

ONTWERPNOTITIE ZEEWAARTS KUSTBASSIN

24 augustus 2023

1 Focus op civieltechnisch ontwerp van een kustbassin

Het consortium Zeewaarts onderzoekt de mogelijkheden om met fysieke ingrepen de waterveiligheid (rivier en kust) en waterbeschikbaarheid (zoet en schoon) te garanderen bij substantieel hogere zeewaterstanden. Tijdens een aantal hackatons is met deskundigen vastgesteld dat de grootste ontwerpogave zich voordoet in het RijnMaasmond gebied. Dat is het gebied in het zuidwesten van Nederland waar extreme rivierafvoer wordt bemoeilijkt door een hogere zeespiegelstand. Zonder ingrepen kan dan de wettelijke veiligheid tegen overstroming niet worden gegarandeerd.

Langs de Noord- en Zuid-Hollandse kust speelt kustveiligheid op termijn. Uit verkennende berekeningen van het kernteam blijkt dat kustveiligheid tot een zeespiegelstijging van enkele meters relatief eenvoudig is op te lossen door extra zand aan het kust- en duinprofiel toe te voegen. Zodra de stijgsnelheid van de zeespiegelstijging toeneemt zal er telkens meer zand op het strand en in de duinen zelf moeten worden geplaatst, maar dit is qua zandbeschikbaarheid, noch qua kosten en uitvoering onoverkomelijk. Het gaat daarbij op termijn om extra zand in het kustprofiel ten opzichte van de huidige situatie van enkele duizenden m³ per strekkende meter kust. Het aangezicht van de zandige duinenkust verandert door deze strategie nauwelijks, met uitzondering van de kustplaatsen die op lange termijn geheel achter een hoog duin (denk aan NAP +15 m of hoger) komen te liggen. Daar waar dat ruimtelijk gezien onwenselijk is kunnen golf dempende structuren voor die kustlocaties worden overwogen. Langs de rest van de kust zal de kust nog wel extra moeten worden gesuppleerd, maar ter plaatse van die specifieke locaties is het denkbaar om een deel van de kustveiligheid met lokale constructies mede te bewerkstelligen.

De problematiek van de Waddenzee en de Westerschelde zijn door het consortium niet beschouwd. Dat is gedaan om binnen het gestelde projectkader de gewenste verdiepingsslag mogelijk te maken voor de problematiek van het RijnMaasmond gebied. In dit document ligt de focus op de effectiviteit van een zeevaartse oplossing voor de rivierveiligheid in het benedenrivierengebied, waar de grootste opgave ligt. Er is in deze eerste aanzet daarom nog geen uitwerking gemaakt voor de problematiek van de zoetwatervoorziening en/of kustveiligheid van de omringende kust. De oplossing moet hier later voor geoptimaliseerd worden.

Bij een hogere zeespiegelstand in de toekomst leiden extreme rivierafvoeren tot waterstandsverhogingen stroomopwaarts. Dit leidt ertoe dat de Nieuwe Waterweg op lange-termijn moet worden afgesloten omdat het verhogen van de kades in Rotterdam dan te kostbaar wordt. De aanleg van een extra waterbergend bassin – in aanvulling op wat er al aan waterbergend vermogen is in het benedenrivierengebied – gecombineerd met gemalen om het rivierwater uit te pompen, kan een oplossing bieden. Specifiek voor deze zeevaartse oplossing is met de resultaten van hackatons#1 en #2 een civieltechnische uitwerking gemaakt, die in dit document staat beschreven. Deze uitwerking is conceptueel en is nog niet geoptimaliseerd voor effecten op zoetwater, waterkwaliteit en ruimtelijke functies).

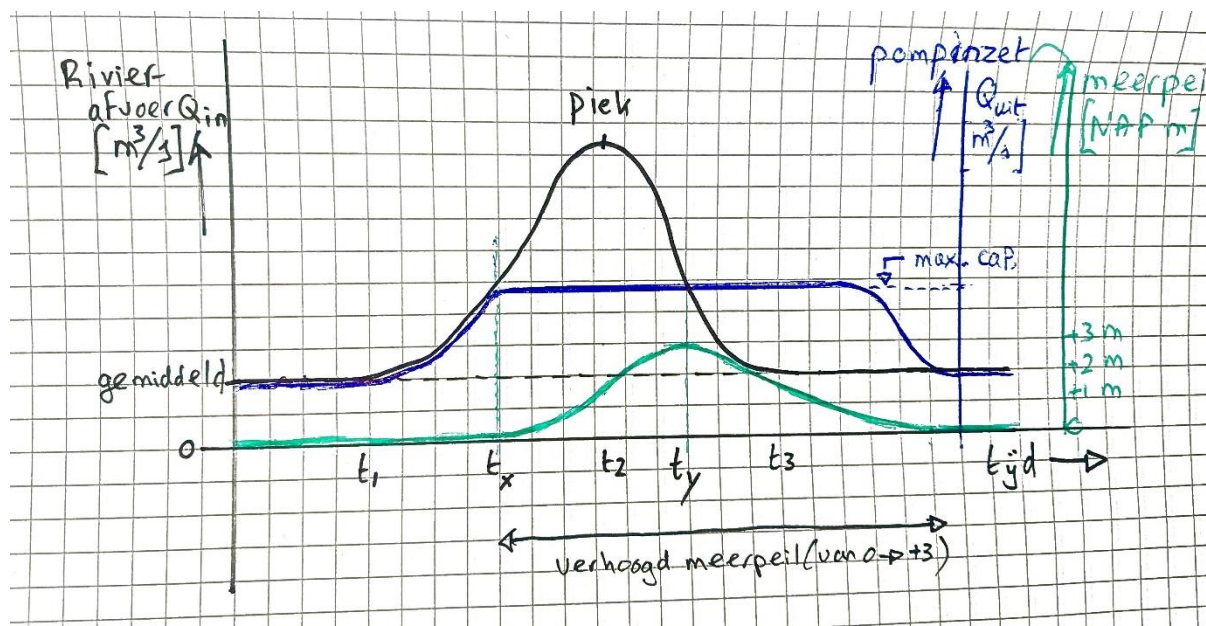
2 Systemanalyse en ontwerpkeuzes

Werkingsprincipe van een kustbassin met pompen

Al eeuwenlang stroomt het rivierwater onder vrij verval naar zee. Dat zal ook zo zijn bij een hogere zeespiegelstand, maar dan zullen de waterstanden in de benedenrivieren navenant mee stijgen. Binnen het consortium “Zeewaarts” wordt gezocht naar maatregelen die dat voorkomen, zodat er in het binnenland geen drastische ingrepen hoeven te worden genomen als de zeespiegel te hoog wordt. De oplossing is het maken van een kustbassin met pompen. Met behulp van die pompen kan het peil in dat bassin (het meerpeil) kunstmatig laag worden gehouden, zodat ook bij meters hogere zeespiegelstand er geen stroomopwaarts effect van een hogere zeespiegel is. Als de zeespiegel zo ver is gestegen dat het rivierwater niet meer onder vrij verval kan afstromen zonder dat dit invloed heeft op de waterveiligheid, dan zal al het rivierwater moeten worden uitgedompt. Helemaal vreemd is ons dat overigens niet: we pompen al eeuwenlang het kwelwater en de neerslag uit onze polders naar zee. Het uitpompen van water uit het Rijn- en maas stroomgebied is echter wel een substantieel grotere opgave dan het uitpompen van water uit de Nederlandse polders.

Voor het werkingsprincipe van deze oplossing (kustbassin met pompen) zijn een aantal zaken van belang, waaronder de (kansen op) extreme rivierafvoeren, de fluctuatie van het meerpeil tijdens perioden van extreme afvoeren, de beschikbare pompcapaciteit en de natuurlijke afvoercapaciteit. Met dit laatste wordt bedoeld dat er ook bij hogere zeespiegelstanden rivierwater naar zee kan blijven uitstromen. Het volume water dat zo afstroomt hoeft niet te worden uitgedompt, waardoor het aantrekkelijk is om zo lang mogelijk gebruik te maken van dit natuurlijke “spuivenster”.

Onderstaand figuur 1 laat zien wat er in de tijd gebeurt in een situatie dat er geen uitstroom van rivierwater naar zee meer kan plaatsvinden onder vrij verval, zelfs niet tijdens laagtij. De linker verticale as geeft de rivierafvoer aan (de zwarte lijn). Tot tijdstip t_1 is er sprake van een gemiddelde rivierafvoer, waarna de feitelijke hoogwatergolf begint met een piek op t_2 en duurt tot t_3 . De rechter verticale as geeft de inzet van de pompen aan (blauwe lijn). Tot het tijdstip t_1 is die gelijk aan de (gemiddelde) rivierafvoer. De andere verticale as (groene lijn) geeft het meerpeil aan. Aangenomen wordt dat dit onder gemiddelde omstandigheden NAP is.



