinhoogte van de dijk te vergelijken met de vereiste hoogte die volgt uit het Hydraulisch Belasting Niveau (HBN, waterstand plus golfoploop) bij een vastgesteld overslagdebiet en een bepaalde terugkeertijd. De beschouwde terugkeertijd volgt uit de gestelde veiligheidsnorm.

Voor de mechanismen macrostabiliteit en piping wordt allereerst de huidige faalkans bepaald door de kans op voorkomen van verschillende belastingniveaus (buitenwaterstanden), te combineren met de kans dat de dijk bij deze buitenwaterstand bezwijkt. De curve die aangeeft hoe groot de kans is dat de dijk bij een bepaalde waterstand bezwijkt wordt een 'fragility-curve' genoemd. De gevonden faalkans wordt vervolgens vergeleken met de faalkanseis. Deze wordt afgeleid uit de veiligheidsnorm van de strekking (normtraject) waarin de dijksectie valt en houdt rekening met de bijdrage van een specifiek faalmechanisme (faalkansbegroting) en het lengte-effect. Er is sprake van een dijkverbeteringsopgave als de faalkans groter is dan de gestelde faalkanseis.

Als geconstateerd wordt dat er een dijkverbeteringsopgave is, wordt de omvang van deze opgave berekend. Bij de faalmechanismen piping en macrostabiliteit wordt gekeken naar het verschil tussen de huidige faalkans en de faalkanseis. Voor het mechanisme overloop en overslag wordt gekeken naar het verschil in kruinhoogte van de dijk en de hoogte van het berekende HBN. Berekend wordt hoe de dijk moet worden versterkt, gegeven de wettelijk vereiste faalkans, en de levensduur van het ontwerp van 50 jaar die in deze studie wordt gehanteerd. De bodemdaling die in deze periode wordt verwacht, wordt in het dijkontwerp meegenomen, evenals de hydraulische effecten die het gevolg zijn van de inzet van de gekozen peilvariant.

De omvang van de dijkversterking bestaat uit een bepaalde mate van dijkverhoging en/of dijkverbreding die nodig is om aan de norm te voldoen. Op basis hiervan worden de kosten van de versterking geraamd, zie voor de gehanteerde methode hierbij de volgende paragraaf. In enkele gevallen zal blijken dat de versterking in de vorm van een constructie gerealiseerd moet worden. Het uitvoeren van een dijkversterking heeft invloed op de fragility curve van een waterkering. Door een dijkversterking neemt de faalkans van een waterkering bij een gegeven waterstand af. De

faalkans kan ook afnemen door de inzet van een bepaalde strategie in het gebied, bijvoorbeeld door het inzetten van pompen op de Afsluitdijk vanaf een bepaald jaar. Dit resulteert in een lagere hydraulische belasting, waardoor de dijk minder hoeft te worden versterkt om toch aan de faalkanseis te voldoen. De kosten voor de dijkversterking kunnen daardoor lager uitvallen.

Bodemdaling

Bodemdaling zorgt ervoor dat de kruin van een dijk langzaam zakt, waardoor de kerende hoogte van de dijk afneemt. Het effect van bodemdaling bij toetsing en ontwerp is meegenomen als toeslag op de waterstanden. Tabel B.1 geeft de aangenomen snelheid van de bodemdaling per dijktraject aan. Deze gegevens zijn ontleend aan de studie WV21 (Kuijper et al, 2010). In deze studie is gekeken naar de periode 2000-2050. Voor de uitgevoerde berekeningen is aangenomen dat de snelheid van bodemdaling daarna niet verandert.

Traject	Bodemdaling [cm/jaar]	Traject	Bodemdaling [cm/jaar]	Traject	Bodemdaling [cm/jaar]
6-1-1	0.33	8-3-1	0.17	13-7-1	0.17
6-1-2	0	8-3-2	0.03	13-7-2	0.17
6-1-3	0.33	8-4-1	0.17	13-7-3	0.17
6-2-1	0.17	9-1-1	0.33	13-8-1	0.42
6-2-2	0.17	9-2-1	0.5	13-9-1	0.42
7-1-1	0.17	10-1-1	0	13-9-2	0.42
7-2-1	0.17	10-1-2	0.33	13a-1-1	0.08
7-2-2	0.03	10-1-3	0.33	13b-1-1	0.08
7-2-3	0.03	11-2-1	0.08	44-2-1	0
7-2-4	0.03	12-2-1	0.17	45-2-1	0.17
8-1-1	0.5	12-2-2	0.17	45-2-2	0.17
8-2-1	0.83	13-6-1	0.17	46-1-1	0.08
8-2-2	0.5	13-6-2	0.17		

Tabel B.1 Jaarlijkse bodemdaling per dijktraject.

Dijkbekleding

In het vorige onderdeel ligt de focus op de dimensies van het dijkprofiel (grondlichaam) aan binnendijkse zijde, en blijft het buitentalud geheel buiten beschouwing. Binnen het onderdeel dijkbekleding wordt gekeken naar de benodigde aanpassingen aan het aanwezige buitentalud en de dijkbekleding bij de verschillende peilvarianten, inclusief de eventuele ophoging van de buitenberm. Wanneer de waterstanden stijgen, en een groter deel van het buitentalud blootgesteld wordt aan een grotere golfbelasting, zal dit deel immers eveneens versterkt moeten worden.

De gehanteerde aanpak is ontleend aan de studie Waterveiligheid 21^e eeuw (WV21). Binnen dat project zijn verschillende modules ontwikkeld om versterkingen aan het buitentalud te kunnen dimensioneren en de kosten daarbij te ramen (zie De Grave en Baarse, 2011). Binnen WV21 is onderscheid gemaakt naar een aantal hoofd- en subsystemen, waarbinnen op een andere manier wordt omgegaan met de versterking. Voor de studie ISWP IJsselmeergebied zijn de hoofdsystemen Meer en gedeeltelijk ook Rivieren (IJssel- en Vechtdelta) relevant. Binnen het hoofdsysteem Meer wordt verder onderscheid gemaakt naar de oude zeedijken en de nieuwe polderdijken.

In het vorige onderdeel ligt de focus op de dimensies van het dijkprofiel (grondlichaam) aan binnendijkse zijde, en blijft het buitentalud geheel buiten beschouwing. Binnen het onderdeel dijkbekleding wordt gekeken naar de benodigde aanpassingen aan het aanwezige buitentalud en de dijkbekleding bij de verschillende peil-

varianten, inclusief de eventuele ophoging van de buitenberm. Wanneer de waterstanden stijgen, en een groter deel van het buitentalud blootgesteld wordt aan een grotere golfbelasting, zal dit deel immers eveneens versterkt moeten worden.

Bepaling uitgangssituatie

De gehanteerde aanpak is ontleend aan de studie Waterveiligheid 21^e eeuw (WV21). Binnen dat project zijn verschillende modules ontwikkeld om versterkingen aan het buitentalud te kunnen dimensioneren en de kosten daarbij te ramen (zie De Grave en Baarse, 2011). Binnen WV21 is onderscheid gemaakt naar een aantal hoofd- en subsystemen, waarbinnen op een andere manier wordt omgegaan met de versterking. Voor de studie ISWP IJsselmeergebied zijn de hoofdsystemen Meer en gedeeltelijk ook Rivieren (IJssel- en Vechtdelta) relevant. Binnen het hoofdsysteem Meer wordt verder onderscheid gemaakt naar de oude zeedijken en de nieuwe polderdijken.

Binnen WV21 zijn in het studiegebied van ISWP 94 dijkvakken onderscheiden, met een gemiddelde lengte van rond de 5 km. Voor deze dijkvakken is destijds door de waterkeringbeheerders aangegeven over welke lengtes (percentages) en op welk deel van het talud (boven- of ondertalud) een steen-, asfalt of grasbekleding op de dijk aanwezig is. Deze gegevens zijn gebruikt om de uitgangssituatie voor de dijktrajecten binnen de ISWP studie te bepalen. Hierbij zijn de ISWP trajecten gekoppeld aan de WV21 vakken. Voor ieder ISWP traject is daarmee bekend over welke lengtes een bepaald type dijkbekleding aanwezig is.

In het IJsselmeergebied is veelal een harde (steen)bekleding te vinden op het ondertalud, het bovenste deel van het talud heeft vaak een standaard grasbekleding. In de IJssel- en Vechtdelta, een ook langs de dijken langs de Eem wordt een volledige grasbekleding aangetroffen. Ook na versterking wordt er hier vanuit gegaan dat een grasbekleding voldoende sterk blijft. Op deze trajecten zijn daarom geen verdere dijkbekledingskosten geraamd.

Voor de ISWP trajecten in het merengebied (oude zeedijken en nieuwe polderdijken) is naast de bekledingssituatie eveneens in kaart gebracht of er een buitenberm aanwezig is. De berm heeft een functie bij het reduceren van de golfbelasting op de dijk, en biedt veelal plaats aan een pad voor onderhoud en inspectie van de dijk. Er is een inventarisatie gemaakt van de dijkprofielen van alle VNK vakken die binnen ieder ISWP subtraject vallen, en voor ieder subtraject is een gemiddelde berm lengte en bermhoogte bepaald. Tevens is bekeken welke buitentaludhelling gemiddeld op het traject aanwezig is.