Figuur 1 Principeschets werkingssysteem kustbassin met pompen – niet voerpompen

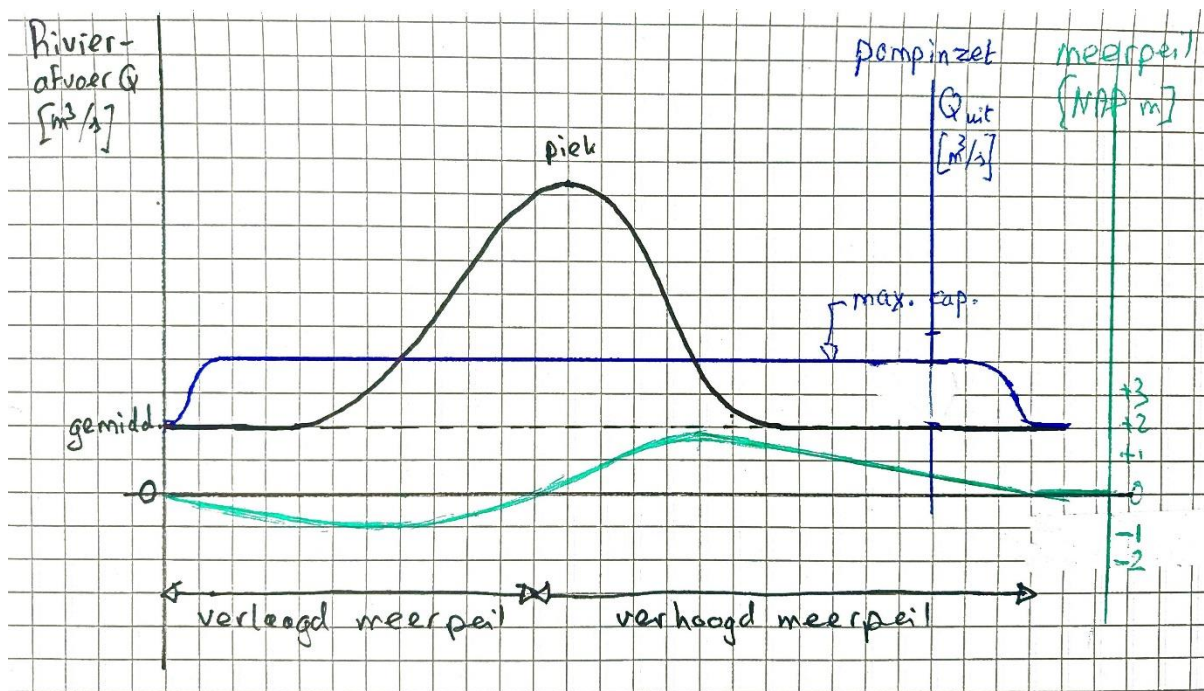
Nadat de rivierafvoer toeneemt (vanaf t_1) gaat de pompcapaciteit geleidelijk mee omhoog (zwarte en blauwe lijnen lopen gelijk). Dit gaat door totdat de maximale pompcapaciteit is bereikt (tijdstip t_x , de blauwe lijn loopt dan horizontaal in de figuur). Het meerpeil kan tot dat moment (t_x) op NAP worden gehouden, maar daarna zal het meerpeil stijgen omdat er meer rivierwater het bassin in stroomt dan dat er kan worden uitgepompt. Dat is op zich ook niet erg, zolang het meerpeil maar onder een maximum toelaatbaar peil blijft. In de figuur is NAP +3 m aangehouden voor dit maximaal toelaatbare meerpeil (de groene lijn die het meerpeil aangeeft komt maximaal tot NAP +3m op het tijdstip t_y). De keuze voor NAP+3 m is ingegeven door de toetspeilen bij het Haringvliet en Hollands Diep. Het is tevens de grens van overstromen van het Noordereiland en het oude centrum van Dordrecht. Elders zouden grotere stijghoogtes mogelijk kunnen zijn, maar dat doet niet af aan de hier gepresenteerde systeemanalyse. Als er minder strak wordt vastgehouden aan het 'niet nemen van maatregelen binnen het benedenrivierengebied' dan zou als maat voor het maximale meerpeil - door dijkverhoging langs Haringvliet, Hollands Diep, Merwedese, Spui en Dordsche Kil – ook NAP +4 m of misschien zelfs NAP +5 m kunnen worden aangehouden. Er zal in het ontwerpproces uiteindelijk een maximaal toelaatbaar meerpeil moeten worden gekozen omdat daarboven de waterveiligheid langs de rivieren niet meer kan worden gewaarborgd.

De maximale pompinzet gaat in Figuur 1 nog door nadat de aanvoer van rivierwater minder is geworden dan de maximale pompcapaciteit (dus na t_y). Dit is nodig om het meerpeil weer naar NAP terug te brengen. Er is dus alleen tijdelijk sprake van een verhoogd meerpeil zoals aangegeven in de figuur.

Systeem met voorpompen

Een alternatieve strategie is dat het meerpeil al vòòr aanvang van de afvoergolf wordt verlaagd. Dat noemen we 'voorpompen'. De mate waarin dat kan, hangt mede af van de waarschuwingstijd. Met in de toekomst wellicht verbeterde meteorologische modellen, peilmetingen langs de rivieren en afvoerberekeningen, kan dit 1 tot maximaal 2 weken bedragen. In die tijd kan preventief al veel water worden uitgepompt. De dijken en infrastructuur langs het bassin worden dan ontworpen op deze bredere waterpeil schommeling (verlaging tot max verhoging). Tijdelijk verlagen van het meerpeil heeft ook gevolgen voor de mogelijkheden om onder vrij verval rivierwater naar zee te spuien (minder of niet meer mogelijk). Ook neemt de opvoerhoogte van de pompen toe waardoor – ten opzichte van een situatie zonder voorpompen – waarschijnlijk iets meer energie nodig is om het water uit te kunnen pompen.

Onderstaande figuur 2 toont het principe van voorpompen. Omdat er voorafgaand en in het eerste deel van de afvoergolf méér water wordt uitgepompt dan dat het bassin in stroomt, zal het meerpeil onder NAP zakken (groene lijn). Voorwaarde is dan wel dat op tijd kan worden geanticipeerd. Net als in de situatie zonder voorpompen komt er op een gegeven moment meer rivierwater het bassin in dan dat eruit kan worden gepompt. Het meerpeil zal dan stijgen (de groene lijn in de figuur gaat omhoog). Zodra het pompvermogen groter is dan de rivieraanvoer neemt het meerpeil weer af tot het gewenste niveau. In deze strategie is er dus zowel sprake van een verlaagd als van een verhoogd meerpeil. Het voordeel van dit 'voorpompen' is dat minder pompcapaciteit nodig is. Dat komt omdat er meer tijd is waarover je kunt pompen voordat het maximaal toelaatbare meerpeil wordt bereikt.



Figuur 2 Principeschets werkingssysteem kustbassin met pompen –voorpompen

Omdat de kans op een extreme rivierafvoer (in het huidige klimaat) groter is in de winter dan in de zomer ligt het voor de hand om een winter- en een zomerpeil te hanteren, zoals dit nu ook al wordt gedaan bij het IJsselmeer (winterpeil lager dan zomerpeil). Dit is een optimalisatieslag die hier niet verder is uitgewerkt.

Cijfermatige uitwerking bij een zeespiegelstijging van 2 m

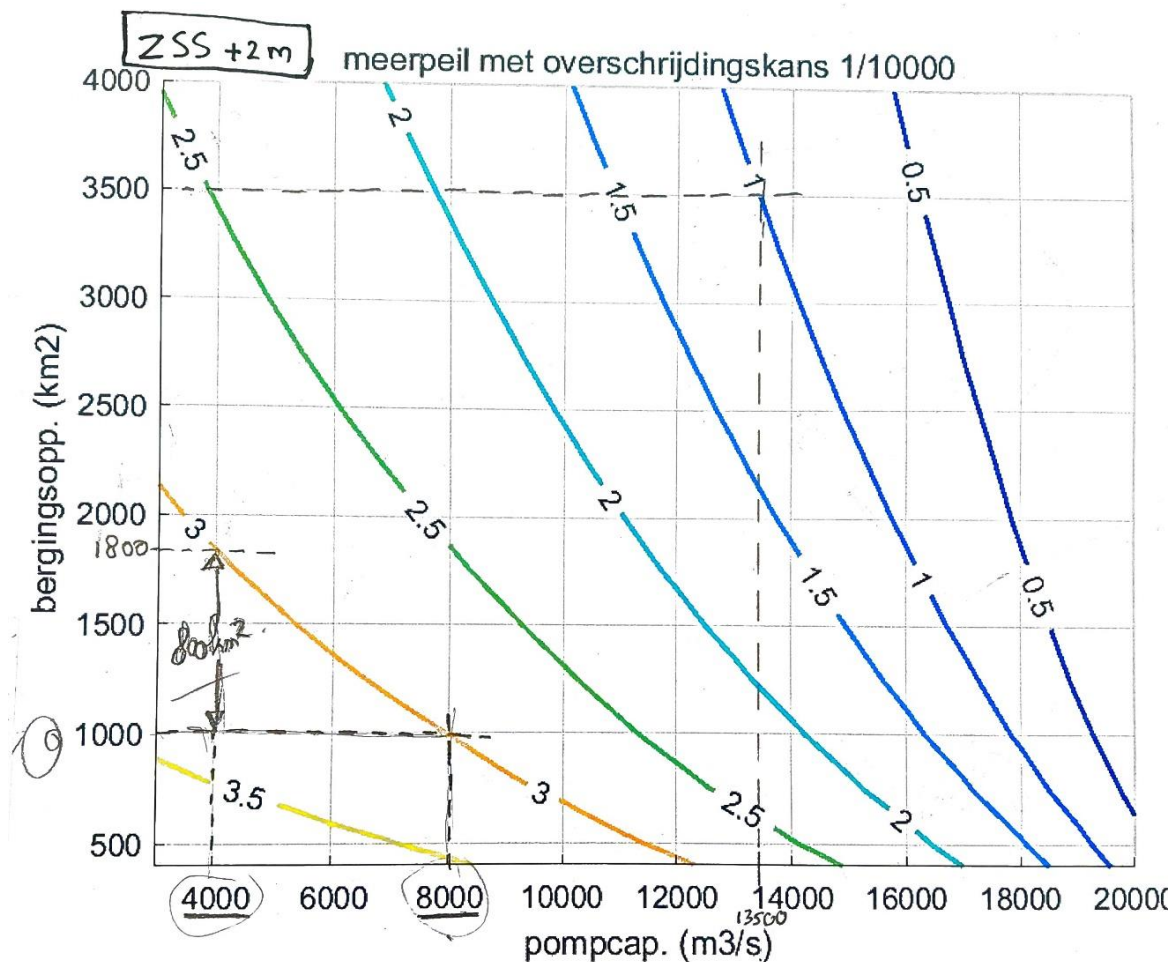
Van belang zijn dus het meerpeil, de spuicapaciteit, het pompvermogen en het bergend oppervlak. Door Deltares zijn in het kader van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging berekeningen gemaakt waarbij deze parameters variëren. Dat is gedaan voor situaties met extreme rivierafvoeren gecombineerd met extreme stormvloed, volgens de geprojecteerde statistieken in het jaar 2100 en 2200 (scenario's 2100WH en 2200 WH). Onderstaande figuur 3 geldt voor een situatie met een 2 meter hogere zeespiegelstand en een meerpeil met een kans van overschrijden van eens per 10.000 jaar. Die correspondeert niet 1-op-1 met 1/10.000 jaar rivierafvoeren omdat de zeewaterstand ook van invloed is op het (maximale) meerpeil gedurende een hoogwatergebeurtenis. In de rest van dit document wordt gesproken over een eens per 10.000 jaar gebeurtenis.

Het bergingsoppervlak staat in deze figuur uitgezet tegen de pompcapaciteit. Een kleiner bergend vermogen vraagt om een grotere pompcapaciteit (het water dat er aan komt moet dan immers sneller worden uitgedumpt). Bij het berekenen van de verschillende lijnen in de figuur is uitgegaan van het volgende:

- Het bergingsoppervlak is het totale bergende oppervlak. Dat is het bergend oppervlak van het bestaande estuariene en riviersysteem PLUS een eventueel extra zeewaarts gelegen bassin.
- Bij het berekenen van de rivierafvoer naar de ZW-delta van Nederland is uitgegaan van een IJselfractie van 15%.
- Het streefpeil in het bergingsgebied bedraagt NAP 0m (d.w.z. het gehandhaafde peil voor de afvoergolf komt).

- De berekeningen zijn gemaakt voor een situatie met gecombineerd spuien en pompen. Laagwater (eb) in het gebied is ongeveer NAP -1 m, zodat er onder vrij verval gespuid kan worden tot een zeewaterstand van NAP +3 m à NAP +4 m (uitgaande van een maximaal meerpeil van NAP +3 m).

De figuur laat verschillende lijnen zien die het meerpeil weergeven dat een jaarlijkse overschrijdingskans heeft van 1/10.000. Bij een relatief laag maximum toelaatbaar meerpeil (bijvoorbeeld NAP +1m) is bij een gegeven bergend oppervlak meer pompcapaciteit nodig dan bij een hoger maximum toelaatbaar meerpeil. Ter illustratie hiervan: bij een bergingsoppervlak van 2000 km² is bij een maximaal toelaatbaar meerpeil van NAP+2 m ongeveer 11000 m³/s pompcapaciteit nodig, terwijl dat bij een maximaal toelaatbaar meerpeil van NAP +1 m ongeveer 15,800 m³/s bedraagt volgens de figuur. Dit is te begrijpen doordat het water bij een lager maximaal toelaatbaar meerpeil sneller moet worden uitgedompt. Het omgekeerde is ook waar: bij een bepaalde pompcapaciteit is meer bergend oppervlak nodig om dat lage maximale toelaatbare meerpeil te kunnen garanderen. Merk op dat we in deze voorbeelden het 1/10.000 meerpeil gelijkstellen aan het maximaal toelaatbare meerpeil. In feite betekent dit dat we uitgaan van een veiligheidsnorm van 1/10.000 per jaar.



Figuur 3 Oppervlak-pompcapaciteit curves bij verschillende meerpeilen – 2 m zeespiegelstijging, 10⁻⁴

Uit deze figuur valt voor de gesimuleerde situatie met 2 m zeespiegelstijging en een rivierafvoergolf met een frequentie van 10^{-4} het volgende af te leiden:

- Als we uitgaan van geen extra kustbassin – dus louter uitgaan van het bestaande totale bergingsoppervlak van het benedenrivierengebied¹ van ca 1000 km², dan is volgens de figuur 8000 m³/s gegarandeerde pompcapaciteit nodig om het meerpeil tot maximaal NAP+3 m te laten stijgen.
- Als we uitgaan van 4000 m³/s pompcapaciteit, dan is er volgens figuur 3 een bergend oppervlak van in totaal 1800 km² nodig. Dat betekent dat er een extra zeewaarts kustbassin moet komen van 1800 - 1000 = 800 km².
- Als ervoor wordt gekozen om het maximale meerpeil niet boven NAP +1 m uit te laten komen, dan worden de getallen erg groot: er is dan een totaal bergend oppervlak nodig van 3500 km², wat inhoudt dat het zeewaarts dan 2500 km² groot is met een pompcapaciteit van circa 13.500 m³/s. Het loont dus enorm om gedurende een korte periode (dagen, weken) het meerpeil tijdens extreme rivierafvoeren beperkt te laten stijgen². Bovendien gebeurt dat zeer incidenteel.

Cijfermatige uitwerking bij een zeespiegelstijging van 5,4 m

In onderstaande figuur 4 staan de curves voor meerpeilen met een frequentie van 10^{-4} /j bij een doorgerekende situatie van 5,4 m zeespiegelstijging.

Bij deze zeespiegelstand en meerpeilen die daar onder blijven, is spuien onder vrij verval niet meer mogelijk: al het rivierwater zal dan moeten worden uitgepompt. Feitelijk doet deze situatie zich al voor bij een zeespiegelstijging van 3m à 4m, waarbij wordt opgemerkt dat bij een zeespiegelstijging tot een gemiddelde van NAP +3 m het spuienster al zo klein is geworden dat de bijdrage van spuien al aanzienlijk is afgenomen. Voor nu lijkt 3m zeespiegelstijging daarom een logisch moment om over te gaan op een strategie van volledig uitpompen. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen bij welke zeespiegelstijging spuien geen effectieve bijdrage meer levert aan het garanderen van de waterveiligheid. Voor meerpeilen tot ongeveer NAP+3 à NAP =4 m is er bij 5,4 m ZSS een 1-op1 relatie met de afvoeren omdat er niet gespuid kan worden.