Versterkingsmaatregelen en kostenraming

Omdat geen gegevens bekend zijn over de huidige sterkte van de bekleding, wordt verondersteld dat de bekleding minimaal voldoet aan een bepaalde referentiebelasting. Hierbij is uitgegaan van de HR2006 waterstand bij de oude norm (herhalings-tijd), omdat deze het beste aansluit bij de waterstanden waarop de bekleding voor het laatst getoetst en ontworpen is. In de kostenmodules wordt vervolgens voor ieder dijktraject het verband afgeleid tussen waterstandsstijging (ten opzichte van deze referentiebelasting) en de dijkbekledingskosten. Deze kostencurves dienen als invoer voor de ISWP analyses, zoals beschreven in de volgende paragraaf.

Bij het ontwerp van de bekleding en de buitenberm in het merengebied wordt een groot aantal uitgangspunten gehanteerd. Voor de achtergronden bij het bekledings-ontwerp wordt verwezen naar de rapportages van WV21. In de beschouwingen wordt onderscheid gemaakt tussen het boven- en het ondertalud (globaal het deel van het talud boven en onder ontwerppeil). De belangrijkste uitgangspunten in het ontwerp van de bekledingen bij deze studie zijn:

- Op het boventalud van de dijken in het IJsselmeergebied (boven de buitenberm, of boven de ontwerpwaterstand) is in de uitgangssituatie veelal geen

steen-, maar een grasbekleding aanwezig. Er wordt vanuit gegaan dat bij een stijgende waterstand de golfhoogtes en daarmee de golfklappen op het boven- talud niet noemenswaardig zullen toenemen. In de versterking wordt daarom gesteld dat een grasbekleding op het boventalud blijft voldoen¹.

- Omdat het onwaarschijnlijk lijkt dat bij een minimale waterstandsstijging boven de referentiebelasting direct op het hele traject de bekleding op het onder- talud aangepast moet worden, is aangenomen dat de bekleding qua sterkte een zekere mate van reserve bezit. In het ontwerp is aangenomen dat bij een waterstandsstijging van 10 cm voor slechts 10% van de dijksectie de bekle- ding in z'n geheel niet meer voldoet. Voor iedere 10 cm extra waterstandsstij- ging komt hier 10% bij. Stel dat de waterstand (bij een herhalingstijd ter hoogte van de nieuwe norm in de beschouwde variant) op een traject met 40 cm stijgt. Dan wordt over 40% van het traject de bekleding op het ondertalud volledig vervangen. Voor de overige 60% van de dijksectie wordt de bestaan- de bekleding uitgebreid. De bekleding wordt daar als het ware opgetrokken met de waterstandsstijging mee. Bij een buitentalud van 1:3 zal de bekleding over een afstand van zo'n 1.25 m ($\sqrt{(0.4^2 + 1.2^2)}$) doorgetrokken worden. Bij een waterstandsstijging van meer dan 1 m, zal de hele bekleding op het tra- ject vervangen moeten worden. Voor iedere 0.5 m waterstandsstijging wordt in de berekeningen een zwaardere (duurdere) steenzetting toegepast. Voor de strekkingen in het merengebied waar in de uitgangssituatie op het ondertalud nog een grasbekleding is gevonden wordt een zelfde soort aanpak gehanteerd. Deze grasbekleding zal bij steeds grotere waterstandsstijgingen voor een steeds groter deel vervangen worden door een steenzetting.
- Wanneer een buitenberm met een hoogte rond ontwerppeil aanwezig is, zal deze bij een stijgende waterstand worden gehandhaafd op ontwerppeil, om de golfremmende werking van de buitenberm te behouden. Om te voorkomen dat bij een minimale stijging van de ontwerpwaterstand direct de buitenberm ver- hoogd zou moeten worden (en dus alle bekleding verwijderd en opnieuw aan- gebracht zou moeten worden), wordt gesteld dat de waterstand mag stijgen tot een meter boven de bermhoogte voordat deze verhoogd wordt. In dat ge- val is sowieso ook een vervanging van de volledige steenbekleding op het on- dertalud aan de orde.
- Voor de kostenramingen wordt gebruik gemaakt van eenheidsprijzen die door RWS GPO zijn aangeleverd. De prijzen zijn geïndexeerd naar prijspeil 2014. Door vermenigvuldiging van hoeveelheden met de eenheidsprijzen worden de Directe Bekende Bouwkosten bepaald (de bouwkosten die in deze fase van het ontwerp al bepaald kunnen worden). Deze worden vermenigvuldigd met een opslagfactor om tot totale Investeringskosten (incl. BTW) te komen. In deze opslagfactor worden nu nog onbekende directe bouwkosten afgedekt, maar ook algemene zaken als engineeringskosten, apparaatskosten voor opdracht- gever en opdrachtnemer, kosten voor bouwplaatsinrichting, risico's, en derge- lijken.

Beoordelings- en ontwerpcyclus

Onder de verschillende peilvarianten wordt in de analyses voor ieder traject voor iedere tijdstap bekeken of de bekleding nog voldoet. Hierbij wordt gestart met het beoordelen van de situatie voor 2025 (aan de hand van de waterstand met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de normhoogte (maximaal toelaat- bare overstromingskans), zoals gesteld in het OI2014). Indien nodig wordt de be- kleding versterkt voor een periode van 50 jaar. Deze beoordeling wordt herhaald in de jaren 2075 en 2125. Aan de hand van de waterstandsstijging die gevonden wordt over de ontwerpperiode (ten opzichte van de zogenaamde referentiebelasting waar- aan de bekleding zou moeten voldoen) worden voor ieder traject in het ISWP stu- diegebied met de kostencurves de dijkbekledingskosten bepaald.

¹ Er is hierbij geen rekening gehouden met eventuele systeemsprongen die het gevolg kunnen zijn van de nieuwe normering. Omdat in deze studie primair gefocust wordt op de verschillen tussen verschillende varianten voor het peilbeheer is deze systeemsprong van ondergeschikt belang.

Kunstwerken

Binnen dit onderdeel wordt voor de verschillende varianten gekeken naar de kosten van de aanpassing van waterkerende kunstwerken. Om de kunstwerken in het studiegebied in kaart te brengen is het RWS Nationaal Kunstwerkenbestand v4.0 gebruikt. Dit bestand dateert van eind 2012. Op dit moment wordt gewerkt aan een update van het bestand in het kader van WBI 2017, deze was echter niet op tijd beschikbaar om in deze studie mee te kunnen nemen. Uit de inventarisatie volgt dat zich in het gebied 308 relevante waterkerende kunstwerken bevinden die globaal in zeven verschillende typen zijn in te delen, te weten:

- Schlusluis
- Keersluis
- Inlaatwerk
- Gemaal
- Uitwateringssluis
- Coupure
- Overig (duikers, overstorten, hevels, e.d.)

Infrastructuur van het type leidingen, riooloverstorten, inspectieputten en dergelijke is buiten beschouwing gebleven.

Om iets te kunnen zeggen over een benodigde versterking van een kunstwerk en de kosten die daarbij komen kijken, is het allereerst zaak om de uitgangssituatie te kennen. Idealiter zou je van een kunstwerk minimaal willen weten wat de reserve is ten aanzien van de referentie belasting. Met andere woorden, hoeveel zou de waterstand nog kunnen stijgen, zonder dat je direct kosten hoeft te maken voor aanpassing van het kunstwerk.

Verdere vragen zijn bijvoorbeeld wat de resterende levensduur van het kunstwerk is, maar ook of het kunstwerk relatief goedkoop kan worden verhoogd of uitgebreid bij een stijgende waterstand, of in z'n geheel vervangen moet worden. In Nederland is geen centrale database beschikbaar waarin dit soort gegevens van de kunstwerken zijn vastgelegd. De kunstwerken in het studiegebied zijn in beheer bij 10 verschillende beheerders, voor deze beleidsstudie voerde het te ver om dit soort informatie te verzamelen. Een poging om de kunstwerken te koppelen aan de gegevens die beschikbaar waren uit de VNK analyses leverden te weinig informatie op om gebiedsdekkend iets te kunnen zeggen over de uitgangssituatie voor alle kunstwerktypes.

Om bovenstaande redenen is bij de kostenbepaling gewerkt met een generieke aanpak. Binnen KOSWAT zijn voor verschillende typen kunstwerken bij verschillende grootteklassen standaard kostencurves beschikbaar, die het verband beschrijven tussen waterstandsstijging en investeringskosten, in termen van percentage van de vervangingswaarde. Deze kostencurves zijn ontwikkeld binnen het project Waterveiligheid 21^e eeuw op basis van een inventarisatie van een 26 tal kunstwerken door het consortium ARF: Arcadis, Royal Haskoning en Fugro. Voor een schlusluis is bijvoorbeeld gesteld dat voor een kleine verhoging van de waterstand een nieuwe waterkerende deur tot de mogelijkheden behoort, bij grotere waterstandsstijgingen zal iets aan het sluishoofd moeten worden aangepast, maar op een gegeven moment zal het gehele kunstwerk vervangen moeten worden. Op deze manier zijn voor verschillende kunstwerktypen voor verschillende grootteklassen kostencurves afgeleid als percentage van de vervangingswaarde. Meer achtergrond bij de kostencurves is gegeven in de rapportage van WV21 (De Grave, Baarse, 2011).