Uit figuur 4 is onder andere het volgende te concluderen:

- Als alleen het bestaande maximale bergingsoppervlak in het benedenrivierengebied wordt gebruikt (1000 km²) – dus geen extra zeewaarts bassin - dan is er een pompcapaciteit nodig van 15.600 m³/s. Zoals eerder aangegeven moeten dan wel de verschillende estuaria van Haringvliet, Grevelingen en Oosterschelde via ingrepen worden verbonden. In dit geval moet er dan dus pompcapaciteit zijn die in de buurt komt van de piekafvoer, omdat er relatief weinig bergend vermogen is. Deze pompen moeten worden geplaatst in de afsluitdammen van voornoemde estuaria. Uit een verkenning door het consortium Beschermen blijkt dat de daarvoor benodigde lengte aanwezig ruimschoots aanwezig is.

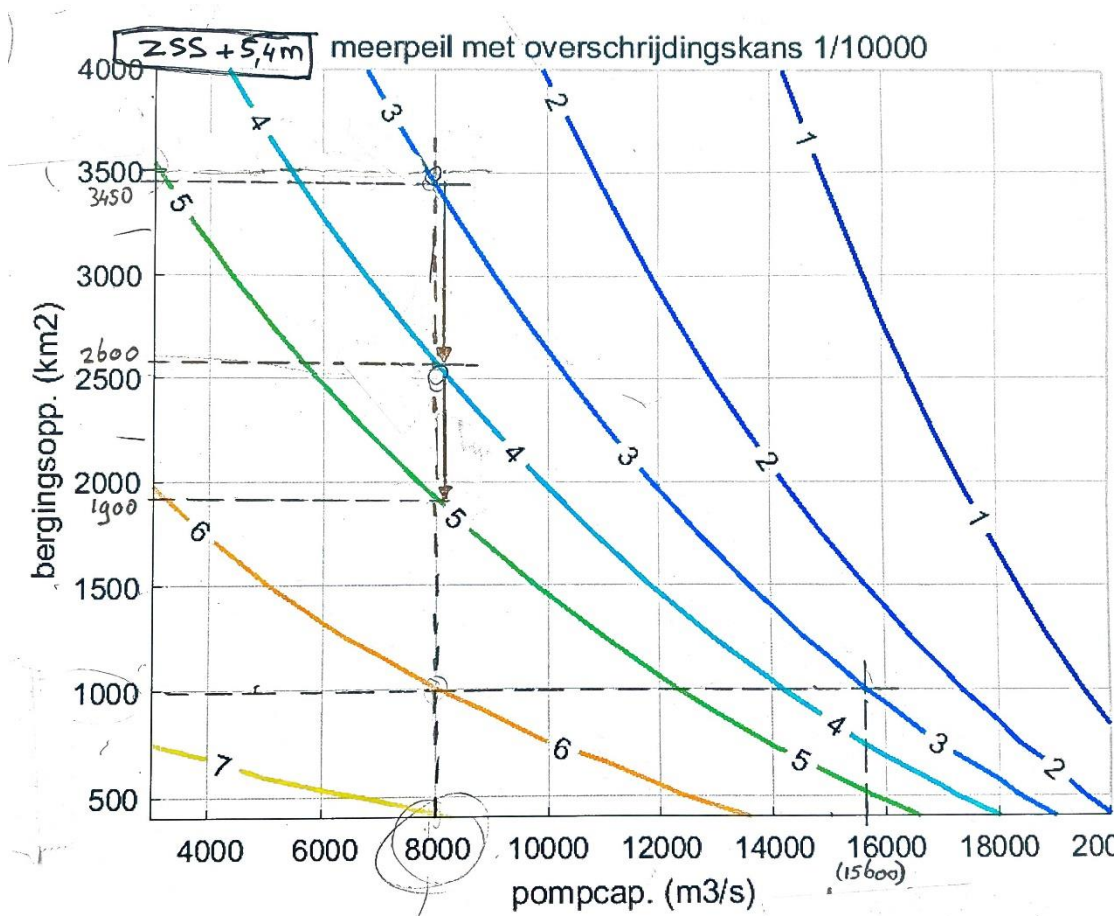
¹ Op dit moment zijn de verschillende estuariën nog van elkaar gescheiden met dammen. Het bekken van het huidige actieve benedenrivierengebied (Haringvliet, HollandsDiep, Merwedede en Maas) bedraagt ongeveer 500 km². Wordt daar het bekken van de Grevelingen aan toegevoegd dan neemt dit toe tot ongeveer 700 km², en pas als ook het bekken van de Oosterschelde wordt toegevoegd, dan wordt de genoemde oppervlakte van 1000 km² bereikt.

² Tijdens de eerste en tweede hackaton was sprake van oppervlaktes van een kustbassin van enkele duizenden km². Die afmetingen waren zo groot omdat er in de berekeningen toen werd uitgegaan van een maximaal toelaatbaar meerpeil van NAP+1 m. Uit de hier gepresenteerde analyse blijkt het nut van het accepteren van een tijdelijk hoger meerpeil van bijvoorbeeld NAP +3m. Een dergelijk meerpeil leidt bovendien niet tot onoverkomelijke waterveiligheidsproblemen in het Drechtstedengebied.

- Uitgaande van $8000 \text{ m}^3/\text{s}$ gegarandeerd pompvermogen, is volgens figuur 4 een zeewaarts bassin nodig met een oppervlak van $3450 - 1000 = 2450 \text{ km}^2$. Om een indruk te geven van deze dimensies: dat is een rechthoekig bassin van 25 km breed en bijna 100 km lang (van Walcheren tot Noordwijk).

Het voorgaande geldt voor een situatie dat er niet wordt voorgepompt. Wordt dat wel gedaan, dan kan worden volstaan met een aanzienlijk kleiner kustbassin. Dit kan als volgt worden afgeleid uit de figuren:

- Als er 1 m peilverlaging van tevoren wordt gerealiseerd is de "schijfhoogte" van het bergingsgebied 1 m groter. Er kan dan het oppervlak van het bassin vermenigvuldigd met die ene meter extra water worden geborgen. Of bij een maximaal toelaatbaar peil van NAP +3 m: in plaats van 3 m water (van NAP 0 tot NAP +3m), kan er 4 m water worden geborgen (van NAP -1 m tot NAP +3 m).



Figuur 4 Oppervlak-pompcapaciteit curves bij verschillende meerpeilen (5,4 m en rivierafvoer 10^4 /j)

- Deze situatie met voorpompen is nog niet doorgerekend³ maar kan worden benaderd door naar de lijn in de figuur te kijken die 'hoort' bij een fictief maximaal toelaatbaar peil van 4 m. Uit de figuur blijkt dat dan niet een bergingsoppervlak van in totaal 3450 km^2 nodig is, maar ongeveer 2600 km^2 . Het kustbassin kan daarmee 850 km^2 kleiner worden (1600 km^2 in plaats van 2450 km^2)

³ Het effect van voorpompen op het diagram in figuur 4 is door Deltares doorgerekend en gaf geen wezenlijk veranderingen. In het eindrapport zal de specifiek met voorpompen doorgerekende diagrammen worden opgenomen.

- Als er 2 m peilverlaging wordt gerealiseerd, dan is bij 8000 m³/s gegarandeerd pompvermogen, nog 'maar' een kustbassin nodig met een oppervlak van 900 km².

In theorie zou adaptief het meerpeil nog verder kunnen worden verlaagd, maar dan geldt de hier gevolgde benadering niet meer en is het de vraag of het volume water wel op tijd kan worden weggepompt.

Samenvatting uitgangspunten:

- Vòòr aankomst van de maatgevende rivierafvoergolf is het meerpeil NAP 0 m.
- Het maximaal toelaatbare meerpeil is NAP+3 m.
- Uitgegaan wordt van een meerpeil dat een jaarlijkse overschrijdingskans heeft van 1 op 10.000 per jaar. Mogelijk kan de waterveiligheid worden gerealiseerd met een minder zwaar criterium, maar deze keuze is hier niet onderzocht.
- Het bergend oppervlak van het huidige benedenrivierengebied in combinatie met de zuidwestelijke delta is 1000 km² (zie voetnoot 3) Om dat totale oppervlak te krijgen is het dus noodzakelijk om die estuaria te koppelen. Wat daar precies voor nodig is, is niet onderzocht. Voor de verkenningen van het consortium Zeewaarts is ervan uitgegaan dat de volledige 1000 km² bestaand bergend oppervlak beschikbaar is onder het motto "gebruik eerst wat er is voordat je wat nieuws bouwt").
- Er is naar schatting minimaal 1 week en maximaal 2 weken beschikbaar om voor te pompen. Deze aanname zou in een later stadium alsnog moeten worden verkend. Als we uitgaan van 10 dagen, dan kan met een pompcapaciteit van 8000 m³/s het peil in het bestaande benedenrivierengebied (1000 km²) met ruim 5 m worden verlaagd. Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde rivierafvoer van 2000 m³/s die sowieso ook al moet worden uitgepompt. Met een pompcapaciteit van 4000 m³/s kan 2 meter peilverlaging worden bereikt in een bassin van 2600 km² (kustbassin van 1600 km²). De conclusie is dat met dergelijke pompcapaciteiten er voldoende tijd is om 1 of 2 m peilverlaging te kunnen realiseren.
- Als er zeer incidenteel 2 m peilverlaging nodig is voor het garanderen van de waterveiligheid, dan verandert dat waarschijnlijk niet het hydrologisch systeem van het benedenrivierengebied. Zou dat langer (maanden) en vaker (bijvoorbeeld elk jaar) voorkomen, dan kan een dergelijk lager meerpeil mogelijk wel het lokale hydrologische systeem veranderen. Dit is hier niet nader verkend.