Om de kunstwerken in het studiegebied aan de kostencurves te kunnen koppelen, zijn alle kunstwerken ingedeeld naar grootteklasse op basis van de beschrijving bij de kunstwerken in het Nationaal kunstwerkenbestand, en een inventarisatie in Google Earth. In Tabel B is weergegeven hoe het totaal van de 308 kunstwerken is verdeeld per type en grootteklasse.

	Ze er klein	Klein	Middel	Groot	Special	Totaal
Schutsluis	19	13	6			38
Keersluis	4	4	1		1	10
Inlaatwerk		13	1			14
Gemaal		29	14	5		48
Uitwateringsslu is	16	11	2			29
Coupure	36	25	49			110
Overige	59					59
Totaal	134	95	73	5	1	308

Tabel B.2 Indeling van kunstwerken in het studiegebied naar type en grootteklasse.

In de tabel is te zien dat de meeste kunstwerken in de categorieën “zeer klein” en “klein” vallen. Van de coupures zijn veruit de meeste (ca. 100 stuks!) te vinden in traject 11-2-1, de primaire kering in de stad Kampen. Zogenaamde vloeddeuren zijn daarbij als “zeer klein” beschouwd, schotbalkkeringen als “klein” en overige coupures als hefdeuren als “middel”. In het studiegebied is één kunstwerk in de categorie “special” aangetroffen, de Balgstuw bij Ramspol. Onder de categorie “Overige” vallen zeer kleine kunstwerken, zoals duikers, hevelleidingen en dergelijken.

Voor alle kunstwerken in het studiegebied is gekeken in welk dijktraject ze vallen. Vervolgens is voor de kunstwerken een referentiebelasting bepaald, een waterstand waarbij het kunstwerk in principe niet versterkt hoeft te worden. Hierbij is uitgegaan van de HR2006 waterstand bij de oude norm (terugkeertijd), met daarbovenop een reserve voor ieder kunstwerk van 25 cm. Met andere woorden, wanneer de waterstand voor een bepaalde peilvariant minder dan 25 cm boven de referentiewaterstand ligt, hoeft het kunstwerk voor die variant niet versterkt te worden, en worden dus geen kosten gerekend. De reserve van 25 cm is ingeschat op basis van de gegevens in de VNK databases voor een beperkt aantal kunstwerken, maar zal in praktijk voor ieder kunstwerk anders zijn.

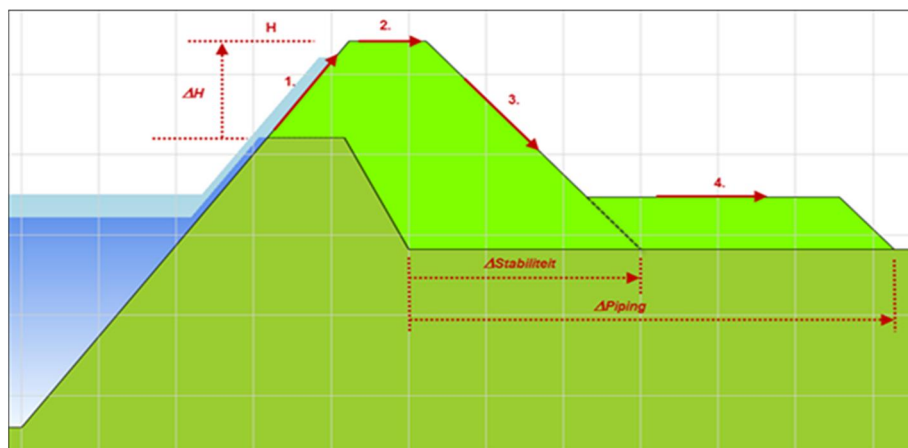
Voor de verschillende peilstrategieën wordt in de analyses voor ieder kunstwerk voor de nieuwe situatie van 2025 bekeken of het kunstwerk nog voldoet (beoordeling aan de hand van de waterstand met een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de normhoogte (maximaal toelaatbare overstromingskans), zoals gesteld in het OI2014). Indien nodig wordt het kunstwerk versterkt voor een periode van 100 jaar (ontwerplevensduur). Wanneer het kunstwerk in 2025 nog voldoet, wordt in de analyses in 2075 opnieuw gekeken. Aan de hand van de waterstandsstijging die gevonden wordt in de ontwerpperiode (ten opzichte van de zogenaamde referentiebelasting waaraan de kunstwerken zouden moeten voldoen) worden voor ieder kunstwerk met de standaard kostencurves uit KOSWAT de kosten bepaald. Deze kosten worden toegevoegd aan de subtrajectkosten.

Bijlage C Het KOSWAT instrumentarium voor bepaling dijkversterkingskosten.

Voor het berekenen van de dijkversterkingskosten maakt de methodiek gebruik van het KOSWAT instrumentarium (KOSTen van versterken van WATERkeringen, zie ook Deltares 2014). De beschrijving van KOSWAT in deze bijlage is afkomstig uit De Grave et al (2017).

KOSWAT is door de jaren heen uitgegroeid tot hét instrument waarmee een zelfde kostenbasis gegeven kan worden aan alle geraamde maatregelen en oplossingen over programma's en projecten heen. Het is gebruikt bij het bepalen van de economisch optimale veiligheidsnormen binnen het Deltaprogramma en bij het vaststellen van een eerste programmaring voor het HWBP.

Om tot een raming van de kosten te komen maakt KOSWAT gebruik van informatie over de dimensies van de huidige dijk, en de ligging van die dijk in zijn omgeving. Op basis van de benodigde toename van de kruinhoogte (ΔH), de toename van de dijkbasis ten behoeve van macrostabiliteit (ΔS) en de toename van dijkbasis ten behoeve van piping (ΔP) wordt een nieuw dijkontwerp vastgesteld (zie Figuur C.1). Deze drie parameters worden bepaald in de methodiek uit de vorige stap. Voor het dijkontwerp in grond wordt in KOSWAT de buitentaludhelling van het bestaande profiel doorgetrokken totdat de vereiste kruinhoogte is bereikt (1). De huidige kruinbreedte blijft ongewijzigd (2). Er wordt een taludverflauwing toegepast om een eventuele macrostabiliteitsopgave op te lossen¹ (3), en eventueel een berm aangelegd als oplossing voor de resterende pipingopgave (4).



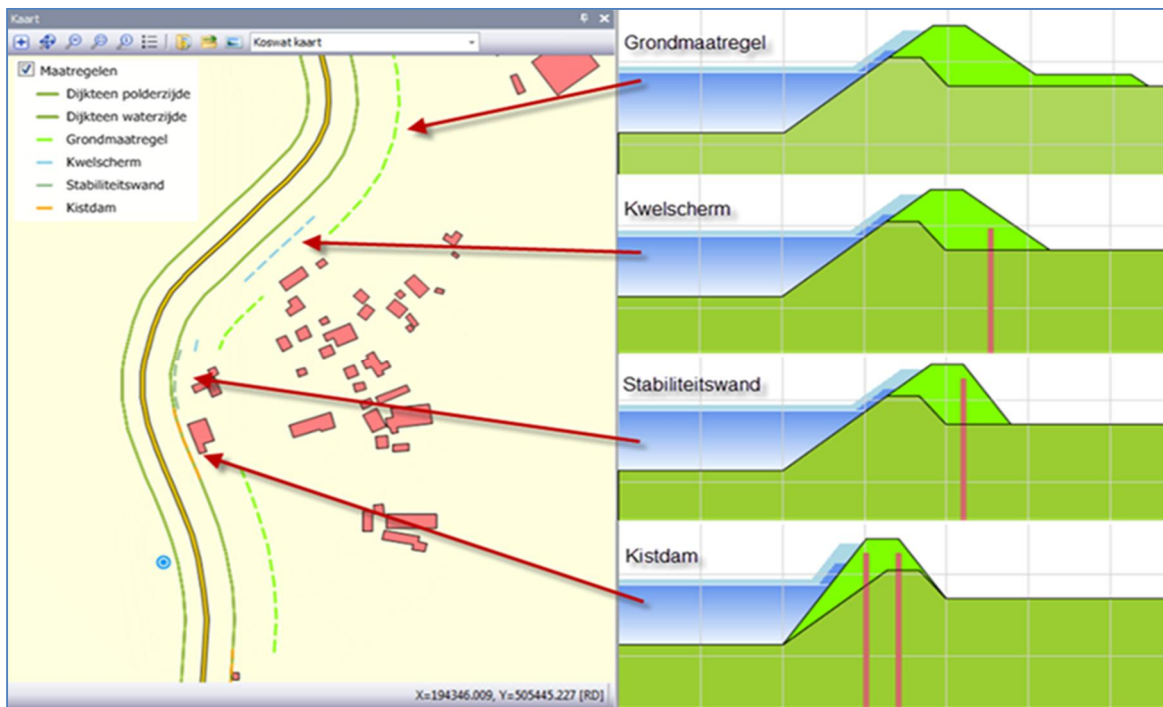
Figuur C.1 Dimensies van een versterkingsmaatregel in grond.