De situatie zoals hier beschreven doet zich al eerder voor dan het moment dat de zeespiegelstijging NAP +5,4 m heeft bereikt. Boven het 'spui domein' heeft verdere ZSS geen effect meer op de geometrie van de zeevaartse oplossing. Er is bij verdere zeespiegelstijging niet meer bergend oppervlak nodig. Wel zal bij nog hogere zeespiegelstanden meer energie nodig zijn omdat de opvoerhoogte van het uit te pompen rivierwater groter wordt.

Uitkomsten van de analyse

Het resultaat van bovenstaande analyse is samengevat in onderstaande tabel. Zoals aangegeven doet de situatie bij een zeespiegelstijging tot NAP +5,4 m, zich al voor bij een lagere zeespiegelstijging wanneer spuien onder vrij verval te weinig effect heeft op het garanderen van de waterveiligheid.

Uit de tabel kunnen de volgende ontwerpconclusies worden getrokken:

- Bij een zeespiegelstijging van 2 m is er voldoende bergingscapaciteit in het huidige benedenrivierengebied MITS er 8000 m³/s pompvermogen wordt geïnstalleerde in de bestaande Haringvlietdam, Brouwersdam, en SVK Oosterschelde. De inschatting is dat er voor 8000 m³/s te

installeren pompen een totale lengte nodig is van minder dan 2 kilometer⁴. Die lengte is aanwezig in de bestaande dammen⁵.

Zeespiegelstijging [m]	Oppervlak zeewaarts kustbassin (extra tov bestaand) [km ²]	Gegarandeerde pompcapaciteit [m ³ /s]	Meerpeil voortijdig verlagen [NAP -m] (voorpompen)
+2	0	8000	Nvt
+2	800	4000	nvt
+5,4	0	15800	Nvt
+5,4	0	14000	NAP -1 m
+5,4	0	12800	NAP -2 m
+5,4	2450	8000	Nvt
+5,4	1600	8000	NAP -1m
+5,4	900	8000	NAP -2m

Tabel 1 Uitkomsten van analyses bij 2 en 5,4 m zeespiegelstijging

- Voor het garanderen van waterveiligheid is het lastig om grotendeels afhankelijk te zijn van de gegarandeerde werking van pompgemalen. Dit heeft onder andere te maken met de nu vigerende toetsingssystematiek.
- Een alternatief bij 2 m zeespiegelstijging is het toevoegen van een zeewaarts kustbassin van 800 km² met daarin verwerkt een totale pompcapaciteit van 4000 m³/s (roodgekleurde cijfers in tabel 1). Het voordeel van deze oplossing ten opzichte van een situatie zonder extra bergend oppervlak is dat bij een haperende werking van de pompen er enkele dagen tijd is om het technisch probleem met de pompen op te lossen.
- Bij een zeespiegelstijging van 5,4 m, maar feitelijk al eerder vanaf een zeespiegelstijging tot NAP +3 m à NAP +4 m, zijn er zonder kustbassin erg grote pompcapaciteiten nodig. Zonder voorpompen (startpeil NAP 0m) volgens de tabel zelfs 15800 m³/s. Dit zou met enige moeite wellicht nog in te passen zijn in de bestaande dammen, maar het moet uitgezocht worden of er voldoende zekerheid kan worden geleverd als de waterveiligheid in zo'n grote mate afhangt van een werkend pompsysteem. Dit is ook de situatie als er 2 m peilverlaging wordt gerealiseerd door voor te pompen (dan is 12.800 m³/s pompvermogen nodig volgens de tabel).
- Zonder voorpompen is het oppervlak van een zeewaarts kustbassin 2450 km²; met 2 m voorpompen is dat 900 km² (uitgaande van 8000 m³/s pompvermogen - roodgekleurde cijfers in tabel 1).
- Als alternatief zou een (veel) kleiner bassin kunnen worden overwogen waarvan het meerpeil aanzienlijk dieper dan NAP -2 wordt voorgepompt. Dat heeft echter als nadeel dat er onbekende effecten zullen zijn op het omliggende land. Ook de nieuwe kustlijn zal een groter waterstandsverschil tussen buiten (zee) en binnen moeten kunnen weerstaan. Het belangrijkste argument om hier nu geen nadere uitwerking voor te maken is dat de waterveiligheid dan nog meer afhankelijk is van de werking van de pompen. Er is dan vrijwel geen tijd om bij haperende pompwerking op tijd in te grijpen.

⁴ berekening: 1 caisson met pomp van 50 m³/s wordt 10 m breed; dus totale lengte van de rij caissons is dan 8000/50*10 = 1600 m

⁵ Naar verwachting moet de Oosterschelde SVK worden omgebouwd naar een gesloten waterkering bij een zeespiegelstijging van +0,7 m. Dat geeft de gelegenheid om de nieuwe kering tegen die tijd aan te passen aan het concept van afsluiten en pompen.

Conclusies

Er zijn verschillende combinaties mogelijk van begrensd oppervlak, wel of geen zeewaarts bassin, pompompen of niet, enzovoorts, zoals hierboven geschetst. Het consortium Zeewaarts zoekt naar kansen om de waterveiligheid (deels) zeewaarts op te lossen. Het voorgaande overwegende is de volgende strategie een reële mogelijkheid:

- Tot een bepaalde zeespiegelstijging, bijvoorbeeld van 2m, kan de rivierwaterveiligheid worden gegarandeerd door maatregelen te nemen in het bestaande benedenrivierengebied. Er zullen dan maatregelen nodig zijn zoals het vervangen van de Oosterschelde SVK, het verbinden van Haringvliet, Grevelingen en Oosterschelde bekkens.
- De Maeslantkering in de Nieuwe Waterweg zal bij toenemende zeespiegel met een steeds hogere frequentie moeten sluiten (orde 3x per jaar voor NAP+1m). Bij een zeespiegelstand boven NAP+1m zal de sluiting van de Maeslantkering pas plaatsvinden bij peilen hoger dan NAP+3m in Rotterdam. Voor een zeespiegel van NAP+1.5m tot NAP+2m zal de Maeslantkering gesloten moeten worden. Er zal dan moeten worden gekeken naar het plaatsen van pompen en mogelijk een scheepsluis in de Nieuwe Waterweg, waarvan de capaciteit moet passen bij de afvoerverdeling van het rivierwater over de verschillende 'takken'⁶. Het consortium Beschermen kijkt specifiek naar dit type maatregelen.
- Bij een zeespiegelstijging van 2 m wordt er zeewaarts een kustbassin aangelegd van circa 1000 km². Dit kustbassin zal bij verdere stijging van de zeespiegel niet hoeven te worden uitgebreid. Dat heeft als voordeel dat de contouren van het kustbassin niet hoeven te worden verlegd na verloop van tijd en dus in één keer kan worden gerealiseerd. Bij een verder stijgende zeespiegel kan het pompvermogen worden vergroot of kunnen de pompen worden aangepast aan een grotere opvoerhoogte. Ook is er flexibiliteit om tegen die tijd te kiezen voor een oplossing binnenslands met dijkverhoging in plaats van een verdere vergroting van de pompcapaciteit.
- In de nieuwe zeewaartse kustlijn worden bij 2 m zeespiegelstijging pompen geplaatst met een capaciteit van 4000 m³/s. In het civieltechnische ontwerp van deze uitlaatsluizen wordt ruimte gereserveerd om op termijn relatief eenvoudig extra pompcapaciteit te kunnen bijplaatsen.
- Door de locatie van het zeewaarts kustbassin kunnen zowel de Waal en Maas relatief eenvoudig afwateren op het kustmeer via het Hollands Diep en het Haringvliet. De rivierafvoer van de Nederrijn /Lek zal echter niet makkelijk zuidelijk af te voeren zijn, maar via de Nieuwe Waterweg moeten afstromen. Dit betekent dat bij afsluiting van de Nieuwe Waterweg ruimte moet zijn voor de plaatsing van pompen die 10 à 20% van het maatgevende rivierdebiet kunnen uitpompen.
- Tegen de tijd dat de zeespiegelstijging is toegenomen naar de in de berekeningen gebruikte 5,4 m, is de pompcapaciteit uitgebreid tot 8000 m³/s en is het hele bergend oppervlak geschikt om een peilverlaging van 2 m te accommoderen. Deze situatie doet zich al voor zodra spuien geen optie meer is, dus bij een zeespiegelstijging tussen de NAP +3 en NAP +4m, zoals hierboven toegelicht.