In KOSWAT wordt vervolgens bepaald op welke plaatsen in het dijkvak de dijkversterking daadwerkelijk in grond uitgevoerd kan worden. Op plaatsen waar bebouwing, spoorwegen of grote waterlichamen in de weg liggen, wordt gekozen voor een constructieve maatregel.

Allereerst zal bij een ruimteprobleem getracht worden de opgave op te lossen met een licht kwelscherm (in plaats van de pipingberm), wanneer zelfs daar geen ruimte voor is wordt overgestapt op een stabiliteitswand of zelfs een kistdam. Dit wordt in KOSWAT aangeduid met de zogenaamde verdringingsreeks. De oplossingen vergen

¹ De binnentaludhelling blijft minimaal zo flauw als deze was in de oorspronkelijke dijk

steeds minder ruimte, maar worden wel steeds duurder. KOSWAT ontwerpt op een dijksectie bij een versterking zodoende een mix van maatregelen. Dit betekent dat oplossingen in grond en constructief versnipperd over het een dijkvak gelegen zijn, zie Figuur C.2. Bij de gevonden mix van maatregelen op een dijkvak worden uiteindelijk de kosten bepaald.



Figuur C.2 Mix van maatregelen op een dijkvak.

Bij het ramen van de kosten voor de aanleg van een dijk wordt in KOSWAT rekening gehouden met alle gemaakte kosten. Dus niet alleen de kosten voor het aan te leggen grondlichaam of constructie, maar ook de kosten voor het verwijderen van bekleding, vervangen van weginfrastructuur, aan te kopen gronden, etc. Vanuit de zogenaamde Benoemde Directe Bouwkosten (bepaald op basis van hoeveelheden en eenheidsprijzen) worden de totale investeringskosten bepaald met behulp van opslagfactoren volgens de Standaard Systematiek voor Kostenramingen in de Grond Water en Wegenbouw sector (SSK-2010).

In deze analyse worden in een database allerlei vooraf berekende combinaties van de drie parameters ΔH , ΔS en ΔP klaargezet. Vervolgens wordt vanuit de fragility-curves per mechanisme aangegeven wat de benodigde ΔH , ΔP en ΔS zijn. Uit de database wordt vervolgens bij de juiste combinatie de bijbehorende kostenraming gekozen (al dan niet lineair geïnterpoleerd).

Bijlage D Het model KOWIJS

Het spreadsheetmodel KOWIJS (Kosten Waterafvoermiddelen IJsselmeergebied) is opgesteld om de kosten van waterafvoer in de strategieën voor het peilbeheer te berekenen. In deze bijlage worden de uitgangspunten en gebruikte gegevens van het model KOWIJS toegelicht.

Bij het opstellen van KOWIJS is uitgegaan van dezelfde randvoorwaarden en grondslagen als die van KOSWAT, het model dat gebruikt is om de kosten van keermiddelen te bepalen. KOSWAT is gebaseerd op het kader MKBA MIRT van Rijkswaterstaat en de Algemene Leidraad MKBA van het CPB en het PBL. Daarmee voldoet de studie aan de randvoorwaarden die Rijkswaterstaat en het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat aan MIRT-studies stellen.

Er is gewerkt met de volgende uitgangspunten:

- Er is gewerkt met prijspeil 2014.
- De kostenramingen en kostenprojecties zijn in reële prijzen.
- Er is verdisconteerd naar het jaar 2025.
- Conform de richtlijnen van de ministeries van Financiën en van Infrastructuur en Milieu is een discontovoet van 4,5% toegepast om bedragen te verdisconteren.
- Alle gepresenteerde kosten zijn inclusief BTW.
- Apparaatskosten van RWS (IK gelabeld) en van beheerders van keermiddelen (waterschappen) zijn buitenbeschouwing gelaten.
- Er wordt gewerkt met drie pro forma investeringsmomenten voor waterafvoermiddelen: 2050, 2100 en 2150.
- Er is in principe gekozen voor een doorzichtperiode van 100 jaar, na aanleg van spuisluizen en de eerste gemalen in 2050. Omdat gemalen aanzienlijke kosten hebben voor beheer en onderhoud is echter nog doorgerekend tot 2175, 25 jaar na het laatste investeringsmoment.
- In de kostenramingen zijn alleen die kosten opgenomen die per strategie (significant) verschillen. Kosten die vrijwel gelijk blijven tussen strategieën zijn buiten beschouwing gelaten (bv kosten van spuumiddelen in de Houtribdijk).

KOWIJS vraagt algemene invoergegevens en invoergegevens die specifiek zijn voor een bepaalde strategie.

Algemene invoergegevens kosten gemalen.

Voor de Afsluitdijk en de Houtribdijk is gerekend met eenheden met een pompcapaciteit van 50 m³/s. Waar voor de waterafvoer van de Veluwerandmeren een gemaal nodig is, is gekozen voor een gemaal met een capaciteit van 10 m³/s. Voor de Afsluitdijk is gerekend met een toeslag van 8% op de benodigde pompcapaciteit, in verband met de faalkansen van pompen. Na verhoging van de benodigde capaciteit met 8% is de benodigde pompcapaciteit naar boven afgerond op een veelvoud van 50 m³/s. De kosten van gemalen bestaan uit:

- Investeringskosten
- Kosten voor beheer en onderhoud
- Kosten van vervanging
- Energiekosten.

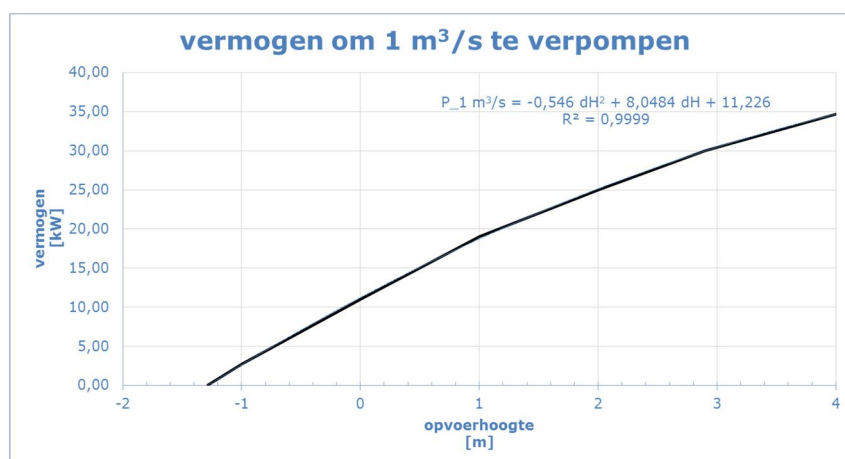
Investeringskosten. De investeringskosten zijn M€ 27 per unit van 50 m³/s en M€ 11 per unit van 10 m³/s. De verdeling van deze kosten over civiel, werktuigbouw

(WTB) en industriële automatisering (IA) is 60-30-10 procent. Deze getallen zijn gebaseerd op gegevens van RWS (Prins, 2016). De Afsluitdijk heeft een iconisch karakter en dat zal ook consequenties hebben voor nieuw te bouwen gemalen. Voor het iconisch/esthetisch uitvoeren van de gemalen op de Afsluitdijk is daarom 5% toegevoegd aan de investering in civiele delen.

Beheer en Onderhoud. Beheer en onderhoudskosten per jaar, exclusief energie en vervanging, zijn geraamd voor civiele, WTB en IA onderdelen op respectievelijk 0,5%, 2,0% en 0,5% van de totale investering. Totaal zijn de jaarlijkse kosten voor beheer en onderhoud dus 3% van het investeringsbedrag. Voor WTB is de intensiteit van onderhoud gekoppeld aan het aantal draaiuren per jaar met een minimum van 2/3 van het normgetal van 4.000 u/jr. Ook de kosten voor beheer en onderhoud zijn gebaseerd op praktijkgegevens van Rijkswaterstaat (Prins, 2016).

Vervanging. Voor de civiele delen is gerekend met een vervangingstermijn van 100 jaar, voor IA onderdelen met een termijn van 10 jaar. Voor WTB-onderdelen is de vervangstermijn gesteld op 200.000 draaiuren, met een maximum van 80 jaar.

Energie. Het energieverbruik wordt berekend op basis van het debiet, opvoerhoogte en een pompcurve (zie Figuur D1). Deze gegevens zijn beschikbaar voor het winterseizoen. Het energieverbruik in de zomer wordt hieruit berekend op basis van de verhouding tussen waterafvoer in zomer en winter. Voor de benodigde aansluitcapaciteit is gerekend met een vermogen van 1600 kW per pompeenheid van 50 m³/s en 480 kW per pompeenheid van 10 m³/s. Voor energiekosten is een onderverdeling gemaakt naar energietransport, energieverbruik en energiebelasting. Er is daarbij uitgegaan van de huidige tarieven. Voor een hogere bedrijfszekerheid is uitgegaan van een dubbele aansluiting voor de gemalen op de Afsluitdijk. De aanlegkosten van de eerste aansluiting zijn opgenomen in het investeringsbedrag voor een gemaal-eenheid. De kosten voor de tweede aansluiting zijn opgenomen in de energiekosten. Tabel D1 en D2 geven een overzicht van de gebruikte tarieven.



Figuur D.1 De pompcurve die in KOWIJS wordt gebruikt om het energieverbruik te berekenen.

Kosten energietransport en verbruik (incl. BTW)		
Aansluitkosten	199.650	€/jr/20MVA
Vastrecht	278,30	€/mnd
Gecontracteerd vermogen	2,27	€/kW/mnd
Max. Transportvermogen	2,50	€/kW/mnd
Energieverbruik	0,06524 (gemiddeld over hoog en laag tarief)	€/kWh

Tabel D1 Kosten van energietransport en energieverbruik

	Energiebelasting [€/MWh, incl. BTW]	Opslag duurzame energie [€/kWh, incl. BTW]
Staffel 1: < 10 MWh	122,57	8,95
Staffel 2: 10-50 MWh	59,30	14,88
Staffel 3: 50-9.950 MWh	15,79	3,99
Staffel 4: >10.000	0,64	0,16

Tabel D2 Energiebelastingen

Algemene invoergegevens kosten spuisluizen

Voor spuisluizen in de Afsluitdijk is gerekend met de huidige spuicapaciteit of een verdubbeling van de huidige spuicapaciteit. Nieuwe spuisluizen worden aangelegd in 2050, het eind van de technische levensduur van de bestaande spuisluizen. De investeringskosten van de spuisluizen zijn gebaseerd op de kostenraming van het project Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk. De kosten voor een spuicomplex met een capaciteit gelijk aan de huidige zijn 223 M€ (raming van het project ESA, verhoogd met 10% om te corrigeren van prijspeil 2009 naar prijspeil 2015 en 5% toeslag op het cultuurtechnische deel voor iconische uitvoering).

In overleg met de kostenpool van RWS zijn verder de volgende uitgangspunten gekozen:

- De investeringskosten zijn verdeeld over de onderdelen civiel, werktuigbouw (WTB) en industriële automatisering (IA) als 75-12,5-12,5 procent.
- Periodieke vervanging van de civiele, WTB en IA onderdelen gebeurt resp. iedere 150, 30 en 10 jaar. Er is gekozen voor 150 jaar voor het cultuurtechnisch werk, omdat met de gebruikelijke 100 jaar volledige vervanging van de spuisluizen net aan het eind van de analyseperiode zou plaatsvinden. Het is echter heel waarschijnlijk dat vervanging van de spuisluizen dan niet zinvol meer is.
- De kosten van beheer en onderhoudskosten per zijn voor civiele, WTB en IA onderdelen respectievelijk 0,5%, 2,0% en 0,5% van het totale investeringsbedrag. Totaal zijn de jaarlijkse kosten voor beheer en onderhoud dus 3% van het investeringsbedrag.
- Energieverbruik is geraamd op basis van benodigd vermogen en aantal draaiuren per jaar. Het energieverbruik van spuumiddelen is zeer gering in relatie tot de overige kosten.

Specifieke invoergegevens per strategie

De strategie-specifieke invoergegevens betreffen de capaciteit van spuisluizen en pompen en gegevens over de inzet van pompen. KOWIJS rekent met investeringen

eens in de 50 jaar, overeenkomstig de opzet van ISWP. Investerings vinden plaats in 2050, 2100 en 2150 en gedurende 50 jaar wordt gerekend met gelijkblijvende pompcapaciteiten en afvoergegevens. Deze gegevens zijn berekend voor het midden van de 50-jarige perioden, dus voor 2075, 2125 en 2175. De kostenberekeningen worden uitgevoerd voor de periode 2050 t/m 2175.

De benodigde specifieke invoergegevens zijn:

- capaciteit spuisluizen Afsluitdijk;
- pompcapaciteit Afsluitdijk, Houtribdijk en Veluwerandmeren;
- pompduur in het winterseizoen;
- gemiddelde positieve en negatieve opvoerhoogte van de pompen (alleen voor Markermeer en IJsselmeer);
- gemiddeld pompdebiet in het winterseizoen (alleen Markermeer en IJsselmeer).

Op het eerste punt na komen deze gegevens uit berekeningen met het model DEZY.

Bijlage E Resultaten berekeningen pompcapaciteit en –duur

Benodigde pompcapaciteit voor het IJsselmeer (berekend bij 150 m³ pompcapaciteit op de Houtribdijk), de pompduur als percentage van het winterseizoen en de in de winter verpompte hoeveelheid water.

		2075			2125			2175		
Strategie en Spuicapaciteit		Pomp-capaciteit [m ³ /sec]	Pomp-duur winter	Verpompt water [*10 ⁹ m ³]	Pomp-capaciteit [m ³ /sec]	Pomp-duur winter	Verpompt water [*10 ⁹ m ³]	Pomp-capaciteit [m ³ /sec]	Pomp-duur winter	Verpompt water [*10 ⁹ m ³]
1a	100%	1400	46%	10	2500	34%	13	3200	29%	13
	200%	500	72%	6	2200	39%	13	3100	30%	13
1b	100%	800	71%	9	1000	78%	12	1200	70%	12
	200%	500	72%	6	1000	76%	12	1200	70%	12
1c	100%	1200	52%	10	1900	45%	13	2100	44%	13
	200%	800	56%	7	1800	47%	12	2100	44%	13
2a	0%	2700	29%	12	3000	28%	13	3200	28%	13
	100%	1100	45%	8	2000	39%	12	2900	31%	13
	200%	100	59%	1	1600	46%	11	2700	33%	13
2a v*	100%	1100	45%	8	1900	42%	12	2600	35%	13
	200%	100	59%	1	1500	49%	11	2400	37%	13
2b	100%	600	67%	6	1000	71%	11	1100	73%	12
	200%	200	56%	2	900	72%	10	1100	72%	11
2c	100%	900	52%	7	1700	46%	12	2000	44%	13
	200%	400	49%	3	1500	48%	11	2000	44%	13
3a	0%	2700	29%	12	3000	27%	13	3100	28%	13
	100%	1100	45%	8	1800	41%	11	2500	34%	13
	200%	100	59%	1	1100	54%	9	2200	38%	12
3a v*	100%	1100	45%	8	1700	43%	11	2300	37%	13
	200%	100	59%	1	1100	55%	9	2000	42%	12
3b	100%	600	67%	6	900	72%	10	1000	77%	12
	200%	200	56%	2	800	68%	8	1000	75%	11
3c	100%	900	52%	7	1500	48%	11	1900	44%	12
	200%	400	49%	3	1200	51%	9	1800	46%	12

Bijlage F Overzicht varianten in de kostenberekeningen

Strategie	Variant waterafvoer		Zichtjaar	Pompen Afsluitdijk [m³/s]	Pompen Houtribdijk [m³/s]	Pompen randmeren [m³/s]
	Cap. spui Afsluitdijk	Pompen Markermeer				
1a	100%	nee	2075	1200	0	0
			2125	2400	0	0
			2175	3100	0	0
1a	100%	ja	2075	1300	100	0
			2125	2500	150	0
			2175	3200	150	0
1a	200%	nee	2075	500	0	0
			2125	2000	0	0
			2175	3000	0	0
1a	200%	ja	2075	500	100	0
			2125	2200	150	0
			2175	3100	150	0
1b	100%	ja	2075	700	100	10
			2125	1000	150	10
			2175	1200	150	10
1c	100%	ja	2075	1100	100	10
			2125	1900	150	10
			2175	2100	150	10
2a	0%	ja	2075	2600	100	10
			2125	3000	150	10
			2175	3200	150	10
2a	100%	ja	2075	1000	100	10
			2125	2000	150	10
			2175	2900	150	10
2a	200%	ja	2075	0	100	10
			2125	1600	150	10
			2175	2700	150	10
2b	100%	ja	2075	600	100	10
			2125	1000	150	10
			2175	1100	150	10
2c	100%	ja	2075	900	100	10
			2125	1700	150	10
			2175	2000	150	10
3a	100%	ja	2075	1100	100	10
			2125	1800	150	10
			2175	2500	150	10
3a	200%	ja	2075	100	100	10
			2125	1100	150	10
			2175	2200	150	10
3b	100%	ja	2075	600	100	10
			2125	900	150	10
			2175	1000	150	10
3c	100%	ja	2075	900	100	10
			2125	1500	150	10
			2175	1900	150	10

Bijlage G

Berekende waterstanden en hydraulische belastingniveaus voor 2175

Deze bijlage bevat de berekende waterstanden (bij twee overschrijdingskansen) en hydraulische belastingniveaus (HBN) in 2175 (in m NAP). De hydraulische belastingniveaus zijn berekend bij een overslagdebiet van 5 l/m/s voor de oude dijken van Noord Holland, Friesland en de IJssel-Vechtdelta en 10 l/m/s voor de dijken van de Wieringermeer, Noordoostpolder en Oostelijk Flevoland. De tabel geeft de rekenresultaten voor strategie 1 (0 cm stijging gemiddeld winterpeil) en strategie 3 (60 cm stijging gemiddeld winterpeil) weer. In alle gevallen is de pompcapaciteit van het Markermeer 150 m³/s. De dijktrajecten zijn te vinden in Figuur 4.10.