⁶ In de huidige situatie gaat relatief veel rivierwater via de Nieuwe Waterweg naar buiten. Daarvan komt een relatief klein deel vanaf de Lek, en een groter deel via de meer zuidelijke Beneden Merwede (via De Noord). Bij extreme rivierafvoeren wordt 15% tot 20% van het Rijn-debiet via de Nederrijn en Lek aangevoerd.

3 Ruimtelijke uitwerking

De buitencontouren van het hierboven beschreven kustbassin volgen bij voorkeur een zo natuurlijk mogelijke kustvorm (boog) vanaf Walcheren tot aan een aansluiting met de buitencontour van de huidige 2e Maasvlakte. Als er eerder een 3^e Maasvlakte is aangelegd zal de contour daarop aansluiten. De Nieuwe Waterweg watert in deze layout niet op het zeewaarts kustbassin uit, maar rechtstreeks in zee. Zo blijft de tweede Maasvlakte en delen van de Rotterdamse haven beschikbaar voor grotere zeeschepen (wel zullen in dat geval kades en kade-terreinen moeten worden opgehoogd). Opgemerkt wordt dat het wel of niet meenemen van de Nieuwe Waterweg als onderdeel van het zeewaarts kustbassin in een latere ontwerpfase alsnog kan worden beoordeeld.

Een mogelijke layout voor de buitencontour van het zeewaarts kustbassin staat geschetst in figuur 5. Opgemerkt wordt dat het hier gaat om louter een conceptuele schets. In een ontwerpfase kunnen alsnog goede redenen zijn om de contour – of zelfs het hele concept – aan te passen bijvoorbeeld om uitdagingen tijdens de uitvoering op te lossen. De globale afmetingen van het kustbassin in figuur 5 zijn 60 bij 15 km. Er zijn van noord naar zuid een aantal specifieke secties opgenomen die tegemoet proberen te komen aan de suggesties zoals door de experts gedaan tijdens de eerste twee hackatons:

- De Nieuwe Waterweg wordt afgesloten. Hier wordt circa 10 tot 20% van de pompcapaciteit geplaatst, waardoor de rivierafvoer van de Lek grotendeels afgevoerd kan worden. Op deze manier kan bovendien doorstroming gerealiseerd worden in de Nieuwe Waterweg, wat wenselijk is voor de waterkwaliteit.
- Aan de noordzijde een stenig talud (oranje), min of meer zoals nu de noordkust van Maasvlakte-2 is vormgegeven. Een zandig talud zou namelijk te veel aanzanding van de Euro-Maasgeul veroorzaken en navenant te veel geul- en kustonderhoud.
- Een ongeveer 2 km lang gedeelte voor het “noordelijk gemaal” (blauw). Dit bestaat uit een serie naast elkaar geschakelde caissons (nader uitgewerkt in hoofdstuk 4) met daarin ruimte voor pompen. Niet in alle caissons hoeven al meteen pompen te worden geplaatst: het systeem kan worden ontworpen op uitbreidbaarheid. In de caissons waar nog geen pompen worden geplaatst zal een regelwerk moeten komen om de kokers te kunnen sluiten en openen. Mogelijk worden een aantal extra speciaal ontworpen caissons toegevoegd waarmee de noordelijke sluiting wordt vergemakkelijkt. Bodembescherming voor de uitstroomopeningen voorkomt erosie van de zeebodem en ondermijning van de constructie.
- Aan weerszijden van het “noordelijk gemaal” worden geleidingsdammen geplaatst. Deze zorgen voor een hydraulisch efficiënte uitstroom van uit te slaan water en voorkomen aanzanding voor de openingen. De lengte van deze dammen zal vermoedelijk enkele kilometers bedragen.
- Het centrale deel van de buitencontour kan in zand worden uitgevoerd (geel). Een eerste vergelijking van kosten van een zandige oplossing versus een oplossing met caissons laat zien dat de kosten van een zandige oplossing bij aanleg minder zijn dan die van een betonnen (caisson) oplossing. Daar staan wel hogere onderhoudskosten tegenover⁷. Bij het berekenen van het benodigde aanlegvolume (50.000 m³/m) is uitgegaan van een zeewaartse helling van 1:100; een profiel tot aan NAP -12m en een duinhoogte van NAP +18m. Aan de binnenzijde (oostkant) ligt nog een tweede strand en is uitgegaan van een helling van 1:30. Het creëren van een circa 35 km zandige kust geeft nieuwe gebruiksmogelijkheden die mogelijk grotendeels verloren gaan op de

⁷ Over-de-duim berekening: Caissons/hard: CAPEX 0,4 MEUR/m → 35 km = 14 miljard euro, OPEX 10 miljoen EUR/j ; zandige waterkering: orde 50,000 m³/m a 5 EUR/m³ = CAPEX 8,8 miljard euro (35 km), OPEX 2 miljoen m³/j a 7 EUR/m³ = 140 miljoen EUR/j

bestaande eilandkusten. De duinen die ontstaan door de aanleg van deze waterkering kunnen fungeren als natuurlijk habitat en/of als recreatief gebied en kunnen bereikbaar worden gemaakt via een weg over de buitencontour.



Figuur 5: Mogelijke layout van het kustbassin met pompgemalen – toereikend tot meer dan 5 meter zeespiegelstijging

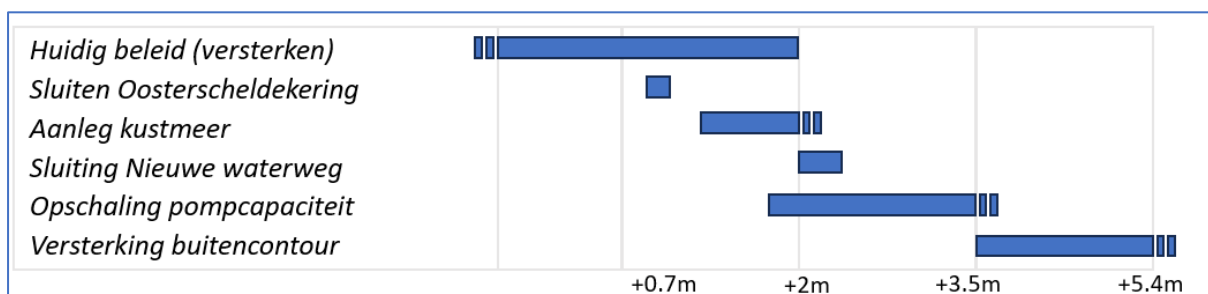
- Het is waarschijnlijk dat er langs het circa 35 km lange kustsegment golfbrekers moeten worden geplaatst (lange strandhoofden). Dit om te voorkomen dat er door veranderingen in de kustlijnpositie te smalle stukken in de waterkering ontstaan. Onderzocht zal moeten worden of er met behulp van onderwaterdammen (kustlangs: “hangend strand concept”) nog een besparing in aanlegvolume en life-cycle kosten mogelijk is.
- Aan de zuidkant ligt een tweede opening waar het “zuidelijk gemaal” komt. Ook hier wordt uitgegaan van een 2 km lange sectie bestaande uit caissons waar in de loop der tijd pompen in kunnen worden geplaatst alsook een aantal extra caissons om de zuidelijke sluiting mogelijk te maken. Net als bij het noordelijk gemaal worden de uitstroombopeningen begrensd door lange geleidingsdammen en wordt er bodembescherming aangebracht.
- De zuidelijke aansluiting is ter hoogte van de kop van Walcheren. Het resterende ongeveer 12 km lang kustsegment kan in zand worden uitgevoerd min of meer zoals het 35 km lange middelste segment.

- Het valt te overwegen om het kustbassin te segmenteren om zo meer flexibiliteit in het waterbeheer en meer inrichtingsmogelijkheden te creëren. Dit is hier echter niet uitgewerkt.
- De verwachte totale energievraag van beide pompgemalen met 8000 m³/s vermogen komt neer op wat een huidige grote energiecentrale kan leveren. Hoe dit precies in het plan in te passen zal onderdeel moeten uitmaken van het vervolgproces.