Locatie	Strategie 1a			Strategie 1b			Strategie 1c			Strategie 3a			Strategie 3b			Strategie 3c		
	Waterstand [m NAP]		HBN [m NAP]	Waterstand [m NAP]		HBN [m NAP]	Waterstand [m NAP]		HBN [m NAP]	Waterstand [m NAP]		HBN [m NAP]	Waterstand [m NAP]		HBN [m NAP]	Waterstand [m NAP]		HBN [m NAP]
Dijktraject	1:10 ¹	1:10 ⁵	1:10 ⁵	1:10 ¹	1:10 ⁵	1:10 ⁵	1:10 ¹	1:10 ⁵	1:10 ⁵	1:10 ¹	1:10 ⁵	1:10 ⁵	1:10 ¹	1:10 ⁵	1:10 ⁵	1:10 ¹	1:10 ⁵	1:10 ⁵
Oude dijken																		
13-6-1	0,13	1,55	2,55	1,25	2,62	3,86	0,48	2,18	3,15	0,77	2,18	3,40	1,66	2,87	4,29	1,06	2,46	3,69
13-6-2	0,09	1,53	6,97	1,22	2,60	7,49	0,44	2,16	7,09	0,74	2,16	7,97	1,64	2,86	8,30	1,04	2,45	8,03
6-1-1	0,62	1,87	2,04	1,36	2,97	3,85	0,73	2,51	3,09	1,16	2,53	3,11	1,80	3,23	4,28	1,27	2,81	3,58
6-1-2	0,55	1,80	2,19	1,33	2,93	3,60	0,69	2,47	3,00	1,14	2,48	3,01	1,77	3,19	3,95	1,24	2,77	3,39
6-1-3	0,15	1,55	2,63	1,24	2,63	4,18	0,48	2,19	3,49	0,77	2,19	3,52	1,66	2,89	4,59	1,06	2,47	3,95
6-2-1	0,54	1,83	3,01	1,33	2,93	4,23	0,68	2,48	3,58	1,14	2,49	3,74	1,77	3,19	4,63	1,24	2,78	4,05
6-2-2	0,76	2,55	3,79	1,43	3,06	4,29	0,88	2,70	3,89	1,32	2,93	4,31	1,86	3,33	4,71	1,41	3,02	4,38
9-1-1	1,33	2,72	3,27	1,82	3,53	4,09	1,47	3,09	3,59	1,65	3,13	3,67	2,15	3,90	4,68	1,78	3,40	4,01
9-2-1	1,24	2,65	3,20	1,62	3,45	5,64	1,39	3,05	4,10	1,45	3,05	4,03	2,01	3,72	6,36	1,60	3,31	5,13
10-1-1	0,78	2,56	3,08	1,73	3,43	3,96	1,20	2,98	3,43	1,49	3,00	3,51	2,08	3,78	4,58	1,65	3,29	3,87
10-1-2	1,21	2,44	2,94	1,68	3,42	4,36	1,37	2,95	3,50	1,50	3,00	3,86	2,04	3,76	5,58	1,69	3,30	4,53
10-1-3	1,87	3,78	5,47	2,32	4,12	5,80	2,02	3,94	5,63	2,17	3,98	5,63	2,59	4,26	6,00	2,30	4,09	5,82
11-2-1	1,00	3,68	5,20	2,08	3,98	5,83	1,58	3,81	5,48	1,84	3,86	5,60	2,41	4,14	6,28	2,05	3,98	5,92
Nieuwe dijken																		
12-2-1	0,21	1,58	3,44	1,28	2,65	4,38	0,53	2,22	3,74	0,83	2,21	4,33	1,69	2,90	4,89	1,10	2,49	4,45
12-2-2	0,15	1,56	4,70	1,26	2,63	5,30	0,49	2,19	4,83	0,78	2,19	5,55	1,67	2,88	5,94	1,07	2,47	5,62
7-1-1	1,06	2,33	2,53	1,61	3,35	3,58	1,24	2,90	3,10	1,41	2,91	3,13	2,00	3,63	3,91	1,62	3,20	3,43
7-2-1	1,02	3,34	5,70	1,65	3,62	5,87	1,14	3,39	5,74	1,61	3,66	6,17	2,13	3,92	6,35	1,70	3,70	6,19
7-2-2	0,76	2,87	6,28	1,45	3,20	6,54	0,90	2,93	6,34	1,35	3,29	6,99	1,88	3,52	7,21	1,44	3,33	7,03
7-2-3	0,64	2,27	5,46	1,38	3,00	6,12	0,77	2,58	5,60	1,23	2,76	6,48	1,82	3,26	6,92	1,33	2,91	6,55
7-2-4	0,67	2,22	4,94	1,40	3,02	5,79	0,80	2,58	5,13	1,26	2,73	6,00	1,84	3,28	6,57	1,36	2,91	6,10
8-3-2	0,72	2,79	6,99	1,42	3,14	7,32	0,86	2,86	7,06	1,30	3,22	7,86	1,85	3,45	8,14	1,40	3,26	7,90
8-4-1	1,03	3,42	5,60	1,64	3,65	5,77	1,15	3,45	5,64	1,61	3,74	6,09	2,11	3,95	6,27	1,70	3,77	6,12
gemiddeld	0,75	2,40	4,18	1,52	3,18	5,08	0,97	2,80	4,55	1,30	2,89	4,91	1,93	3,45	5,65	1,46	3,10	5,17

Bijlage H Kosten van de versterking van keringen per versterkingsmoment

Deze bijlage geeft de kosten van de versterking van de keringen weer, in miljarden euro's (afgerond op 0,1 miljard). De getallen geven de som van de kosten voor dijkversterking, aanpassing dijkbekleding en versterking van kunstwerken weer, voor het gehele projectgebied.

Nr.	strategie	Waterafvoer		Kosten [miljard €]			
		Spuicapaciteit IJsselmeermeer	Pompen Markermeer	2025	2075	2125	totaal
1	1a	100%	nee	2,3	0,4	0,4	3,2
2	1a	100%	ja	2,3	0,4	0,5	3,2
3	1a	200%	nee	2,4	0,5	0,4	3,3
4	1a	200%	ja	2,4	0,4	0,4	3,1
5	1b	100%	ja	2,7	1,8	1,8	6,4
6	1c	100%	ja	2,4	0,9	1,2	4,4
7	2a	0%	ja	2,3	1,3	1,0	4,6
8	2a	100%	ja	2,6	1,5	0,5	4,6
9	2a	200%	ja	2,7	1,3	0,5	4,6
10	2b	100%	ja	2,9	2,2	2,1	7,2
11	2c	100%	ja	2,7	1,7	1,5	5,9
12	3a	100%	ja	2,6	1,9	1,4	5,9
13	3a	200%	ja	2,7	1,9	1,3	6,0
14	3b	100%	ja	2,9	2,4	2,5	7,8
15	3c	100%	ja	2,7	2,0	2,1	6,8

Bijlage I Kosten waterafvoer per periode

Deze bijlage geeft de kosten van waterafvoer weer, in miljarden euro's (afgerond op 0,1 miljard). Het gaat om pompen voor het IJsselmeer, het Markermeer en de Veluwerandmeren en om de spuisluizen in de Afsluitdijk. Niet meegenomen zijn de kosten van de bestaande spuisluizen voor Markermeer en Veluwerandmeren. De kosten omvatten investeringen, vervangingsinvesteringen, beheer & onderhoud en energie.

strategie	Variant waterafvoer		Kosten [miljard €]			
	Spuicapaciteit IJsselmeermeer	Pompen Markermeer	2025-2075	2076-2125	2126-2175	totaal
1a	100%	nee	2,0	3,7	4,6	10,3
1a	100%	ja	2,2	4,0	5,0	11,2
1a	200%	nee	1,6	3,7	5,2	10,5
1a	200%	ja	1,7	4,0	5,1	10,9
1b	100%	ja	1,7	2,9	3,4	8,0
1c	100%	ja	2,0	3,5	4,3	9,8
2a	0%	ja	3,1	3,6	5,4	12,1
2a	100%	ja	1,8	3,3	4,6	9,7
2a	200%	ja	1,0	3,4	4,8	9,3
2b	100%	ja	1,4	2,5	3,2	7,1
2c	100%	ja	1,7	3,1	4,1	9,0
3a	100%	ja	1,8	3,1	4,3	9,3
3a	200%	ja	1,0	2,8	4,2	8,0
3b	100%	ja	1,4	2,3	3,1	6,9
3c	100%	ja	1,7	2,9	3,9	8,5

Bijlage J Opbouw van de kosten voor waterafvoer

1 Strategie 1a, spui IJsselmeer 100%, Markermeer spuien					
	Kosten [miljard €]				
	Investering	Vervanging	B&O	Energie	Totaal
Gemalen Afsluitdijk	1,89	2,11	3,39	1,46	8,85
Gemaal Houtribdijk	-	-	-	-	-
Gemaal Veluwe-randmeren	-	-	-	-	-
Spuisluizen Afsluitdijk	0,23	0,47	0,70	0,00	1,41
Totaal	2,13	2,58	4,09	1,46	10,26

2 Strategie 1a, spui IJsselmeer 100%, Markermeer pompen&spuien					
	Kosten [miljard €]				
	Investering	Vervanging	B&O	Energie	Totaal
Gemalen Afsluitdijk	1,97	2,29	3,56	1,48	9,30
Gemaal Houtribdijk	0,08	0,14	0,18	0,06	0,46
Gemaal Veluwe-randmeren	-	-	-	-	-
Spuisluizen Afsluitdijk	0,23	0,47	0,70	0,00	1,41
Totaal	2,29	2,89	4,44	1,55	11,17