Fasering

Fasering in termen van jaartallen is niet te geven, omdat de verschillende ‘fasen’ primair afhangen van de werkelijke zeespiegelstijging. De onzekerheid daaromtrent is ergo dermate groot dat het noemen van jaartallen een schijnwerkelijkheid creëert. Wel zijn er een aantal logische fasen te onderscheiden (zie Figuur 6):

1. Doorgaan met huidige veiligheidsbeleid tot een zeespiegelstijging van maximaal 2 m.
2. De verschillende estuaria zijn dan met elkaar verbonden om een goede afwatering van het rivierwater te krijgen (zo lang mogelijk optimaal gebruik maken van het aanwezige systeem).
3. De stormvloedkering van de Oosterschelde zal al eerder moeten worden aangepast of gesloten om de veiligheid in het Oosterschelde bassin te kunnen handhaven. Ingeschat wordt dat dit is bij een zeespiegelstand van orde NAP +0.7m. Aanpassing van de stormvloedkering ligt voor Zeewaarts niet voor de hand, aangezien dit na aanleg van een kustmeer geen meerwaarde meer heeft.
4. Tegen de tijd dat de zeespiegel 2 m is gestegen is het zeewaarts kustbassin van circa 1000 km² gerealiseerd zoals geschetst in figuur 5.
5. Opschaling van het pompvermogen is nodig naarmate de zeespiegel verder doorstijgt. Ook de buitencontouren zullen moeten worden versterkt bij verder stijgende zeespiegelstanden. De contouren van het kustbassin hoeven dan echter niet meer te wijzigen.



Figuur 6: Fasen in een zeewaarts adaptatiepad

4 Civieltechnische uitwerking

Pompen

Aan het pomp-/spuisysteem zullen hoge betrouwbaarheids- en beschikbaarheidseisen worden gesteld. De energievoorziening tijdens hoogwatersituaties en redundantie in het systeem spelen een belangrijke rol in de uit te voeren gedetailleerde RAMS-analyse.

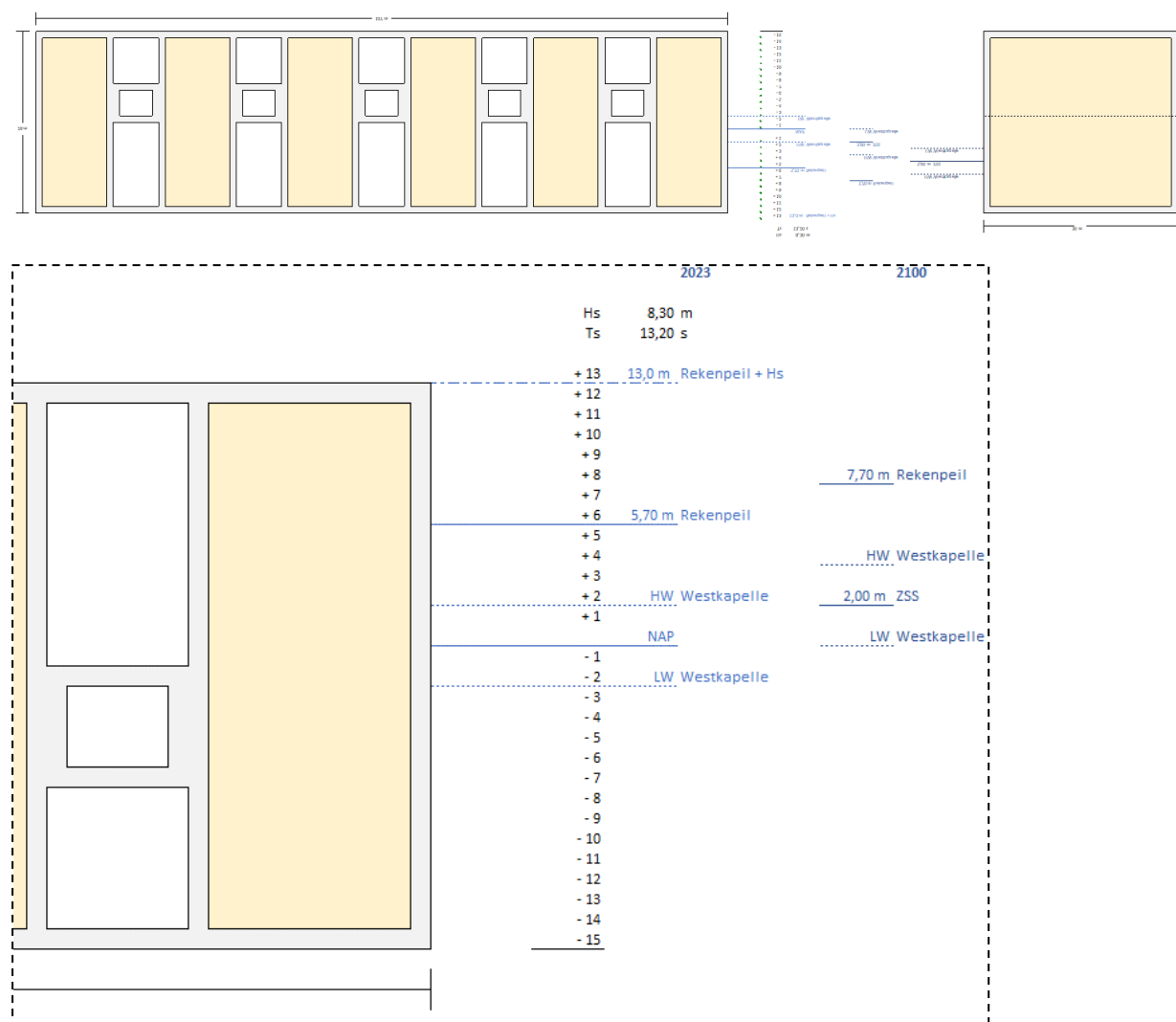
Volgens de hier gepresenteerde berekeningen geeft een kustbassin van 1000 km² in combinatie met een gegarandeerde pompcapaciteit van 8000 m³/s in een situatie dat rivierafvoer onder vrij verval niet meer werkt, is de overschrijdingskans van het meerpeil NAP + 3 m gelijk aan 1/10.000 per jaar.

Deze overschrijdingskans reduceert tot 1/1000 per jaar bij een capaciteit van 7000 m³/s en zelfs tot 1/100 per jaar bij een capaciteit van 6000 m³/s. Dit geeft aan dat langdurige grootschalige uitval van de pompcapaciteit ernstige veiligheidsrisico tot gevolg heeft. In deze fase van de zeevaartse verkenningen wordt uitgegaan van 20% extra de te installeren pompcapaciteit, dus 4800 m³/s (bij 2 m zeespiegelstijging) respectievelijk 9600 m³/s (bij 5,4 m zeespiegelstijging maar in verband met onmogelijkheid te spuien al eerder bij 3 à 4 m zeespiegelstijging).

De pompcapaciteit van de grootste axiaalpompen is op dit moment meer dan 50 m³/s. Deze turbines hebben een relatief beperkt ruimtebeslag, en zijn daarom ook goed inpasbaar op plaatsen waar de ruimte beperkt is, zoals in de Nieuwe Waterweg. De pompcapaciteit zal naar verwachting in de toekomst verder toenemen. Het bergingsgebied moet dus ruimte bieden aan 120 respectievelijk 240 pompen met elk een pompcapaciteit van 50 m³/s.

Caissons

In het huidige plan zeewaarts wordt voorzien in de aanleg van caissons waar (caissons met) pomphuizen voor geplaatst worden. Onderstaande figuur 6 toont mogelijke doorsneden.