3 Strategie 1a, spui IJsselmeer 200%, Markermeer spuien					
	Kosten [miljard €]				
	Investering	Vervanging	B&O	Energie	Totaal
Gemalen Afsluitdijk	1,84	1,77	2,85	1,23	7,69
Gemaal Houtribdijk	-	-	-	-	-
Gemaal Veluwe-randmeren	-	-	-	-	-
Spuisluizen Afsluitdijk	0,47	0,94	1,40	0,00	2,81
Totaal	2,30	2,71	4,25	1,23	10,50

4 Strategie 1a, spui IJsselmeer 200%, Markermeer pompen&spuien					
	Kosten [miljard €]				
	Investering	Vervanging	B&O	Energie	Totaal
Gemalen Afsluitdijk	1,89	1,57	2,87	1,26	7,58
Gemaal Houtribdijk	0,08	0,14	0,18	0,07	0,47
Gemaal Veluwe-randmeren	-	-	-	-	-
Spuisluizen Afsluitdijk	0,47	0,94	1,40	0,00	2,81
Totaal	2,44	2,64	4,46	1,32	10,86

5 Strategie 1b, spui IJsselmeer 100%, Markermeer pompen&spuien					
	Kosten [miljard €]				
	Investering	Vervanging	B&O	Energie	Totaal
Gemalen Afsluitdijk	0,78	1,29	2,92	1,09	6,08
Gemaal Houtribdijk	0,08	0,14	0,18	0,07	0,48
Gemaal Veluwe-randmeren	0,01	0,02	0,03	0,01	0,07
Spuisluizen Afsluitdijk	0,23	0,47	0,70	0,00	1,41
Totaal	1,11	1,92	3,84	1,17	8,03

6 Strategie 1c, spui IJsselmeer 100%, Markermeer pompen&spuien					
	Kosten [miljard €]				
	Investering	Vervanging	B&O	Energie	Totaal
Gemalen Afsluitdijk	1,31	2,13	3,08	1,34	7,86
Gemaal Houtribdijk	0,08	0,14	0,18	0,07	0,47
Gemaal Veluwe-randmeren	0,01	0,02	0,03	0,01	0,07
Spuisluizen Afsluitdijk	0,23	0,47	0,70	0,00	1,41
Totaal	1,64	2,76	3,99	1,41	9,80

7 Strategie 2a, spui IJsselmeer 0%, Markermeer pompen&spuien					
	Kosten [miljard €]				
	Investering	Vervanging	B&O	Energie	Totaal
Gemalen Afsluitdijk	1,97	3,53	4,43	1,64	11,57
Gemaal Houtribdijk	0,08	0,14	0,18	0,08	0,48
Gemaal Veluwe-randmeren	0,01	0,02	0,03	0,01	0,07
Spuisluizen Afsluitdijk	-	-	-	-	-
Totaal	2,07	3,69	4,64	1,72	12,12

8 Strategie 2a, spui IJsselmeer 100%, Markermeer pompen&spuien					
	Kosten [miljard €]				
	Investering	Vervanging	B&O	Energie	Totaal
Gemalen Afsluitdijk	1,78	1,82	2,92	1,24	7,77
Gemaal Houtribdijk	0,08	0,14	0,18	0,08	0,48
Gemaal Veluwe-randmeren	0,01	0,02	0,03	0,01	0,07
Spuisluizen Afsluitdijk	0,23	0,47	0,70	0,00	1,41
Totaal	2,11	2,45	3,84	1,34	9,72

9 Strategie 2a, spui IJsselmeer 200%, Markermeer 2, pompen&spuien					
	Kosten [miljard €]				
	Investering	Vervanging	B&O	Energie	Totaal
Gemalen Afsluitdijk	1,64	1,40	1,98	0,87	5,91
Gemaal Houtribdijk	0,08	0,14	0,18	0,08	0,48
Gemaal Veluwe-randmeren	0,01	0,02	0,03	0,01	0,07
Spuisluizen Afsluitdijk	0,47	0,94	1,40	0,00	2,81
Totaal	2,20	2,51	3,61	0,97	9,25

10 Strategie 2b, spui IJsselmeer 100%, Markermeer pompen&spuien					
	Kosten [miljard €]				
	Investering	Vervanging	B&O	Energie	Totaal
Gemalen Afsluitdijk	0,70	1,13	2,42	0,92	5,18
Gemaal Houtribdijk	0,08	0,14	0,18	0,08	0,48
Gemaal Veluwe-randmeren	0,01	0,02	0,03	0,01	0,07
Spuisluizen Afsluitdijk	0,23	0,47	0,70	0,00	1,41
Totaal	1,02	1,76	3,35	1,02	7,13

11 Strategie 2c, spui IJsselmeer 100%, Markermeer pompen&spuien					
	Kosten [miljard €]				
	Investering	Vervanging	B&O	Energie	Totaal
Gemalen Afsluitdijk	1,25	1,87	2,73	1,15	7,00
Gemaal Houtribdijk	0,08	0,14	0,18	0,08	0,48
Gemaal Veluwe-randmeren	0,01	0,02	0,03	0,01	0,07
Spuisluizen Afsluitdijk	0,23	0,47	0,70	0,00	1,41
Totaal	1,58	2,50	3,65	1,25	8,96

12 Strategie 3a, spui IJsselmeer 100%, Markermeer pompen&spuien					
	Kosten [miljard €]				
	Investering	Vervanging	B&O	Energie	Totaal
Gemalen Afsluitdijk	1,56	1,87	2,73	1,15	7,31
Gemaal Houtribdijk	0,08	0,14	0,18	0,08	0,48
Gemaal Veluwe-randmeren	0,01	0,02	0,03	0,01	0,07
Spuisluizen Afsluitdijk	0,23	0,47	0,70	0,00	1,40
Totaal	1,88	2,50	3,64	1,24	9,26

13 Strategie 3a, spui IJsselmeer 200%, Markermeer pompen&spuien					
	Kosten [miljard €]				
	Investering	Vervanging	B&O	Energie	Totaal
Gemalen Afsluitdijk	1,33	1,00	1,62	0,70	4,65
Gemaal Houtribdijk	0,08	0,14	0,18	0,09	0,49
Gemaal Veluwe-randmeren	0,01	0,02	0,03	0,01	0,07
Spuisluizen Afsluitdijk	0,47	0,94	1,40	0,00	2,81
Totaal	1,89	2,10	3,23	0,80	8,02

14 Strategie 3b, spui IJsselmeer 100%, Markermeer pompen&spuien					
	Kosten [miljard €]				
	Investering	Vervanging	B&O	Energie	Totaal
Gemalen Afsluitdijk	0,64	1,08	2,33	0,86	4,90
Gemaal Houtribdijk	0,08	0,14	0,18	0,09	0,49
Gemaal Veluwe-randmeren	0,01	0,02	0,03	0,01	0,07
Spuisluizen Afsluitdijk	0,23	0,47	0,70	0,00	1,41
Totaal	0,96	1,71	3,24	0,96	6,87

15 Strategie 3c, spui IJsselmeer 100%, Markermeer pompen&spuien					
	Kosten [miljard €]				
	Investering	Vervanging	B&O	Energie	Totaal
Gemalen Afsluitdijk	1,17	1,75	2,57	1,07	6,55
Gemaal Houtribdijk	0,08	0,14	0,18	0,09	0,49
Gemaal Veluwe-randmeren	0,01	0,02	0,03	0,01	0,07
Spuisluizen Afsluitdijk	0,23	0,47	0,70	0,00	1,41
Totaal	1,49	2,38	3,48	1,17	8,51

In 2016 zijn pilotberekeningen uitgevoerd voor de analyse van de peilstrategieën in het IJsselmeergebied (Remmelzwaal et al, 2017). Deze bijlage geeft aan op welke punten de in dit rapport beschreven berekeningen verschillen van die in 2016. Daarbij wordt ingegaan op de DEZY berekeningen, de berekeningen van de kosten van de versterkingen van de keringen en de berekeningen van de kosten van waterafvoer. Tot slot wordt een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van beide jaren.

DEZY-berekeningen

In het model DEZY zijn een aantal aanpassingen gemaakt in het model zelf en in de gekozen instellingen:

- De waterafvoer van gemaal Zeeburg ($57 \text{ m}^3/\text{s}$) is toegevoegd aan het Markermeer, waardoor de extreme peilen op het Markermeer met enkele centimeters toenemen. Dit gebeurt zowel in de referentiesituatie 2015 als in toekomstige situaties.
- De nieuw te bouwen gemalen bij Schardam en Monnickendam (met een gezamenlijke capaciteit $53 \text{ m}^3/\text{s}$) zijn toegevoegd en worden gebruikt in de berekeningen voor toekomstige situaties (niet voor de berekeningen van de referentiesituatie). Om te zorgen dat pieken niet toenemen ten opzichte van de referentie is hierdoor zowel op de Houtribdijk als op de Afsluitdijk $50 \text{ m}^3/\text{s}$ extra pompcapaciteit nodig.
- In de pilotberekeningen werd er alleen gepompt als er niet gespuid kan worden. Er is een aanpassing in DEZY gedaan, waardoor er ook voor gekozen kan worden om te pompen als er ook gespuid kan worden. Deze optie is in de definitieve berekeningen gebruikt voor de Afsluitdijk en leidt ertoe dat in een aantal situaties de benodigde pompcapaciteit lager is. Dit geldt met name voor de strategieën bij de berekeningen voor het jaar 2075.
- In tegenstelling tot de vorige berekeningen wordt bij varianten met een verdubbeling van de spuicapaciteit alle extra spuicapaciteit bij Kornwerderzand gerealiseerd. Aangezien de spui mogelijkheden bij Kornwerderzand gemiddeld genomen iets beter zijn, leidt dat bij varianten met een verdubbeling van de spuicapaciteit tot lagere meerpeilen en dus een iets lagere benodigde pompcapaciteit in vergelijkbare situaties.
- De default tijdstap is verkleind van 3 naar 2 uur. Deze verfijnde tijdstap is ook in de hier gepresenteerde berekeningen toegepast. Het effect hiervan op de meerpeilen is echter heel klein.

Kosten dijkversterkingen

In de berekening van de dijkversterkingskosten zijn, afgezien van kleine correcties, de volgende wijzigingen aangebracht:

- Er zijn enkele ontbrekende dijktrajecten toegevoegd: Eemvallei, Afsluitdijk (alleen voor bekleding binnenzijde), Nijkerkersluis en Kadoelersluis.
- Er zijn kosten voor dijkbekledingen en kunstwerken toegevoegd.
- De fragility-curves zijn aangepast, op basis van geoptimaliseerde keuze van representatieve dijklocaties per traject.
- Er wordt in de berekeningen niet meer gewerkt met een algemene onzekerheidstoelag, maar in de Hydra-berekeningen is de modus modelonzekerheden ingeschakeld.

Kosten waterafvoer

In KOWIJS zijn de volgende zaken veranderd in de berekening van de afvoerkosten:

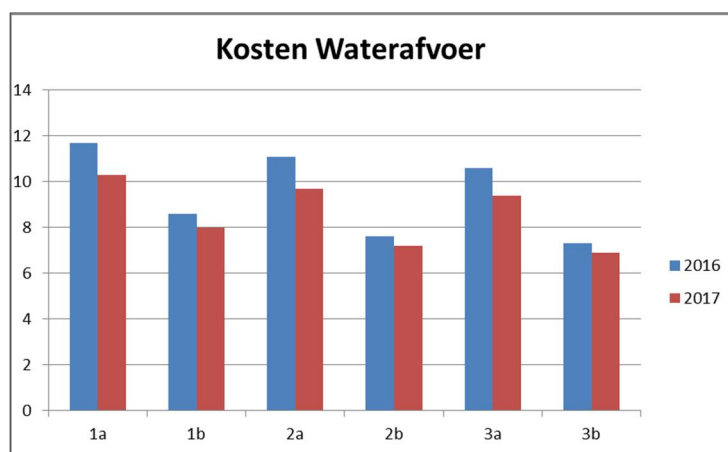
- Er is een energiemodule gemaakt die de benodigde energie berekent uit de afgevoerde hoeveelheid water, de opvoerhoogte en pompkarakteristieken. De energiekosten worden vervolgens berekend op basis van de bestaande tarieven voor energielevering, energieverbruik en energiebelastingen. De energiekosten zijn hierdoor lager dan in de pilotberekeningen, waarin een veel grovere methode werd gehanteerd.
- De investeringskosten voor spuismiddelen zijn gebaseerd op de ramingen die voor het project Extra Spui Afsluitdijk zijn gemaakt. Deze ramingen zijn betrouwbaarder dan de gegevens van de kostenpool van Rijkswaterstaat, omdat ze specifiek zijn gericht op het type spuisluizen dat nodig is in de Afsluitdijk. De investeringskosten van een spuisluizencomplex met de capaciteit van de huidige spuisluizen nemen hierdoor toe van 165 naar 234 M€.
- Pompen die de vervangingsnorm van 200.000 draaiuren niet halen worden na 80 jaar toch vervangen.
- De toeslag op de kosten van eenemaal van de Afsluitdijk om het gebouw te laten passen bij het iconische karakter van de Afsluitdijk is verlaagd van 10% van de totale investeringskosten naar 5% over het civieltechnische deel van de investeringskosten.

Vergelijking resultaten

Er is een vergelijking gemaakt voor de strategieën die in beide jaren zijn opgenomen. Daarbij geldt dat in strategie 1a de variant zonder pompen op de Houtribdijk is gebruikt. In hoofdstuk 5 is voor 1a de variant met pompen op de Houtribdijk gebruikt, zodat daar bij 1a andere kosten zijn weergegeven.

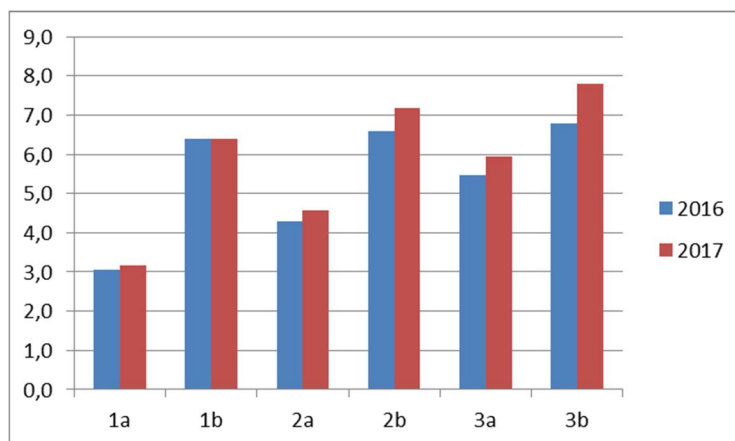
Figuur K.1 laat zien dat de veranderingen een beperkt effect hebben op de kosten van waterafvoer:

1. De kosten van waterafvoer zijn iets gedaald t.o.v. 2016.
2. Het patroon is op hoofdlijnen gelijk gebleven, maar doordat de kosten van de a-strategieën sterker zijn gedaald dan van de b-strategieën zijn de verschillen tussen a en b wat kleiner geworden.



Figuur K.1: Vergelijking kosten waterafvoer in de pilotberekeningen (2016) en de definitieve berekeningen (2017) in zes strategieën (in miljard €).

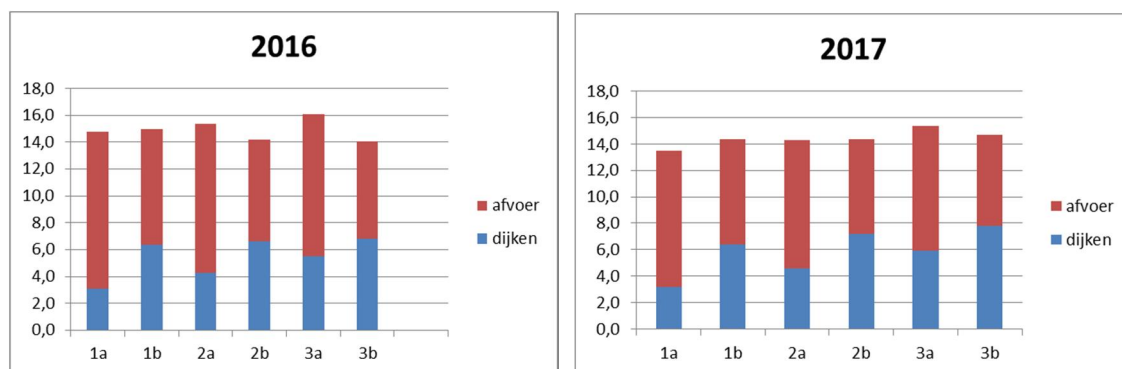
Figuur K.2 laat zien dat de kosten van dijkversterkingen in de meeste gevallen iets zijn gestegen ten opzichte van 2016. Bij gelijkblijvend winterpeil (1a en 1b) is er nauwelijks sprake van een stijging, bij stijgend winterpeil is die er wel. Daarbij geldt dat de stijging in de b-strategieën sterker is dan in de a-strategieën. De stijging van de kosten is in de meeste gevallen een combinatie van iets lagere dijkversterkingskosten en de toevoeging van de kosten voor dijkbekleding en kunstwerken. De kosten van dijkbekledingen en kunstwerken blijken klein te zijn ten opzichte van de kosten van de versterking van de dijklichamen.



Figuur K.2: Vergelijking kosten dijkversterkingen in de pilotberekeningen (2016) en de definitieve berekeningen (2017) in zes strategieën (in miljard €).

Totale kosten

In Figuur K.3 zijn de totale kosten in de berekeningen van 2016 en 2017 weergegeven. Hierin is te zien dat alle aanpassingen in 2017 nauwelijks hebben geleid tot verandering in het kostenniveau. De verschillen in kosten tussen de strategieën zijn in beide jaren klein. Het opvallendste verschil tussen de rekenresultaten van 2016 en die van 2017 is dat de kosten van de strategieën 2b en 3b iets zijn toegenomen.



Figuur K.3: Vergelijking totale kosten van zes strategieën (in miljard €) in de pilotberekeningen (2016) en de definitieve berekeningen (2017).