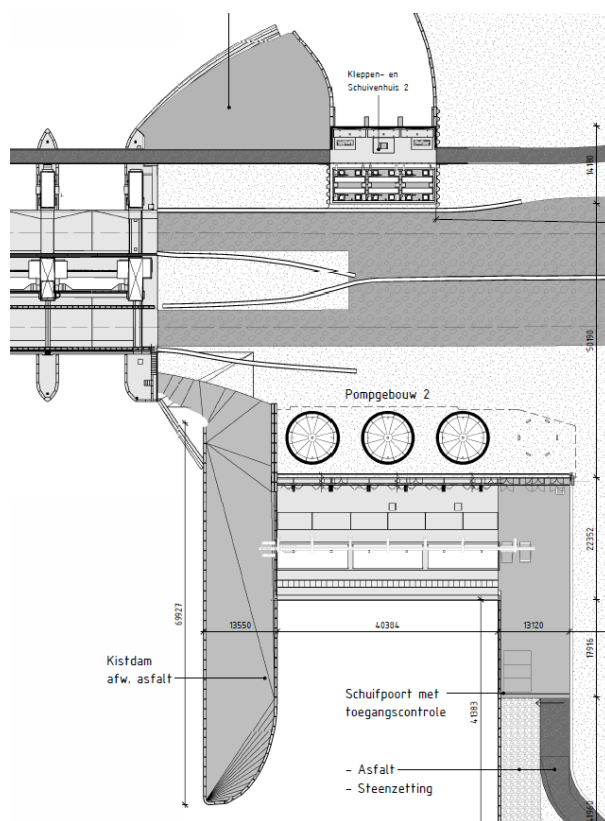
Figuur 6 Typische afmetingen van de caissons met pomphuizen

De afmetingen van de caissons in de figuur zijn L x B x H = 107 m x 30 m x 28 m. In elk caisson worden 5 duikers gemaakt om pompunits aan te koppelen. De caissons worden op een gestabiliseerde bodem op circa NAP – 15,0 m geplaatst. De bovenkant van de caisson reikt tot NAP + 13,0 m. Deze hoogte is nodig om tijdens stormomstandigheden op zee te voorkomen dat wateroverloop plaatsvindt en een deel van de golfaanval. Enige golfoverslag wordt geaccepteerd, omdat het zeewaarts bassin een groot bergend volume biedt.

Het karakter van deze ontwerpverkenning liet geen ruimte voor detailengineering van de caissons, de filterconstructie, voorzieningen tegen onder- en achterloopsheid en eventuele golfreducerende voorzieningen. Hieronder staan wel enkele voorbeelden gegeven van hoe een en ander er uit zou kunnen komen te zien.

Afsluitdijk

Onderstaande figuur 7 toont de situatie voor “Pompgroep 2” voor de renovatie van de spuisluizen in de Afsluitdijk. Hier is voor drie pompturbines een constructiebreedte van ca. 40 m aangehouden.



Figuur 7 : Situatie Pompgroep 2, Afsluitdijk (LEVVEL, 2020)

De zandige kustsectie

Verwezen wordt naar de geometrische aannames die in H3 zijn gebruikt bij het vaststellen van de benodigde zandvolumes. Onderzocht zal moeten worden of een hybride vorm van een zandige kust, dat wil zeggen zandstranden in combinatie met stenen golfbrekers en/of onderwaterdammen, ruimtelijk en economische voordelen heeft.

5 Capex/Opex

De CAPEX en OPEX kosten zijn gebaseerd op kentallen die uitgaan van het volgende:

- Prijspeil 2023, gebaseerd op vergelijkbare werken uitgevoerd in afgelopen jaren.
- Functionele eisen zonder aanvullende architectonische/ esthetische eisen.
- Sluizen en pompen Nieuwe Waterweg alsook aanpassingen aan andere harde keringen en bovenstroomse constructies om rivierafvoeren te controleren worden al rond +2m zeespiegelstijging uitgevoerd en liggen buiten de scope van Zeewaarts.
- Werken aan MV2/ MV3 zijn niet meegenomen.
- Verliezen tijdens aanlegwerkzaamheden (zand/stenen) zijn afhankelijk van ontwerp en modeleringen en daarom op dit moment nog niet meegenomen.
- De investeringen in het kader van meekoppelkansen zijn niet meegenomen.

De met dit plan gemoede aanlegkosten (CAPEX) zijn als volgt te schatten:

- Noordelijk stenig talud: 12 km lengte met $10.000 \text{ m}^3/\text{m}$ à EUR 45 EUR/ m^3 → 5,5 miljard euro.
- Noordelijk pompgebraal: 2 km caissons a 0,7 MEUR/m (civieltechnisch deel) → 1,4 miljard euro
- Pompen en installaties (capaciteit $4000 \text{ m}^3/\text{s}$) → 0,6 miljard euro (tbc)
- Centraal zandige nieuwe kust: 35 km à $50.000 \text{ m}^3/\text{m} = 1,8 \text{ miljard m}^3$ à $7,5 \text{ eur}/\text{m}^3 = 13,5 \text{ miljard euro}$
- Geleidingsdammen en strandhoofden: ongeveer 30 km totaal à 150 keur/m → 4,5 miljard euro
- Zuidelijk pompgebraal ~ noordelijk pompgebraal → 1,4 miljard euro
- Pompen en installaties → 0,6 miljard euro (tbc)
- Zuidelijk zandig aansluitstuk: 12 km à $35000 \text{ m}^3/\text{m}$ (ondieper dan centrale deel) à $7,5 \text{ euro}/\text{m}^3$ → 3,2 miljard euro

Alles bij elkaar komen de totale aanlegkosten (materialen en bouw) op ongeveer **30 a 35 miljard euro** uit. Dat is dan alleen voor de nieuwe kustlijn. Extra kosten om het gebied verder in te richten komen daar bovenop.

De OPEX kosten zijn uitgerekend op basis van vergelijkbare werken per type onderdeel:

- Zandige delen: 170 M EUR/j (vooral in instelperiode na aanleg en op de flanken)
- Stenige delen: 50 M EUR/j (vooral in instelperiode na stormen en langs buitenrand)
- Caissons/pompen: 100 M EUR/j (vooral voor de pompen)

De totale onderhoudskosten (OPEX) komen naar verwachting uit op **300 a 350 miljoen euro/j**.

Ten overvloede wordt hierbij opgemerkt dat deze cijfers een eerste inschatting betreffen. De nauwkeurigheid is eerder een factor 2 dan dat dit in tientallen procenten is uit te drukken. Pas na uitwerking van het basisontwerp kunnen betere kostenschattingen worden gegeven. Voor de huidige fase van de verkenningen is de hier gevolgde methodiek echter toereiken. De conclusie kan namelijk worden getrokken dat ook bij een twee keer zo hoge kostenpost, dergelijke investeringen opwegen tegen het geïnvesteerd vermogen van laag Nederland en bovendien – hoewel fors – te dragen zijn.

6 Overige overwegingen

Het gaat lang goed met de doelvariabelen kustveiligheid en rivierveiligheid. Dat komt mede omdat er in het benedenrivierengebied al een aanzienlijk bergend vermogen is (maximaal orde 1000 km²). Er is pas vanaf ongeveer 2 meter zeespiegelstijging een zeewaartse ingreep nodig als de waterveiligheid van het rivierengebied niet landwaarts kan worden gerealiseerd. Omdat een tijdelijke en incidentele stijging van het meerpeil tot NAP +3 m mogelijk is zonder consequentie voor de waterveiligheid, en dankzij het feit dat er in principe kan worden voorgepompt, is het benodigde totale oppervlak van het kustbassin – onder de aanname van een realistisch pompvermogen – ook bij nog grotere zeespiegelstijgingen relatief beperkt: ongeveer 1000 km². Deze ruimte kan worden gevonden voor de mondingen van het Haringvliet, Grevelingen en Oosterschelde. De Hollandse kust ten noorden van de Nieuwe Waterweg hoeft geen onderdeel uit te maken van een kustbassin, aangezien verwacht wordt dat de duinenkust hier mee kan groeien met de zeespiegel.

In hoeverre het kustbassin helpt bij het terugdringen van zoute kwel zal nader moeten worden onderzocht. Verwacht wordt dat het (zoute) kweldebiet naar de polders van de Zuid-Westelijke delta aanzienlijk beperkt wordt omdat een streefpeil op NAP wordt gehandhaafd. Een groot deel van het rivierwater zal via het kustbassin naar zee stromen (eerst deels via spuien, daarna volledig via pompen). Tijdens periodes met hoge rivierafvoeren komt er veel zoet water in het kustbassin. In periodes met lage rivierafvoeren zullen de diepere delen van het zeewaarts gelegen kustbassin zouter worden. Schoksgewijze variaties in zoutgehalte zijn niet gunstig voor het water- en bodemleven in het kustbassin. Om die reden kan het nuttig zijn te onderzoeken of het opsplitsen van het kustbassin in een zoet en een zout deel voordelen biedt. Segmentering kan ook worden overwogen om de aanvoer van slib en nutriënten uit de rivieren zo volledig mogelijk af te voeren naar zee. Als dat in het kustbassin terecht komt zal het de waterkwaliteit kunnen schaden en de bodem en oevers slibbiger kunnen maken.

De zandige oevers van het kustbassin zullen mogelijk afkalven zoals we dat zien bij veel meren met een vast of weinig variërend waterpeil. Dat komt omdat er wel afslag plaatsvindt tijdens stormen, maar minder opbouw van het profiel bij gebrek aan lagere golven. Het evenwicht tussen landwaarts en zee-(meer)waarts zandtransport is dan verstoord. Dit zal in vervolgonderzoek nader moeten worden verkend en opgelost.

--- end of document ---